

# THESE

En vue de l'obtention du : **DOCTORAT**

Centre de Recherche : GEOPAC center (Geophysics, Natural Patrimony and Green Chemistry)

Structure de Recherche : Laboratory Geo-Bio diversité Patrimoine National (LGBPN)

Discipline : Environnement

Spécialité : Eaux-Environnement et Développement Durable

Présentée et soutenue le 10/10/2019 par :

**MAHAM OULD SIDI Yahya**

**Lac d'Aleg de Mauritanie et son environnement avoisinant : Qualité du milieu et impacts des différents apports sur les différentes composantes l'écosystème**

## JURY

Mr. YAHYAOUI Ahmed	PES	Facultés des Sciences, Université Mohammed V Rabat	Président
Mr. FEKHAOUI Mohamed	PES	Institut Scientifique, Université Mohammed V Rabat	Encadrant
Mr. BELLAOUCHOU Abdlekbir	PES	Facultés des Sciences, Université Mohammed V Rabat	Co-Encadrant
Mr. CHAHLAOUI Abdelkader	PES	Facultés des Sciences, Université Meknes	Rapporteur/Examineur
Mme. SERGHINI Amal	PES	Institut Scientifique, Université Mohammed V Rabat	Rapporteur/Examineur
Mr. KANKOU Mohamed	PES	Facultés des Sciences, Université de Nouakchott Al Aasriya	Rapporteur/Examineur

2019 – 2020

## **Dédicace**

*Je dédie ce travail*

***A MA TRÈS CHÈRE MÈRE : Aminetou Mint El-Benya***

***A Ma cher Soeur***

***Feity Sidi Mohamed et Abdellahi***

*Ce travail a aussi été réalisé grâce à vous.*

***A mon fils : Mohamed***

*Mon cher fils Mohamed toutes ces fatigues et ces efforts sont vraiment pour toi, pour ton avenir. Je t'aime de tout mon cœur. Que dieu te protège.*

***A mes filles : sara et Mella***

***A mes chères Frères et sœurs***

*Pour toute l'ambiance dont vous m'as entouré, pour toute la spontanéité et vous élan chaleureux, Je vous dédie ce travail .Puisse Dieu le tout puissant exhausser tous vos vœux.*

***A mes amis et toute ma famille Maham Ould Sidi***

# Remerciements

Louange à notre Seigneur « ALLAH » qui nous a dotés du merveilleux institut Scientifique de raisonnement. Louange à notre Créateur qui nous a incités à acquérir le savoir. C'est à lui que j'adresse toute ma gratitude en premier lieu.

Les travaux présentés dans cette thèse ont été effectués au laboratoire Geo-Biodiversité Patrimoine National (GBPN) à l'institut Scientifique de l'Université Mohammed V de Rabat en collaboration avec l'unité de recherche Eau-Pollution et Environnement à l'université de Nouakchott Al-Aasriya.

J'éprouve énormément de gratitude à mon Directeur de thèse Professeur **FEKHAOUI Mohamed**, enseignant chercheur à l'institut Scientifique de Rabat, Responsable du laboratoire Geo-Biodiversité Patrimoine National (GBPN), d'avoir accepté de m'encadrer, et d'être toujours disponible malgré ses nombreuses occupations. Ses encouragements et ses conseils judicieux me furent d'une très grande utilité. Je ne saurais trop lui témoigner ma gratitude.

Mon profond respect et mes sincères remerciements vont à Monsieur le Professeur **YAHYAOU Ahmed**, enseignant chercheur à la Faculté des Sciences de Rabat, Qu'il accepte sans hésitation de présider mon jury de thèse.

Je tiens à remercier vivement Monsieur le Professeur **BELLAOUCHOU Abdlekbir**, Professeur à la Faculté des Sciences, Université Mohammed V de Rabat, d'avoir accepté d'être Co-Directeur de thèse de cette thèse et de m'accorder de son temps. Qu'il accepte ici ma profonde gratitude et de faire partie du jury de cette thèse.

Je tiens à remercier vivement Monsieur, Professeur **KANKOU Mohamed** Professeur à la Faculté des Sciences et techniques à l'université de Nouakchott Al-Aasriya, d'avoir accepté d'être rapporteur et examinateur de cette thèse et de m'accorder de son temps. Qu'il accepte ici ma profonde gratitude et de faire partie du jury de cette thèse.

Il m'est particulièrement agréable de remercier Monsieur **CHAHLAOUI Abdelkader**, Professeur à la Faculté des Sciences, Université Molay Ismail, Meknès, d'avoir accepté la

lourde tâche d'être rapporteur et examinateur de cette thèse. Je le prie de croire à toute ma reconnaissance et de faire partie du jury de cette thèse.

Je tiens à remercier vivement Monsieur **SERGHINI Amal**, Professeur de l'institut Scientifique de Rabat Université Mohammed V de Rabat, pour avoir accepté d'être rapporteur et examinateur de cette thèse, et je suis honoré de vous avoir comme membre du jury de ma thèse.

Au moment de présenter ce travail Je remercie encore des autres membres et doctorants collègues de cette unité sur tout **Brahim Ahmed Ould Dick** qui me très guidé et soutenir durant cette étude. Tous les autres collègues de l'unité : mon chère amis Abidine, BABA Brahim, AMAR Med Bouna et Dr. SIDI HAMOUD Fatimetou salma

Un grand merci pour tous mes amis au laboratoire INRSP et de laboratoire de la société national de l'eau.

Je témoigne mes vifs remerciements à mes collègues et amis du l'institut l'INH de Rabat, Ministère de la sante. Rabat, Maroc, sur tous Rachid et Yahya.

Vous tous que je n'ai pas nommé et qui m'avez conseillé, aidé, encouragé, supporté aussi durant ces années d'études supérieures, ce résultat est un peu le vôtre, un grand merci à vous tous.

***Merci à tous.***

## **RESUME**

Dans le présent travail, on se propose d'étudier l'hydrochimie des eaux de surface du lac d'Aleg de Mauritanie (de la ville d'Aleg- région de Brakna). Après plusieurs années d'exploitation domestique, agricole et industrielle, en plus des changements climatiques dans la région il est intéressant de s'assurer de la qualité des eaux. Pour ce faire, nous avons essayé de réaliser une évaluation physico-chimique, en vue de production des eaux potables, utilisation agricole, avoir une idée sur la pollution et l'effet des variations saisonnières du climat sur les eaux de ce lac. Pour cela un échantillonnage a été réalisé au cours de toutes les saisons de deux années 2017-2018 aux dix stations sur le lac d'Aleg.

Les paramètres physico-chimiques suivis sont : T°C, pH, C.E, la dureté totale (TH),  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CO_2$ ,  $SO_4^{2-}$ , TA, TAC,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ , Cu,  $Al^{2+}$ , les matières en suspension, SAR et SAR ajusté.

Ces mesurés comportent de dosage volumétrique, spectroscopique, pH mètre et Conductimètre. L'exploitation statistique des résultats et leur comparaison avec les normes internationales de potabilité des eaux, montré qu'il y a une vraie contamination de ces eaux par les composés azotés toxiques. La teneur du nitrite varie entre 0,22 mg/l et 0,73 mg/l avec une moyenne de l'ordre de 0,41 mg/l qui dépasse la norme de l'OMS (0,1 mg/l). La teneur d'ammonium varie entre 0,06 mg/l et 0,2 mg/l. Les eaux du lac d'Aleg sont dans les classes bonnes à moyennes selon les normes du Maroc et besoin d'un traitement de la catégorie A3 selon la CEE. En outre, la comparaison avec les normes de l'irrigation montre que les eaux du lac sont faiblement salinées, subit un chimisme sodique à dominance d'ions carbonates compris à la moyenne (1,6 méq/l) et appartiennent aux classes C1 S1, C2 S1. Ces eaux sont en général convenables pour l'utilisation agricole, et la production des eaux potables mais nécessitent un contrôle de qualité exigé et actualisé notamment la réduction des effluents domestiques situées au rivage de ce lac.

**Mots-clés:** Qualité de l'Eau, de sol, Ecosystème, Environnement, physico-chimie, Norme, Climat, lac d'Aleg, Mauritanie.

## **ABSTRACT**

In the present work, it is proposed to study the hydrochemistry of the surface waters of Lake Aleg of Mauritania (from the city of Aleg- Brakna region). After several years of domestic, agricultural and industrial exploitation, in addition to climate change in the region it is interesting to ensure the quality of the water. To do this, we tried to carry out a physicochemical evaluation, with a view to production of drinking water, agricultural use, to have an idea of the pollution and the effect of seasonal variations of the climate on the waters of this lake. For this purpose a sampling was carried out during all the seasons of two years 2017-2018 at the ten stations on the lake of Aleg. The physicochemical parameters monitored are: T ° C, pH, EC, total hardness (TH), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, CL<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, TA, TAC, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu, Al<sup>2+</sup>, suspended solids, SAR and adjusted SAR. These meters include volumetric, spectroscopic, pH meter and conductivity meter dosing.

The statistical exploitation of the results and their comparison with the international standards of water potability, showed that there is a real contamination of these waters by toxic nitrogen compounds. The nitrite content varies between 0.22 mg / l and 0.73 mg / l with an average of about 0.41 mg / l which exceeds the WHO standard (0.1 mg / l).

The ammonium content varies between 0.06 mg / l and 0.2 mg / l. The waters of Lake Aleg are in the good to medium classes according to Moroccan standards and need treatment of category A3 according to the EEC. In addition, the comparison with the irrigation standards shows that the lake waters are slightly saline, undergoes a sodium chemistry with a carbonate ion dominance included at the average (1.6 méq / l) and belong to classes C1 S1, C2 S1. These waters are generally suitable for agricultural use, and the production of drinking water but require quality control required and updated including the reduction of domestic effluents located on the shores of this lake

Keywords: Water Quality, Soil, Ecosystem, Environment, Physico-chemistry, Standard, Climate, Lake Aleg, Mauritania.

## **LISTE DES ABREVIATION**

**ACP** : Analyse en composante principale (ACP)

**Aleg** : Département au centre de la Mauritanie willaya Brakna

**ANEPA** : L'Agence Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement

**C.E** : Conductivité électrique

**CSLP** : Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté

**E.D.T.A** : Ethylène Diamine Tétra acétique Acide

**EIE** : Etude d'Impact Environnemental

**°F** : Degrés Français **µs/cm** : Micro siemens par Centimètre **°C** : Degrés Celsius

**FAO** : Organisation des nations unis pour l'alimentation et agriculture

**FTU**: Unité de Turbidité Formazine.

**GWh** : gigawatt-heure

**INRSP** : Institut National de recherche en santé Publique

**JICA** : Agence Japonaise de Coopération Internationale

**NET** : Noir Eriochrome T

**NTU**: Unité de Turbidité Néphélométrique.

**OMS** : Organisation mondiale de la santé

**OMVS** : Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal

**PET**: poly éthylène

**PPM** : Partie par million

**PRLP** : Programmes Régionaux de Lutte contre la Pauvreté

**SNDE** : Société Nationale d'eau

**TA** : Titre Alcalin

**TAC** : Titre Alcalin Complet

**TDS** : Solides Totaux Dissous

**TH** : Titre Hydrométrique (dureté totale)

**UV** : Ultra-violet

**WQI** : indice de qualité de l'eau (WQI)



## **Liste des figures**

**Figure1 : Cycle de l'eau**

**Figure2 : Carte géographique de la Mauritanie**

**Figure 3 : Schéma de localisation des grands ensembles géologiques de la Mauritanie**

**Figure 4 : Les variations pluviométriques à Aleg (1921-2000). Par rapport à la moyenne (149,1 mm).selon l'ONM.**

**Figure 5 : Variation de l'humidité relative sur les dernières années selon l'ONM.**

**Figure 6 : Les trois régimes des vents dominants dans le territoire mauritanien.**

**Figure 7 : Quelques types des végétations en Mauritanie ( Mohamed, 2011).**

**Figure 8: Carte des ressources en eaux souterraines de la Mauritanie (Caruba et Dars., 1991).**

**Figure 9 : Schématise les principaux types des nappes souterraines.**

**Figure 10: Schéma montre les causes possibles de pollution d'une nappe de la craie.**

**Figure 11 : Situation géographique de la zone d'étude en Mauritanie.**

**Figure 12 : La répartition des maladies hydrique dans la zone d'étude, selon l'âge**

**Figure 13 : Prélèvements des échantillons d'eau, Aleg 2017.**

**Figure 14 : Carte de la localisation des points des prélèvements des échantillons d'eau, lac d'Aleg.**

**Figure 15 : Carte d'échantillonnage du sol dans la zone d'étude, lac d'Aleg, en Mauritanie.**

**Figure 16 : Points de prélèvements des échantillons des sols du lac au site et au Labo**

**Figure 17: variations spatiales du pH et Température.**

**Figure 18 : variations saisonnières du pH et Température**

**Figure 19 : variations spatiales de la conductivité électrique**

**Figure 20 : variations saisonnières de la conductivité électrique.**

**Figure 21 : Variations spatiales de la Turbidité et Matières en suspension.**

**Figure 22 : Variations spatiales de la Turbidité et Matières en suspension**

**Figure 23 : vu du lac d'Aleg, septembre 2017 (zone ALG1)**

**Figure 24 : variations spatiales du Calcium (Ca<sup>2+</sup>) et Magnésium (Mg<sup>2+</sup>).**

**Figure 25: variations saisonnières du Calcium (Ca<sup>2+</sup>) et Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)**

**Figure 26 : Variations spatiales du Sodium (Na<sup>+</sup>) et Potassium (K<sup>+</sup>).**

**Figure 27 : Variations saisonnières du Sodium (Na<sup>+</sup>) et Potassium (K<sup>+</sup>).**

**Figure 28 : Variations spatiales du (CL<sup>-</sup>), (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).**

**Figure 29: Variations saisonnières du (CL<sup>-</sup>), (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).**

**Figure 30 : Variations spatiales du (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).**

**Figure 31 : Variations saisonnières du (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).**

**Figure 32 : Variations spatiales du Fe, Cu, Mn et Al**

**Figure 33 : Variations saisonnières du Fe, Cu, Mn et Al**

**Figure 34 : Diagramme du Piper des analyses globales des eaux du lac d'Aleg.**

**Figure 35 : Diagramme du Piper des moyennes des résultats des stations du prélèvement**

**Figure 36 : Diagramme du Piper des moyennes des résultats des périodes d'étude**

**Figure 37 : Diagrammes de Schoeller-Berkaloff des eaux étudiées du lac d'Aleg I (les moyennes des stations des prélèvements)**

**Figure 38 : Diagrammes de Schoeller-Berkaloff des eaux étudiées du lac d'Aleg (les moyennes des périodes d'étude).**

**Figure 39 : Teneurs des sels des différentes eaux commercialisées au Mauritanie en comparaison avec les eaux du lac d'Aleg .**

**Figure 40 : variation spatio-temporelle de salinité des eaux d'irrigation du lac d'Aleg**

**Figure 41 : variation spatio-temporelle de SARaj des eaux d'irrigation du fleuve Sénégal.**

**Figure 42 : Projection des eaux du lac d'Aleg dans le diagramme de Riverside.**

**Figure 43 : Projection des eaux du lac d'Aleg dans le digramme de Wilcox.**

**Figure 44 : Evolution du WQI (WQI 1 : Saison sèche ; WQI 1 : Saison de pluie)**

**Figure 45 : Graphique des valeurs propres et diagramme des composantes**

**Figure 46 : Classification non dirigée sur les canaux 1 (BV), 3 (PIR) et 2 (R) de l'image HRVIR(Xi) du 12-12-2000. dated 12-12-2000.**

**Figure 47 : Carte de répartition spatiale d'CE (mS / cm), pH et la TDS du sol élaborée par la méthode IDW et OK**

**Figure 48 : Nuage de points représentant les valeurs mesurées en fonction des valeurs de la conductivité électrique (CE), pH et du TDS prédites par différentes méthodes**

## **Liste des tableaux**

**Tableau 1 : Caractéristique d'Oued Ketchi**

**Tableau 2 : les degrés du risque de la salinité de l'eau d'irrigation ((Bocoum, 2004).**

**Tableau 3 : Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation (Bocoum, 2004).**

**Tableau 4 : Les risques du teneur du SAR ajuster l'eau d'irrigation (CRAAQ, 2003)**

**Tableau 5 : Niveaux de toxicité pour des ions spécifiques (meq/L)**

**Tableau 6 : Variations annuelles de la température dépendent des mouvements zénithaux du soleil Aleg (Mauritanie)**

**Tableau 7 : La population de la Moughataa d'Aleg (Source : ONS 2000)**

**Tableau 8 : Les maladies les plus courantes à la zone d'étude (selon l'enquête sanitaire)**

**Tableau 9 : Programme des analyses physico-chimiques des eaux du lac d'Aleg.**

**Tableau 10 : Les coordonnées en GPS, échantillonnage du sol lac d'Aleg**

**Tableau 11 : qualité physicochimique des eaux de la station ALG1.**

**Tableau 12 : qualité physicochimique des eaux de la station ALG2**

**Tableau 13: qualité physicochimique des eaux de la station ALG3**

**Tableau 14 : qualité physico-chimiques des eaux de la station ALG4**

**Tableau 15 : qualité physico-chimiques des eaux de la station ALG5**

**Tableau 16 : qualité physicochimique des eaux de la station ALG6.**

**Tableau 17 : qualité physicochimique des eaux de la station ALG7**

**Tableau 18 : qualité physicochimique des eaux de la station ALG8**

**Tableau 19 : qualité physico-chimiques des eaux de la station ALG9**

**Tableau 20 : qualité physico-chimiques des eaux de la station ALG10**

**Tableau 21 : Caractéristiques physico-chimiques globale des eaux du lac d'Aleg (Min, Max, moyenne et écart-type) en comparaison avec les Normes internationales de la potabilité de l'eau.**

**Tableau 22 : Concentration des micropolluants minéraux dans les eaux du lac d'Aleg**

**Tableau 23 : Teneurs des sels des différentes eaux commercialisées au Mauritanie en comparaison avec les eaux du lac d'Aleg**

**Tableau 24 : Caractérisation physico-chimique des quelques cours d'eau en Afrique**

**Tableau 25 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac d'Aleg destiné à l'irrigation en comparaison avec les Normes internationales de l'eau d'irrigation.**

**Tableau 26 : Couple risques salins-risques alcalins.**

**Tableau 27 : Tolérance des plantes avec les eaux du lac d'Aleg**

**Tableau 28 : Les classifications des valeurs de l'indice de qualité de l'eau (WQI)**

**Tableau 29 : les Résultats obtenus pour les l'analyses physico-chimique de l'eau du lac pour les deux saisons.**

**Tableau 30 : Statistique descriptive de L'indice de qualité de l'eau (WQI)**

**Tableau 31 : valeurs propres**

**Tableau 32 : Corrélation entre les trois premières composantes et les variables**

**Tableau 33 : Matrice de corrélation**

**Tableau 34 : Statistiques descriptives des données utilisées**

**Tableau 35 : Parameters for Evaluating Interpolation Performance**

**Liste des planches**

**Planche 1 : les méthodes des analyses physique (Conductimètre, Ph mètre, Turbidimètre, papier filtre)**

**Planche 2 : les analyses chimiques volumétriques et les stockages de l'échantillon.**

**Planche 3 : les analyses chimiques photométrique UV/Visible**

**Planche 4 : les analyses chimiques photométrique UV/Visible 2.**

**Planche 5 : photomètre à flamme (LCEA-MM-1273).**

***Planche 6 : les eaux commerciales au Mauritanie (El-kawther, Tijiritt, Es-Sava, Saha, Maa-Rim et Tayba).***

***Planche 7 : les eaux commerciales au Mauritanie (Es-savi, Tasiasset, Kneiba et Akchar).***

## Sommaire

Dédicace .....	I
Remerciements .....	I
Résumé .....	I
Liste des abréviations .....	I
Liste des figures .....	I
Liste des Tableaux .....	I

<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	1
------------------------------------	---

## **PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIE**

### **CHAPITRE 1 : Généralité sur l'eau**

I. INTRODUCTION.....	5
I-1. L'eau c'est la vie.....	6
I-2. Cycle de l'eau.....	6
II. TYPES D'EAU.....	9
II-1. Les eaux souterraines.....	9
II-2. Les eaux de surfaces.....	10
II-2-1. Les fleuves.....	11
II-2-2. Les rivières.....	11
II-2-3. La zone de l'arc des Mauritanides( lac d'Aleg de Mauritanie).....	12
III. LES EAUX POTABLES.....	13
III-1. Les paramètres de portabilité de l'eau.....	13
III-1-1. Les paramètres organoleptiques.....	13
III-1-2. Les paramètres physico-chimiques.....	13
III-1-3. Les paramètres concernant les substances indésirables.....	16
III-1-4. Les paramètres concernant les substances toxiques.....	19
III-1-5. Les paramètres microbiologiques.....	20

III-2. Critères d'appréciation de la qualité des eaux.....	21
III-3. Les normes de la portabilité des eaux.....	22
IV- LES EAUX D'IRRIGATION.....	23
IV-1. Qualité physico-chimique de l'eau d'irrigation.....	23
IV-1-1. pH de l'eau d'irrigation.....	23
IV-1-2. Salinité.....	24
IV-1-3. Sodium (Degré d'Adsorption du Sodium : SAR).....	24
IV-1-4. Alcalinité (Carbonate de Sodium résiduel : RSC).....	26
IV-1-5. Coefficient ajusté d'adsorption du sodium ( SARaj).....	26
IV-1-6. Éléments qui peuvent être toxiques.....	27
IV-2. Nutriments dans l'eau d'irrigation.....	28
IV-3. Tolérance des récoltes à la qualité des eaux d'irrigation.....	29
IV-4. Les normes des eaux destinées à l'irrigation.....	29
 <b>CHAPITRE 2 : la climatologie et l'hydrologie de la Mauritanie</b>	
I. INTRODUCTION.....	30
II. PRÉSENTATION DE LA MAURITANIE.....	30
II-1. Situation Géographie.....	30
II-2. Géologie et Géomorphologie.....	31
II-2.1. La dorsale Reguibat.....	31
II-2-2. Le bassin de Taoudenni.....	31
II-2-3. Le bassin de Tindouf et du Zemmour.....	32
II-2-4. La chaîne des Mauritanides.....	32
II-2-5. Le bassin côtier sénégal-mauritanien.....	32
II-3. Climat mauritanien.....	33
II-3-1. Pluviométrie.....	34
II-3-2. Température.....	35

II-3-3. L'humidité relative.....	35
II-3-4. Le vent.....	36
II-4. Végétation.....	37
II-5. Situation socio économie de la Mauritanie.....	39
II-5-1. Population.....	39
II-5-2. Principales activités économiques.....	41
III. LES EAUX EN MAURITANIE.....	44
III-1. Les eaux souterraines.....	44
III-1-1. Détérioration de la Qualité .....	44
III.1.2. Les principaux types de nappes .....	45
III.1.3. Vulnérabilité des nappes à la pollution .....	46
III.1.3.1. Le sol.....	47
III.1.3.2. La zone non saturée.....	47
III.1.3.3. La zone saturée.....	48
III.2. Les eaux de la surface.....	49
III.2.1. Le lac d'Aleg de Mauritanie.....	49
III.2.2. la région du Brakna, au sud-ouest de la Mauritanie .....	51
III.2.3. Le fleuve Sénégal... ..	52
III.3. Situation de l'accès à l'eau potable.....	53
III.4. Situation de l'accès à l'assainissement.....	54

### **CHAPITRE 3 : La pollution du milieu hydraulique**

I. Introduction.....	55
II. Origine des pollutions des eaux.....	55
II-1. Pollution urbaine.....	55
II.1.1. Pollution domestique.....	56



II-1-2. Pollution industrielle.....	56
II-2. Pollution agricole.....	57
II-3. Pollution accidentelle.....	57
II-4. Pollution atmosphérique.....	57
III. Les principaux polluants des eaux naturelles.....	58
III-1. Polluants physiques.....	58
III-2. Polluants chimiques.....	58
III-3. Polluants microbiologiques.....	59
IV. La Mauritanie et la pollution.....	59
IV-1. Pressions sur l’environnement.....	59
IV-2. Processus biophysiques et changements climatiques.....	60
IV-3. Secteurs clés de la pollution et changements climatiques.....	61
IV-3-1. La pollution urbaine.....	61
IV-3-2. La pollution agricole.....	61
IV-3-3. La pollution par les hydrocarbures.....	62
V. Les conséquences de la pollution de l’eau sur la santé.....	62
V.1. La santé publique.....	63

## **PARTIE II : MILIEU ET MÉTHODES D’ÉTUDE**

### **CHAPITRE 4 : MATÉRIEL ET MÉTHODES D’ÉTUDE**

I. INTRODUCTION.....	67
II. Procédure et Matériel d’Échantillonnage.....	67
II-1. Choix des stations de prélèvement.....	67
II-2. Programme d’échantillonnage.....	68
III. LES MÉTHODES PHYSICO-CHIMIQUES.....	69

III-1. Méthodes physiques.....	69
III-1-1. Potentiel hydrique et Température.....	69
III-1-2. Conductivité électrique et Titres des Seles dissous (TDS).....	69
III-1-3. Matières en suspension.....	69
III-1-4. Turbidité.....	69
III-2. Méthodes chimiques.....	70
III-2-1. Méthode volumétrique.....	71
III-2-1-1. Mesure du Titre hydrométrique (TH).....	71
III-2-1-2. Mesure du Calcium.....	71
III-2-1-3. Mesure du Magnésium.....	72
III-2-1-4. Mesure de l'alcalinité.....	72
III-2-1-5. Mesure du Chlorure.....	73
III-2-1-6. Mesure de l'anhydride carbonique.....	75
III-2-2. Méthode spectrophotomètre UV-Visible.....	76
III-2-2-1. Mesure du nitrate.....	77
III-2-2-2. Mesure du nitrite.....	78
III-2-2-3. Mesure d'Ammonium.....	78
III-2-2-4. Mesure du Sulfate.....	78
III-2-2-5. Mesure du Fer.....	79
III-2-2-6. Mesure du Manganèse.....	79
III-2-2-7. Mesure du Cuivre.....	80
III-2-2-8. Mesure d'Aluminium.....	80
III-2-3. Méthode photomètre à flamme.....	81
III-2-3-1. Mesure du Sodium et Potassium.....	82
IV. Échantillonnage et analyse du sol .....	83
IV.1. Introduction.....	83
IV.2. Technique d'échantillonnage et analyse du sol .....	83
IV.3. Protocole d'analyse .....	85

IV.4. Humidité.....	85
IV.5. Conductivité électrique .....	85
II.6. pH .....	85

## **PARTIE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

### **CHAPITRE 5 : Caractérisation, Variations des eaux du lac d'Aleg.**

I. INTRODUCTION.....	87
II. ÉTAT DE LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DU LAC D'ALEG.....	87
III. Évolution spatio-temporelle des eaux du lac d'Aleg.....	97
III.1. Paramètres physiques.....	98
III.1.1. pH et Température.....	98
III-1-1-1. Variations spatiales du pH et Température.....	98
III-1-1-2. Variations saisonnière du pH et Température.....	98
III-1-2. Conductivité.....	99
III-1-2-1. Variations spatiales de la Conductivité.....	99
III-1-2-2. Variations saisonnière de la Conductivité.....	100
III-1-3. Turbidité et Matières en suspensions.....	101
III-1-3-1. Variations spatiales de la Turbidité et Matières en suspensions.....	102
III-1-3-2. Variations saisonnière de la Turbidité et Matières en suspensions.....	102
III-2. Paramètres liés à la structure naturelle des eaux.....	103
III-2-1. Contrôle de la cohérence des analyses.....	103
III-2-2. Calcium (Ca <sup>2+</sup> ) et Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ).....	104
III-2-2-1. Variations spatiales du Calcium (Ca <sup>2+</sup> ) et Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ).....	104
III-2-2-2. Variations saisonnière du Calcium (Ca <sup>2+</sup> ) et Magnésium (Mg <sup>2+</sup> ).....	105
III-2-3. Sodium (Na <sup>+</sup> ) et Potassium (K <sup>+</sup> ).....	105

III-2-3-1. Variations spatiales du Sodium ( $\text{Na}^+$ ) et Potassium ( $\text{K}^+$ ).....	106
III-2-3-2. Variations saisonnière du Sodium ( $\text{Na}^+$ ) et Potassium ( $\text{K}^+$ ).....	107
III-2-4. Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ).....	107
III-2-4-1. Variations spatiales du ( $\text{Cl}^-$ ) ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et ( $\text{HCO}_3^-$ ).....	108
III-2-4-2. Variations saisonnière du ( $\text{Cl}^-$ ) ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et ( $\text{HCO}_3^-$ ).....	109
III-3. Composés Azotés.....	110
III-3-1. Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) et Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ).....	110
III-3-1-1. Variations spatiales du ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\text{NO}_2^-$ ) et ( $\text{NH}_4^+$ ).....	110
III-3-1-2. Variations saisonnière du ( $\text{NO}_3^-$ ) ( $\text{NO}_2^-$ ) et ( $\text{NH}_4^+$ ).....	111
III-4. Micropolluants Minéraux.....	112
IV. FACIES HYDROCHIMIQUES DES EAUX DU LAC D’ALEG .....	115
IV-1. Diagramme de Piper.....	115
IV-1-1. Principe.....	115
IV-1-2. Les avantages et les inconvénients du diagramme de Piper.....	116
IV-1-3. Résultats et interprétation.....	116
IV-2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	119
IV-2-1. Principe.....	119
IV-2-2. Les avantages et les inconvénients du diagramme de Schoeller-Berkaloff.....	120
IV-2-3. Résultats et interprétation.....	120
V. ANALYSES COMPARATIVES.....	123
V.1. Comparaison du lac d’Aleg de Mauritanie avec les principales rivières en Afrique.....	126
VI. CONCLUSION.....	131

## **CHAPITRE 6 : Evaluation de la qualité des eaux du lac d’Aleg pour l’irrigation.**

I. INTRODUCTION.....	132
----------------------	-----

II. QUALITÉ DES EAUX DU FLEUVE SENEGAL DESTINEE A L'IRRIGATION.....	133
III. ÉVALUATION DU PROBLÈME DE PERMÉABILITÉ.....	133
III-1.Effet de la salinité sur la perméabilité.....	133
III-2. Effet du sodium sur la perméabilité.....	134
IV. Évaluation du Problème de Toxicite.....	136
IV-1. Les risques de toxicité spécifique aux ions sodium.....	136
IV-2. Toxicité de l'ion chlorure.....	137
V. Effets divers sur les cultures sensibles.....	138
V-1. Les nitrates (NO <sub>3</sub> -).....	138
V-2. Le pH.....	138
V-3. Les bicarbonates (HCO <sub>3</sub> -).....	138
VI. Aptitudes des eaux du fleuve Sénégal a l'irrigation.....	138
VI-1. Diagramme du Riverside .....	139
VI-2. Diagramme Wilcox.....	141
VII. Tolérance des récoltes a la qualité des eaux du fleuve Sénégal.....	142
VIII.CONCLUSION.....	144
 <b>CHAPITRE 7 : Application de l'indice de qualité de l'eau (WQI) pour l'évaluation de la qualité des eaux du lac d'Aleg</b>	
I. Résumé.....	146
II. L'INDICE DE QUALITE DE L'EAU (WQI) .....	146
II.2. Caractérisation générale .....	147
II.3. Evaluation de la variabilité spatiotemporelle de l'indice WQI.....	149
II.4. Analyse statistique .....	150
II.5. Analyse en composante principale (ACP) .....	150
II.6. Analyse de corrélation .....	154
III.7.Conclusion .....	154

## **CHAPITRE 8 : Echantillonnage et analyse du sol du lac d'Aleg**

I. Méthodes d'interpolations.....	157
II. Résultats.....	158
III. Dégradation du bassin versant du lac d'Aleg .....	160
IV. Conclusion .....	164
CONCLUSION GÉNÉRALE ET RECOMMANDATIONS .....	
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	
ANNEXE.....	

## **INTRODUCTION GENERALE**

La République Islamique de Mauritanie est un pays de l'Afrique de l'Ouest. Elle est un trait d'union entre le Maghreb arabe et l'Afrique de l'ouest. Elle couvre une superficie de 1032 700 km<sup>2</sup>, entre les 15<sup>e</sup> et 27<sup>e</sup> parallèles au Nord et les 5<sup>e</sup> et 17<sup>e</sup> méridiens. Bordée au Nord par le Maroc, au Nord Est par l'Algérie, à l'Est et au Sud-Est par le Mali, au Sud par le Sénégal, la Mauritanie s'ouvre à l'Ouest sur l'océan Atlantique. Le contraste est saisissant entre la richesse à proximité de l'océan et l'aridité du désert, car la Mauritanie est un pays saharien dans sa grande majorité, sahélien dans le sud. C'est donc le désert, de sable et de pierre, qui domine la géographie. La plus haute montagne du pays, avec ses 915 m d'altitude, se trouve dans le Nord à Kidit EL Jil à côté de Zouerate. L'Adrar et le Tagant sont les principaux massifs rocheux avec des altitudes dépassant rarement 600 m. Au pied de ces reliefs tabulaires s'étendent les immenses plateaux qui forment la partie Nord de la Mauritanie. Cette vaste étendue sablonneuse et plate s'étale dans l'extrême Nord du pays.

Plus au sud, c'est le royaume des dunes, à perte de vue. Plus au sud encore, voilà le Sahel, où se pratique l'élevage. La vallée du fleuve Sénégal connaît un climat bien plus humide. C'est une région agricole où on cultive différentes céréales. L'importance de l'eau dans l'économie humaine ne cesse de croître et l'approvisionnement en eau douce devient 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. Pratiquement, plus la qualité de l'eau diminue, plus la nécessité de procéder à des contrôles fréquents et étendus ne devient indispensable.

La Mauritanie est un pays sub-saharien de climat désertique, caractérisée par une faible pluviométrie, la nature géologique du pays et l'importance de l'évaporation font que le pays est pauvre en ressources hydriques.

Les eaux de surface sont présentes dans certaines localités. Cependant, la connaissance de leurs propriétés (qualité, origine, fragilité) reste insuffisante. Si les pollutions industrielles n'existent pratiquement pas dans ces régions, les pollutions liées aux zones de concentration démographique, en l'absence de système d'évacuation et de traitement des eaux usées, sont réelles. "Tout" est rejeté dans les lacs (Aleg et Mal) bordés de villages.

Les eaux de surface en Mauritanie constituent donc un apport non négligeable pour le développement durable de l'agriculture, de l'élevage et de l'industrie dans le pays. Elles permettent également en temps de pluviométrie normale, la réalimentation de certaines nappes aquifères et surtout la préservation de l'équilibre de l'écosystème. En plus, elles sont

susceptibles d'être utilisées comme eaux potables et eaux d'irrigation. C'est le cas du lac de l'Aleg qui joue un rôle très important comme source principale d'eau de surface en Mauritanie. Le lac d'Aleg se situe au sud-ouest de la Mauritanie, à l'extrémité orientale du bassin sénégalo-mauritanien. Il fait partie de la Moughataa d'Aleg, elle-même située dans la Wilaya du Brakna.

Le lac d'Aleg serait une relique de l'ancienne vallée du fleuve Sénégal comme le lac de R'Kiz et le lac de Guiers. Cette vallée est obstruée aujourd'hui vers le nord par des dunes continentales et reçoit au sud l'oued Ketchi qui alimente le lac à partir d'un bassin versant de 3 800 km<sup>2</sup>.

Le lac d'Aleg dans la région du Brakna, sud-ouest de la Mauritanie. cette zone s'étend entre 17 ° 09 '30"N, 14 ° 02' 05"W et 17 ° 02'30 " N et 13 ° 57 '12"W. Il couvre une superficie de 60 km<sup>2</sup> Son fonctionnement étant essentiellement pluvial, sa superficie varie avec l'importance des précipitations. Au cours de son extension maximale il atteint 7 000 ha (6 500 en 1969, 1 400 en 1987), il déborde fréquemment sur la route reliant a ville d'Aleg à la ville de Boutilimit (route de l'espoir).

La Wilaya du Brakna à l'intérieur de laquelle se situe notre périmètre d'étude, se caractérise par des conditions climatiques difficiles et une situation sociale préoccupante qui nécessitent une réponse collective intégrée. La pauvreté y est largement répandue (la Wilaya est classée à la 3<sup>ème</sup> position à l'échelle nationale, RGPH 2004). L'augmentation rapide de la population ces dernières années, combinée à d'autres facteurs endogènes et exogènes, a engendré une très forte pression sur les ressources naturelles dont le phénomène de désertification se traduit de manière la plus visible par l'avancée du sable sur les terres agricoles, les infrastructures et les habitations. L'avenir du lac d'Aleg de Mauritanie, atout stratégique de la région, est mis en danger de même que celui des populations qui en dépendent.

Dans ce présent travail, nous avons étudié les propriétés de l'eau de ce lac par voie physico-chimique pour mieux connaître les qualités de son eau.

La présente étude est constituée de la première partie qui comprend trois parties et neuf chapitres :

**PARTIE I : synthèse bibliographie comprend trois chapitres :**

Chapitre1 : Généralités sur les eaux,

Chapitre2 : la climatologie et l'hydrologie de la Mauritanie

Chapitre3 : La pollution du milieu hydraulique



**PARTIE II : Matériel et méthodes d'étude comprend un seul chapitre :**

Chapitre 4 : Matériel et méthodes d'étude

**PARTIE III : résultats et discussions comprend quatre chapitres :**

Chapitre 5 : Caractérisation, Variations des eaux du lac d'Aleg.

Chapitre 6 : Evaluation de la qualité des eaux du lac d'Aleg pour l'irrigation.

Chapitre 7 : Application de l'indice de qualité de l'eau (WQI) pour l'évaluation de la qualité des eaux du lac d'Aleg

Chapitre 8 : Modélisation des résultats d'analyse du sol du lac d'Aleg.

**Conclusion et quelques recommandations**

# **PARTIE1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIE**

## Chapitre 1 : Généralité sur l'eau

### I. INTRODUCTION

L'eau a longtemps été considérée comme une ressource inépuisable. Cependant, et depuis peu de temps, on se rend compte que ce n'est pas le cas, du moins en ce qui concerne les pays arides et semi-arides comme le Mauritanie. Cette problématique ne se limite pas à la quantité des ressources en eau, qui a toutefois bénéficié des principaux efforts déployés dans ce domaine, mais porte également sur la qualité de ces ressources qu'il faut aujourd'hui plus que jamais la bien gérer.

En effet, dans des conditions naturelles, l'eau est généralement exempte de microbes pathogènes (bactéries, parasites, champignons ou virus) et les éléments chimiques (sels minéraux, matières organiques, etc.) y sont habituellement présents à des concentrations acceptables pour les humains. Cependant, nos activités (pollution industrielle, agricole ou urbaine) peuvent modifier la composition naturelle de l'eau et la rendre impropre à la consommation.

La pollution de l'eau est définie par L'OMS comme étant: "toute modification des propriétés physiques, chimiques ou biologiques, ou tout rejet de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau de façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse ou préjudiciable du point de vue, soit de la santé, de la sécurité et du bien être publique, soit de ses usages destinés à des fins domestiques, commerciales, industrielles, agricoles, récréatives et autres, soit de la faune sauvage et aquatique" [1].

La contamination des eaux est un souci majeur pour la protection des écosystèmes et des ressources en eaux. Elle est l'objet de beaucoup d'études aussi bien au niveau des eaux souterraines que superficielles [2-8]. Boschet [9] concluait que les ressources en eau en Europe, ne répondaient pas aux exigences de santé actuelle. La contamination par les différentes sortes de pollution varie selon la nature des eaux et leur emplacement.

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur la terre, essentiel pour tous les organismes vivants connus. C'est le milieu de vie de la plupart des êtres vivants. Elle se trouve en général dans son état liquide et possède à température ambiante des propriétés uniques. C'est notamment un solvant efficace pour beaucoup de corps solides trouvés sur terre. L'eau est quelquefois désignée sous le nom de «solvant universel». La formule chimique de l'eau pure est H<sub>2</sub>O. L'eau dite «courante» est une solution d'eau, de sels minéraux et

d'autres adjuvants. Pour cela, l'eau que l'on trouve sur terre est rarement un composé chimique pur. L'expression «solvant universel» est sujette à maintes précautions, beaucoup de matériaux naturels (roches), métaux... etc. étant non solubles dans l'eau (dans la plupart des cas ou de manière infime) (IPEDA, 2015).

### **I-1. L'eau c'est la vie**

L'eau est le principal constituant des êtres vivants et l'élément indispensable à toute forme de vie. Pour un homme elle représente 60 % du corps et c'est elle qui permet à notre organisme et à nos 50 000 milliards de cellules de bien fonctionner. Une eau pure met l'accent aujourd'hui sur les différents types d'eau que nous consommons au quotidien et qui sont indispensables à notre existence. Pour maintenir un organisme adulte en bonne santé, il faut consommer environ 2,5 litres d'eau par jour dont 1 litre par le biais des aliments et 1,5 litre de boissons. Cependant suivant les personnes et leur manière de vivre les besoins quotidiens varient. En effet, une consommation d'eau et un besoin en eau changent suivant de nombreux paramètres : la température ambiante, quand on tombe malade, quand on effectue une activité physique... notre corps jauge en permanence notre niveau d'hydratation. L'hydratation c'est la combinaison de l'eau et de notre corps. Quand notre corps a besoin d'eau, il envoie un signal : la soif. Cette sensation désagréable de bouche sèche est là pour éviter tout risque de déshydratation. Le signal de la soif déclenche la sécrétion d'hormones qui vont retenir l'eau : l'angiotensine et l'aldostérone (IPEDA, 2015).

### **I-2. Cycle de l'eau**

L'eau se trouve sous trois états dans l'environnement : l'état solide (sous forme de glace), l'état liquide et l'état gazeux (sous forme de vapeur d'eau). Elle possède cette capacité de changer d'état selon la température et la pression à laquelle elle est soumise. Près de 70 %, de la surface de la Terre est recouverte d'eau (97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce), essentiellement sous forme d'océans. Une étendue d'eau peut être un océan, une mer, un lac, un étang, un fleuve, une rivière, un ruisseau, un canal... etc. La circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par son cycle biogéochimique.

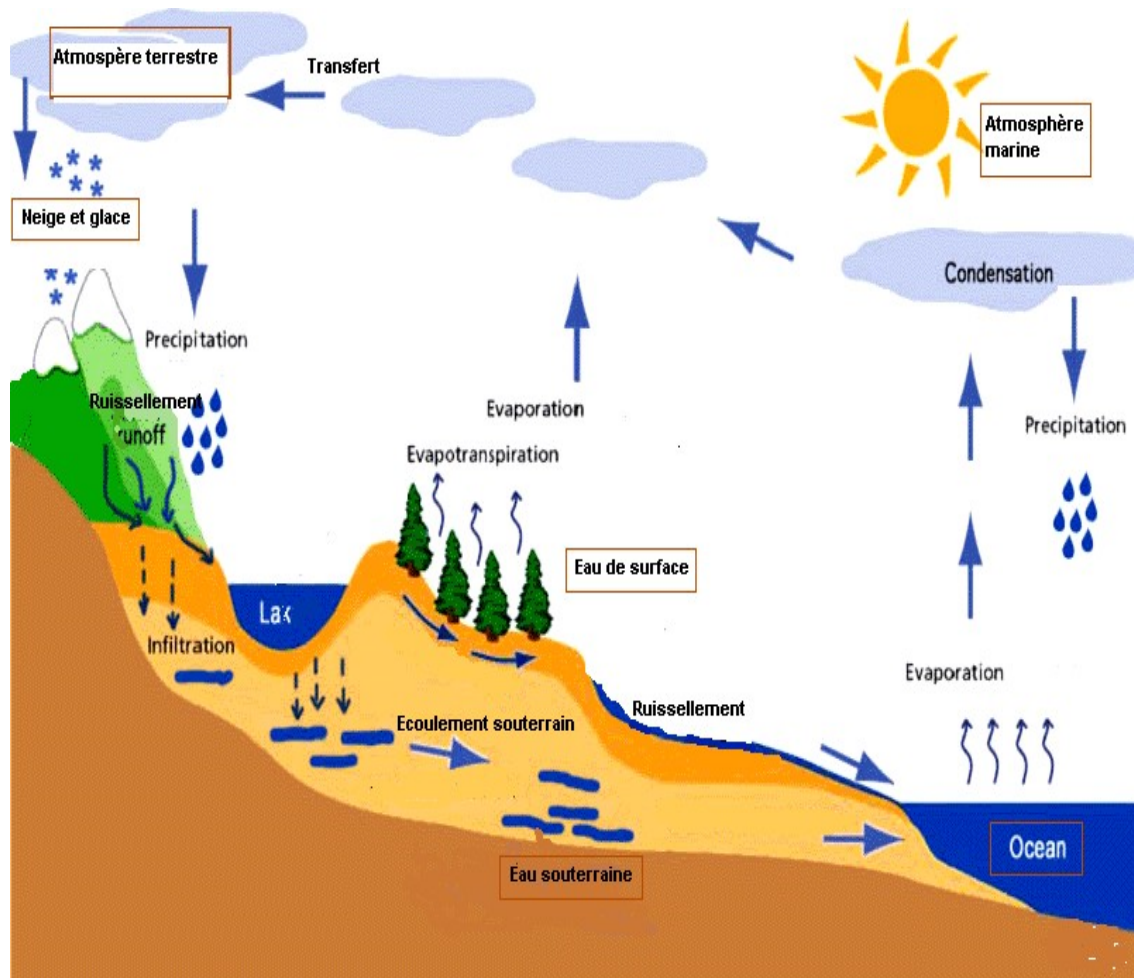


Figure1 : Cycle de l'eau

### □ Evaporation

Les enveloppes terrestres contiennent de l'eau, en quantités variables : beaucoup au sein de l'hydrosphère, moins dans la lithosphère et en très faible quantité dans l'atmosphère. L'eau de l'hydrosphère, chauffée par le rayonnement solaire, s'évapore. Cette eau rejoint alors l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Cette évaporation dépend du vent, de l'ensoleillement, de la température. Lorsque l'atmosphère n'est pas saturée en eau (octobre à juin), une partie de la lame d'eau qui tombe est immédiatement évaporée et cette évaporation

peut également continuer après l'épisode pluvieux, si l'atmosphère n'est toujours pas saturée. Cette évaporation est d'autant plus efficace qu'on est proche de la surface du sol. Puis s'il subsiste dans l'atmosphère une zone non saturée, apparaît alors la reprise évaporatoire. Celle-ci est favorisée par la remontée capillaire.

□ **Evapotranspiration**

La transpiration des végétaux intervient, on parle d'évapotranspiration. Le cycle décrit ci-dessus est essentiellement géochimique. En réalité, les êtres vivants et plus particulièrement les végétaux ont une influence sur le cycle. Les racines des végétaux pompent l'eau du sol, et en relâchent une partie dans l'atmosphère. De même, une partie de l'eau est retenue dans les plantes. Lors de déforestation, le cycle de l'eau est fortement modifié localement et il peut en résulter des inondations.

□ **Condensation**

Les gouttes commencent à se former dans l'air généralement au-dessus du point de congélation leur température est comprise entre  $-10^{\circ}\text{C}$  et  $0^{\circ}\text{C}$ , quand l'air soulevé devient légèrement sursaturé par rapport à la température environnante.

❖ **Précipitations**

Les hydrométéores (cristaux de glace ou gouttelettes d'eau) qui, ayant été soumis à des processus de condensation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol comme des précipitations.

□ **Ruissellement**

Le ruissellement désigne en hydrologie le phénomène d'écoulement des eaux à la surface du sol, l'agglomération de ces eaux appelée (lacs, rivières, Etc..).

□ **Infiltration**

C'est l'écoulement des eaux de pluie à travers les fissures naturelles des sols et des roches. À travers l'infiltration et la percolation dans le sol, l'eau alimente les nappes phréatiques (souterraines).

## **II. TYPES D'EAU**

### **II-1. Les eaux des souterrains**

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol. Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. Là, elles s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé aquifère. La nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau. Les nappes souterraines fournissent ainsi presque le tiers du débit total de tous les cours d'eau de la planète, soit environ 12000kilomètres cubes d'eau par an.

Les nappes d'eau souterraine peuvent être de deux types selon qu'elles circulent sous une couche perméable ou non. Les nappes situées sous un sol perméable sont dites libres. Au-dessus de la nappe en effet, les pores du terrain perméable ne sont que partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé, et les eaux de pluie peuvent toujours l'imprégner davantage. Aussi, le niveau de la nappe peut-il monter ou baisser à son aise.

En revanche, les nappes situées entre deux couches imperméables sont dites captives, car leur niveau ne peut monter, l'eau ne pouvant s'insinuer dans un sol imperméable. Ces nappes n'ont qu'un lien ténu avec la surface par où elles sont alimentées et qui correspond à la zone où la couche perméable affleure.

Historiquement, les eaux souterraines ont toujours été une source d'eau de haute qualité pour l'alimentation, par opposition aux eaux de surface, polluées par les activités humaines (agricoles, industrielles, ou autres). Normalement l'eau souterraine est débarrassée des organismes qui sont retenus ou adsorbés à travers des terrains perméables en laissant libre cours à toutes sortes de processus physico-chimiques tels que : échange d'ions, adsorption, précipitation, transformations chimiques, biodégradation... C'est la raison pour laquelle l'eau souterraine diffère de l'eau de surface à la fois sur le plan chimique et biologique. Elle peut atteindre également une qualité microbiologique acceptable, selon l'épaisseur du sol, sa texture, sa structure et son activité biologique. Ainsi, les eaux souterraines sont beaucoup

moins coûteuses comparativement aux eaux de surface exigeant des traitements de plus en plus complexe. Enfin, comparativement, les gisements des eaux souterraines sont beaucoup plus importants que ceux des eaux de surface (Hunter et Scott, 1980).

## **II-2. Les eaux des surfaces**

Elles englobent toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages...). Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisée par une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues de barrages) où peut apparaître une grande hétérogénéité de la qualité selon la profondeur. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. En revanche, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des échanges à l'interface eau- atmosphère et de l'activité métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur qui résulte :

- la présence de **gaz dissous**, en particulier l'oxygène;
- une concentration importante en **matières en suspension**, tout au moins pour les eaux courantes. Ces matières en suspension sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments figurés entraînés par les rivières en cas d'augmentation importante du débit. Dans le cas des eaux de barrage, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers : la turbidité résiduelle est alors faible et colloïdale;
- la présence de **matières organiques** d'origine naturelle provenant du métabolisme, puis de la décomposition post mortem des organismes végétaux ou animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière;
- la présence de **plancton** : les eaux de surface sont parfois le siège d'un développement important de phytoplancton (algues...) et de zooplancton, surtout dans les cas d'eutrophisation (voir pollution et eutrophisation). Certains de ces organismes peuvent sécréter des produits sapides et odorants ou des toxines;
- des **variations journalières** (différence de température, d'ensoleillement) ou **saisonniers** : variations climatiques (température, précipitations, fonte des neiges), de



végétation (chute des feuilles). Elles peuvent être aléatoires : pluies soudaines, orages, pollutions accidentelles.

Leur captage se fait de différentes façons (Hunter, 1980).

- Par des citernes ou des aires de captage pour l'eau de pluie;
- par des prises pour les étangs et réservoirs;
- par des barrages et prises pour les cours d'eau;

Les eaux de surface sont rarement potables, mais peuvent parfois être utilisées à l'état naturel comme eau de boisson. Pour éviter les contaminations, elles sont traitées aux préalables.

### **II-2-1. Les fleuves**

Les fleuves sont les cours qui se jettent dans la mer. En raison du type de climat, de roches et de végétation, les fleuves ont des origines différentes; c'est ce qu'on appelle les régimes. le régime d'un fleuve nous donne sa provenance. les différentes sortes de régimes sont :

–**le régime glaciaire** : les fleuves sont formés après la fonte des glaciers.

–**le régime nival** : c'est toujours la fonte des neiges qui sont à l'origine de la formation de fleuves, mais dans des régions où il n'y a pas de montagnes.

–**le régime pluvial** : les fleuves proviennent des eaux de pluie, de ruissellement ou des nappes aquifères souterraines qui deviennent les sources des fleuves.

Les fleuves reçoivent des affluents et des confluent qui viennent grossir leur débit avant de se jeter dans la mer par l'intermédiaire d'un estuaire ou d'un delta. Tous les fleuves du monde sont différents, car ils n'ont pas le même régime hydraulique. Dans les régions équatoriales et tropicales, le régime hydraulique suit le régime pluviométrique.

### **II- 2-2. Les rivières**

Les rivières sont des cours d'eau qui jettent dans d'autres cours d'eau. Les rivières diffèrent aussi selon le climat, la nature des roches et du sol ainsi que de la végétation qu'elles traversent.

Il existe trois sortes de rivières :

–**les rivières souterraines** : ce sont des eaux d'infiltration qui pénètrent dans le sous-sol et qui créent des rivières.

–**les rivières torrentielles** : ce sont des rivières qui s'écoulent le long d'une forte pente. Ces rivières de montagne ont des débits différents selon la période de crue.

–**les rivières temporaires** : ce sont des rivières que l'écoulement dépend de la sécheresse ou de la période de pluie. On les rencontre dans les pays désertiques.

L'eau des rivières et des fleuves transforme le paysage.

Les rivières et les fleuves creusent leur lit le long de leur parcours.

Les rivières et les fleuves ont un débit soit faible ou élevé. Il peut y avoir des inondations qui provoquent des dégâts importants.

### II.2.3. La zone de l'arc des Mauritanides( lac d'Aleg de Mauritanie)

La région des Mauritanides apparaît comme la plus intéressante et la mieux connue au plan de l'hydroclimatologie. Dans cette zone on peut prévoir des aménagements relativement conséquents pour permettre la culture de décrue. Outre les affluents du fleuve Sénégal (le Niordé, le Gharfa, le Gorgol et le Karakoro) deux autres oueds.

importants descendent l'un du massif de l'Assaba, l'autre du Tagant, plus au nord :

Table1. Caractéristique d'Oued Ketchi

Cours d'eau	Station	Superficie (km <sup>2</sup> ) du B.V.	Superficie (km <sup>2</sup> ) du B.V.	Lame d'eau (mm)	Coeff écoulement Ke (%)	Période
Oued Ketchi	Tachouda	3420	252	13,0	5,2	1957/86
Oued Ketchi	Tachouda	-	211	10,7	5	1957/63

Dans la région du Brakna, il existe un nombre important de mares et de lacs qui présentent un grand intérêt économique pour les populations riveraines.

**Lac d'Aleg :** 3800 Km<sup>2</sup> de bassin versant ;

Lac de Male : 955 Km<sup>2</sup> de bassin versant ;

Mare de Gadel : 410 Km<sup>2</sup> de bassin versant ;

Mare de Choggar : 190 Km<sup>2</sup> de bassin versant

### III. LES EAUX POTABLES

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable. Une eau destinée à la consommation doit être raisonnablement minéralisée, raisonnablement colorée et limpide, n'est, pas nuire à la santé et enfin assurée de ne pas voir sa qualité altérée par le temps ou les conditions de son transport.

#### III-1. Les paramètres de potabilité de l'eau

##### III-1-1. Les paramètres organoleptiques

Ces paramètres concernent la couleur, la transparence, la saveur et l'odeur de l'eau. Cependant ces critères n'ont pas de valeur sanitaire directe. Une eau peut être trouble, colorée ou avoir une odeur particulière, mais être consommable.

##### **La Couleur**

Elle est due à la présence de matières organiques colloïdales en solution ou en suspension, d'éléments métalliques provenant de la dissolution des roches telles que le manganèse (noire) le cuivre (bleu), le fer (rouge). La couleur peut avoir une origine biologique. Une eau colorée n'est pas agréable pour les usages domestiques et en particulier pour la boisson.

##### **L'Odeur**

L'odeur est une manifestation de la présence de composés organiques volatils ou de certains gaz. Les substances responsables des odeurs peuvent être d'origine biologique. Les odeurs peuvent être terres, moisissures, de poissons, d'herbe, de fosses septiques.

##### **Le Goût**

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique perçu lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche.

##### **La Saveur**

La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation, par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs.

##### III-1-2. Les paramètres physico-chimiques

Il s'agit des caractéristiques de l'eau telles que le pH, la température, la conductivité, la dureté... etc. Ces caractéristiques sont en relation avec la structure naturelle de l'eau.

### **Le potentiel hydrogène (pH)**

Le pH de l'eau conditionne les équilibres physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt). Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitique. Il est alcalin dans les calcaires. Le pH est corrigé selon le cas par élimination du CO<sub>2</sub> dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée.

### **La température**

La température des échantillons est mesurée sur place généralement à l'aide d'un thermomètre ordinaire gradué de 0 à 100 °C. Il est important de connaître la température d'une eau puisque les eaux souterraines ont la caractéristique d'avoir une température constante due à la préservation des ressources de chaleur. Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. L'élévation de la température de l'eau peut causer parfois le développement d'une vie microbienne. L'eau de source est de 9 à 12 °C; l'eau profonde des lacs a 4 °C.

### **La Conductivité électrique**

La conductivité de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire un courant électrique. La conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau. Sa valeur varie en fonction de la température.

### **La Salinité**

Une eau potable doit contenir sans excès, un certain nombre d'éléments minéraux, qui lui confèrent une saveur agréable. Elle ne doit pas attaquer les matériaux constituant les canalisations, les réservoirs et les appareils de robinetterie ou de fontainerie. Pour cela, il faut qu'elle ne soit ni agressive ni corrosive (action des sels dissous). Cette dernière condition exige que la concentration en ions chlorures et sulfates ne dépasse pas respectivement 100 et 200 mg/l).

### **La dureté**

La dureté d'une eau est due à la présence d'ions métalliques bivalents, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup> ...etc. Mais les plus abondants sont les ions de calcium et de magnésium. La dureté est mesurée par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français); 1 °F = 10 mg de carbonate de Ca dans 1 litre d'eau.

- Une dureté carbonatée correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg.
- une dureté non carbonatée est produite par les autres sels.

### **La Turbidité**

La turbidité peut être importante dans les aquifères karstiques. Elle occasionne des désagréments dans l'aspect de l'eau et sa saveur (goût de terre). Les pics de turbidité suivent les fortes précipitations; ils sont fréquents dans l'aquifère crayeux de Normandie. Les eaux de ruissellement chargées de particules argileuses, ou d'autres matières indésirables s'engouffrent dans les bétoires. La vitesse de circulation de l'eau dans le réseau souterrain en crue ne permet pas leur décantation. De plus des particules déposées précédemment sont arrachées aux cavités et augmentent la charge en suspension que l'on retrouve à l'exutoire.

### **Les sulfates**

Certains sols et certaines roches contiennent des minéraux de sulfate. Comme l'eau souterraine se déplace à travers ceux-ci, certains sulfates sont dissous dans l'eau. Parmi les minéraux qui contiennent du sulfate on peut citer le sulfate de sodium, le sulfate de magnésium et le sulfate de calcium (gypse). Le sulfate donne un goût amer, un goût médical à l'eau s'il dépasse la concentration de 250 mg/L. Cela rend désagréable la consommation de l'eau. Des concentrations importantes en sulfates peuvent être corrosives pour les tuyauteries en particulier les tuyauteries en cuivre.

### **Le magnésium**

Le magnésium est un élément indispensable pour la croissance. L'organisme humain a besoin d'environ 420 mg/L par jour.

### **Le calcium**

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables, la teneur en calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par les cours d'eau. Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature, et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates ( $\text{CaCO}_3$ ). Les boissons de l'organisme humain varient entre 700 à 900 mg par jours. Les eaux potables de bonne qualité renferment de 100 à 140 mg/l de  $\text{Ca}^{2+}$ .

## Les Chlorures

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Elles proviennent essentiellement de la dissolution des selles de chlore qui sont très abondantes dans la nature (NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>).

### III-1-3. Les paramètres concernant les substances indésirables

Ce sont des substances dont la présence est tolérée en faible quantité. Il existe une réglementation. Parmi ces substances, on peut trouver des éléments qui ne causent que des désagréments pour l'utilisateur, mais d'autres peuvent avoir une incidence sur sa santé. Ils représentent des indices de pollution : Nitrates, Nitrites, Ammonium, Azote Kjeldahl... etc.

## L'Ammonium

De formule chimique NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, l'ammonium est composé d'hydrogène et d'azote dans l'eau de surface et dans l'eau à faible profondeur, sa présence constitue un indicateur de pollution. Tandis que dans l'eau souterraine profonde c'est le signe que cette eau a séjourné longtemps dans le sol ce qui en garantit la bonne qualité, dans les deux cas l'ammonium doit être éliminé lors du traitement de l'eau.

## Les nitrates

Les nitrates constituent le stade final de l'Oxydabilité de l'azote, leur présence dans l'eau atteste que la source de pollution est organique. Les apports proviennent du lessivage des engrais et parfois industriel. Le risque du nitrate est lié à la faculté de l'organisme humain de le transformer en nitrites, qui réduisent la capacité de transport de l'oxygène par l'hémoglobine (méthémoglobine).

## Les nitrites

Ce sont des composés chimiques sous forme de sel dérivé de l'acide nitreux (HNO<sub>2</sub>). Ils peuvent se trouver dans l'eau suite à l'oxydation bactérienne de l'ammonium. C'est un produit d'oxydation intermédiaire de l'ammonium qui peut être rapidement oxydé en nitrate. Dans l'estomac et les intestins de certains individus, surtout les jeunes bébés, les nitrates peuvent être transformés en nitrites.

## Le sodium

C'est l'un des constituants majeurs de l'écorce terrestre 2,83 % et il existe dans la totalité des

eaux, car la solubilité de ces sels est très élevée. L'activité humaine emploie beaucoup de sels de sodium dans ses diverses industries.

### **Le potassium**

Le potassium est un élément normal des eaux, ou sa concentration est largement inférieure à celle du sodium bien que son abondance relative terrestre soit comparable (sodium 2,83 %, potassium 2,59 %).

### **Le Titre alcalimétrique (TA et TAC)**

La «dureté» d'une eau est un critère essentiel pour prévenir par exemple l'entartrage des conduites d'eau dans l'industrie. La «dureté» de l'eau a deux origines :

- la dureté due aux espèces carbonatées (ions carbonate  $\text{CO}_3$ ).
- les ions hydrogencarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) évalués par le TA Titre alcalimétrique et le TAC Titre alcalimétrique complet.
- la dureté due aux ions calcium et magnésium évalués par le TH. (Titre hydrotimétrique). Le TA correspond au dosage des ions  $\text{HO}^-$  et  $\text{CO}_3^-$ .

le TAC correspond au dosage des ions  $\text{HO}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^-$  présents dans l'eau, c'est à dire de toutes les espèces basiques présentes. Le titre alcalimétrique mesure la teneur de l'eau en alcalins libres et en carbonate caustique.

### **Le Fer**

Le fer est un élément assez abondant dans les roches (quelques %) sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures. Le fer est soluble à l'état d'ion  $\text{Fe}^{++}$  (ion ferreux), mais insoluble à l'état  $\text{Fe}^{+++}$  (ion ferrique). La présence de fer dans l'eau peut favoriser la prolifération de certaines souches de bactéries qui précipitent le fer ou corrodent les canalisations.

### **Le Manganèse**

Le manganèse accompagne généralement le fer dans les roches .Le manganèse est présent, en quantité moindre que le fer, dans les roches. Son origine dans l'eau provient essentiellement de la dissolution des roches et d'éventuels rejets industriels. La présence de manganèse est gênante, car elle peut donner à l'eau une couleur noirâtre, provoquer des dépôts d'hydroxyde, lui conférer un goût métallique désagréable et tacher le linge.

### **Le Fluor**

Le fluor n'existe pas dans l'eau à l'état libre, mais sous forme de fluorures liés à d'autres ions calcium, sodium, aluminium. Les fluorures de l'eau proviennent de la dissolution des roches pour les eaux souterraines, et de rejets industriels pour les eaux de surface. Les fluorures peuvent provoquer une fluorose dentaire (taches sur l'émail) pour des concentrations se situant entre 0,9 et 1,2 mg/l. La fluorose du squelette (douleurs osseuses et articulaires accompagnées de déformations) s'observe lorsque l'eau de boisson contient de 3 à 6 mg de fluorures par litre. Il n'existe pas de preuve suffisante du caractère cancérigène des fluorures chez l'homme.

### **Le Bore**

Les eaux d'alimentation contiennent rarement plus de 1 mg/l de bore et généralement moins de 0,1 mg/l, mais des concentrations plus élevées se rencontrent dans des eaux naturelles dans lesquelles le bore se trouve sous forme d'acide borique non dissocié.

### **Le silicate**

Le silicate peut exister dans les eaux sous deux états différents : ionique et colloïdal. Il a été noté que pour des eaux riches en silicate, et conservées très longtemps, il pourrait y avoir adsorption sur les parois.

### **Le cuivre**

En métallurgie, il entre dans de nombreux alliages. Les sels de cuivre (sulfate, acétate, dérivés organiques) sont utilisés comme fongicides ou algicides en agriculture, pour les traitements chimiques de surface et pour la fabrication de peintures et de céramiques. En dehors des pollutions industrielles ou de traitements agricoles, ce métal provient habituellement de la corrosion des tuyauteries de distribution.

### **Le Zinc**

Le zinc est employé dans de nombreux alliages, pour la galvanisation des pièces métalliques, dans la fabrication de pigments de teinture, de vernis, comme raticide et dans la fabrication de produits phytosanitaires. Dans l'eau, la solubilité des chlorure et sulfate de zinc est importante, leur hydrolyse conduit à une diminution de pH. En présence d'excès d'hydrogencarbonate, la solubilité du zinc est contrôlée par la solubilité du carbonate qui est relativement soluble et de l'hydroxyde qui l'est peu. Le zinc retrouvé dans les eaux de distribution à des teneurs provient



des canalisations de laiton ou de fer galvanisé, attaquées par les eaux agressives ou riches en chlorures et sulfates.

#### **II-1-4. Les paramètres concernant les substances toxiques**

Les substances toxiques regroupent en général les métaux lourds des minéraux toxiques. Ils sont toujours présents dans l'eau à des proportions très faibles ou l'état de trace. Les normes fixées sont sensiblement inférieures aux seuils considérés comme acceptables en toxicologie, c'est pourquoi les teneurs tolérées sont extrêmement faibles. Ces paramètres concernent le chrome, le plomb, le cadmium, nickel.....etc.

##### **Le Chrome**

Dans les eaux de surface et les eaux potables, la répartition du chrome sous ses différentes valences est encore imparfaitement élucidée. En fonction des problèmes techniques, de la réglementation ou risque toxicologique, il conviendra de choisir la méthode la plus adaptée au problème posé. Le chrome hexa valent  $\text{Cr}^{6+}$  sera susceptible d'être individualisé par colorimétrie ou par spectrométrie d'absorption atomique sans flamme.

##### **Le plomb**

Ce métal est très répandu et très utilisé dans l'industrie; les possibilités de pollution sont extrêmement nombreuses et variées. Les activités humaines emploient le plomb tétraéthyl dans les carburants comme antidétonant. L'utilisation de combustibles fossiles entraîne la formation d'aérosols plombifères constituant, actuellement, la principale source de plomb dans l'eau. Le dépassement des concentrations autorisées en plomb au robinet du consommateur est généralement produit par la présence de tuyaux en plomb ou de brasures de plomb.

##### **Le cadmium**

Lorsque des teneurs élevées de cadmium sont rencontrées dans les eaux des nappes phréatiques, son origine doit être recherchée dans des effluents industriels (galvanoplastie, en particulier). Le cadmium peut être entraîné par les pluies à partir des fumées industrielles. De plus, la présence de cadmium comme contaminant dans les engrais et les boues de station d'épuration utilisés en agriculture peut contribuer à la pollution de l'aquifère.

##### **Le nickel**

Il entre dans la composition de nombreux alliages et dans la fabrication d'éléments de batteries. Son emploi comme catalyseur dans l'industrie chimique est important. Dans les pollutions d'origine industrielle, on le retrouve généralement associé aux cyanures, au mercure, à l'arsenic, au chrome... etc.

### **Les Pesticides**

On désigne par pesticides toutes les substances chimiques, naturelles ou de synthèses, utilisées en agriculture pour contrôler les différentes sortes de nuisibles et parasites, à l'exception des produits à usage vétérinaire (Pirquet). Une fois appliqués sur les sols, par application directe ou par retombée sur les parties aériennes des plantes, les pesticides sont entraînés par ruissellement. Ils peuvent être classés selon leur usage comme selon leur nature chimique.

#### **II-1-5. Les paramètres microbiologiques**

L'eau ne doit pas contenir de bactéries ou de virus pathogènes. Par contre, les germes banals y sont admis, mais en faible quantité, puisque l'eau est un milieu vivant, une vie bactérienne inoffensive et limitée y est normale. En effet, ce problème lié aussi au réseau de distribution : La croissance microbienne et la vase dans les canalisations... etc. peuvent diminuer la qualité de l'eau et réduire l'efficacité du pompage. Une telle croissance serait liée à la présence de carbone organique dans l'eau, et l'accroissement de ce carbone disponible serait dû à l'oxydation par le chlore et l'ozone. Cependant, des chercheurs finlandais ont récemment montré que la croissance microbienne peut être faible malgré de hautes teneurs en carbone si la concentration en phosphore est basse. Ceci suggère qu'une élimination plus stricte du phosphore pourrait permettre de façon plus économique de contrôler ce problème.

Les pathogènes peuvent s'introduire dans l'eau traitée via des canalisations, des pompes, des valves défectueuses, au niveau de bassins d'alimentations, et de châteaux d'eau. Ils peuvent y survivre et s'y développer si la concentration en désinfectant n'est pas correcte. Lorsque cela arrive, c'est vraisemblablement dû à l'interaction complexe de divers paramètres.

Le dénombrement bactérien consiste à rechercher des bactéries aérobies, c'est – à – dire se développant en présence d'oxygène. Cette analyse est surtout significative pour l'étude de la protection des nappes phréatiques.

Pour cela la section de bactériologie procède quotidiennement des analyses bactériologiques de

l'eau traitée, brute, et usée .ont pour but de mettre en évidence la présence des microorganismes indicateurs de la contamination fécale : les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux, les *Clostridium sulfitoréducteurs*.

En cas d'une épidémie, la section bactériologique cherche en plus de ses bactéries, les salmonelles, et les vibrions cholériques. Le contrôle de la qualité des eaux de piscine comprend aussi la recherche de *Staphylococcus aureus*, et de *Pseudomonas aeruginosa*.

Pour le contrôle de qualité des eaux et particulièrement de l'efficacité de la désinfection; les germes totaux ou microorganismes revivifiantes à 37 °C et à 22 °C sont également recherchés.

### **III-2. Critères d'appréciation de la qualité des eaux**

Les critères de qualité de l'eau sont utilisés pour évaluer la qualité du milieu aquatique et pour définir des limites de rejet aux sources polluantes. Ils servent de base de comparaison pour évaluer la qualité du milieu en même temps que le font les études de suivi biologique sur le terrain. Tous ces outils donnent une information complémentaire et l'utilisation de l'un ne sert jamais à réduire la portée de l'autre.

C'est par l'utilisation complémentaire de ces outils et par leur interprétation à l'intérieur de leurs limites respectives qu'il est possible d'assurer une protection adéquate de l'environnement aquatique.

Des critères de qualité de l'eau sont définis pour les contaminants susceptibles de se retrouver dans les effluents municipaux et industriels et pour un bon nombre de pesticides, ainsi que pour la toxicité globale des effluents (MEF, 1998). Pour plus de 300 contaminants, des critères assurant :

- Les critères de **Vie aquatique** d'un contaminant représentent les concentrations à Pas dépasser dans le milieu pour protéger les organismes aquatiques des impacts attribuables à ce contaminant. Ce critère est défini pour deux durées d'exposition différentes.

Les critères de vie aquatique sont établis à partir de données de tests de toxicité réalisés sur des organismes représentatifs de plusieurs maillons de la chaîne trophique.

- Les critères de **Santé humaine** d'un contaminant représentent les concentrations à ne pas dépasser dans le milieu pour protéger les individus des impacts néfastes engendrés soit par la consommation d'eau et d'organismes aquatiques, soit par la consommation d'organismes aquatiques uniquement. L'élaboration des critères de santé humaine prend en compte tous les effets toxiques possibles des substances incluant leur potentiel cancérigène, leur propension à ce bio accumuler, certaines contraintes esthétiques liées aux travaux ménagers ainsi que les seuils de goût et d'odeur des substances dans l'eau.

- Les critères de **Faune piscivore** correspondent à la concentration d'une substance dans l'eau qui ne causera pas, sur plusieurs générations, de réduction significative de la viabilité ou de l'utilité (au sens commercial ou récréatif) d'une population animale exposée par sa consommation d'eau ou son alimentation.

- Les critères d'**Activités récréatives** d'un contaminant visent à prévenir les dangers pour la santé liés à des activités aquatiques à contact primaire (baignade, planche à voile) ou à contact secondaire (canotage, pêche, navigation de plaisance). De plus, ce type de critère garantit la protection des qualités esthétiques du milieu aquatique.

### **III-3. Les normes de la potabilité des eaux**

Une eau de consommation ne doit pas contenir des germes de maladies à transport hydrique, de substances toxiques ni de quantité excessive de matières minérales et organiques. Elle doit par ailleurs, être limpide, incolore et ne posséder aucun goût ou odeur désagréable. En outre, l'eau potable doit contenir sans excès, un certain nombre d'éléments minéraux, dont la présence, lui confère une saveur agréable à l'exclusion de ceux qui seraient l'indice d'une contamination, ainsi que toute substance toxique (Rodier, 1996).

Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau (OMS, 2006; Maroc, 2002; CEE, 2007.) (Annexe 4). Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur. Selon ces normes, une eau potable doit être exempte de germes pathogènes (bactéries, virus) et d'organismes parasites, car les risques sanitaires liés à ces micro-organismes sont grands. Elle ne doit contenir certaines substances chimiques qu'en quantité limitée : il s'agit en particulier de substances qualifiées d'indésirables

ou de toxiques, comme les nitrates et les phosphates, les métaux lourds, ou encore les hydrocarbures et les pesticides, pour lesquels des « concentrations maximales admissibles » ont été définies.

## **IV- LES EAUX D'IRRIGATION**

L'eau est un facteur essentiel pour l'agriculture. Constitutif des végétaux, elle transporte aussi toutes les substances nécessaires à la plante. L'irrigation est l'activité qui consomme le plus d'eau, elle absorbe plus de 85 % de l'eau maîtrisée par l'homme (Horning, 1973). L'irrigation des régions agricoles représente 70 % de l'eau utilisée dans le monde entier. Dans plusieurs pays en voie de développement, l'irrigation représente jusqu'à 95 % de toutes les utilisations d'eau, et joue un rôle important dans la production de nourriture et la sécurité alimentaire. Les futures stratégies de développement agricole de la plupart de ces pays dépendent de la possibilité de maintenir, d'améliorer et d'étendre l'agriculture irriguée. D'autre part, il existe une pression croissante sur les ressources en eau, amplifiée par la concurrence des autres secteurs utilisateurs d'eau et par le respect de l'environnement. L'agriculture irriguée peut entraîner une grande concurrence, puisqu'elle représente de 70 à 90 % de l'utilisation d'eau dans certaines régions.

### **IV-1. Qualité physico-chimique de l'eau d'irrigation**

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation. L'effet de la qualité de l'eau d'irrigation sur les cultures est une préoccupation des agronomes et des économistes chargés de la mise en valeur des territoires des zones arides et semi-arides. La qualité de l'eau d'irrigation peut être mieux déterminée par une analyse chimique en laboratoire.

Les cinq principaux facteurs pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation sont les suivants :

#### **IV-1-1. pH de l'eau d'irrigation**

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution ( $H^+$ ). Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau

d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ses valeurs, la solubilité de la plupart des microéléments est optimale. Afin de baisser le pH, il est possible d'injecter de l'acide. L'acide phosphorique et l'acide nitrique peuvent être utilisés, mais l'acide sulfurique reste l'acide le plus populaire.

#### IV-1-2. Salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), de sodium ( $\text{Na}^+$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). La teneur en sel est l'un des soucis principaux avec l'eau utilisée pour l'irrigation. Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante, brûlure les racinaires et provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines.

la salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (TDS) exprimées en mg de sel par litre d'eau (mg/L) ou en gramme de sel par mètre cube d'eau (i.e.  $\text{mg/L} = \text{g/m}^3 = \text{ppm}$ ), plus couramment, par la conductivité électrique de l'eau d'irrigation ( $\text{EC}_i$ ). La conductivité électrique est exprimée en millimhos par centimètre (mmhos/cm) ou déci Siemens par mètre (dS/m) ou micro Siemens par centimètre (i.e.  $1 \text{ dS/m} = 1000 \mu\text{S/cm}$ ). La relation entre la concentration en sel (C) et la conductivité électrique (EC) est approximativement :  $C = 640 \text{ EC}_i$ .

Tableau 2 : les degrés du risque de la salinité de l'eau d'irrigation (Bocoum, 2004).

Risque	TDS (ppm or mg/L)	$\text{EC}_i$ (dS/m or mmhos/cm)
Nul	<500	<0,75
Legers	500-10000	0,75-1,5
Modéré	1000-20001	1,5-3,00
Sévère	>2000	>3,5

#### IV-1-3. Sodium (Degré d'Adsorption du Sodium ou SAR)

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes

d'irrigation. Une grande quantité d'ions sodium dans l'eau affecte la perméabilité du sol et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû au fait que le sodium présent dans le sol en forme échangeable remplace les calcium et les magnésium adsorbés sur les argiles de sol et cause la dispersion des particules dans le sol (c.-à-d. si le calcium et le magnésium sont les cations prédominants adsorbés sur le complexe d'échange du sol, le sol tend à être facilement cultivé et a une structure perméable et granulaire). Cette dispersion a comme conséquence l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure (Couture, 2006).

D'autres problèmes, provoqués par un excès de Na, sont la formation de lit de croûte de graines, une saturation temporaire à la surface du sol, un picohenry élevé et une possibilité accrue de présence de maladies, des herbes, d'érosion des sols, de manque d'oxygène et de disponibilité nutritive insatisfaisante. La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Le SAR est défini par l'équation suivante :

Tableau 3 : Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation (Bocoum, 2004).

	<b>SAR</b>
<b>S1: risque faible</b>	<b>≤ 10</b>
<b>S2: risque moyen</b>	<b>10 - 18</b>
<b>S3: risque élevé</b>	<b>18 -26</b>
<b>S4: risque très élevé</b>	<b>&gt; 26</b>

#### **Relation entre le SAR et l'indice de salinité**

À un SAR donné, le taux d'infiltration augmente avec certaines conditions comme, notamment, la salinité. Donc le **SAR** et la **CE<sub>I</sub>** devraient être utilisés en combinaison pour évaluer des problèmes potentiels. Pour une eau très faiblement salée, une eau avec, pourtant, un SAR faible doit être évitée. Mais, une eau très salée avec un SAR au-dessus de 4 doit être soigneusement

gérée. Il est recommandé que, une fois par an, les sols doivent être soumis à des tests afin de détecter d'éventuel problème dû au sodium. Plus la salinité sera élevée, plus l'indice SAR pourra poser des problèmes d'infiltration. Mais, plus la salinité sera basse, plus les problèmes d'infiltration seront indépendants de la valeur du SAR.

En tenant compte de ces deux paramètres :  $CE_i$  et du SAR (Richards, 1954), a proposé un diagramme de classification comportant 16 classes correspondantes au couple risques salins-risques alcalins. Cette classification a été très utilisée et l'est encore de nos jours. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation.

#### **IV-1-4. Alcalinité (Carbonate de Sodium résiduel : RSC)**

Les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium ( $CaCO_3$ ) ou carbonate de magnésium ( $MgCO_3$ ) dans des conditions de sécheresse. Lorsque la concentration de Ca et de Mg décroît, en comparaison la teneur sodium et l'indice SAR deviennent plus importants. Ceci causera un effet d'alcalisation et augmentera le pH. Par conséquent, lorsqu'une analyse d'eau indique un pH élevé, ce peut être un signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate. Carbonate de Sodium résiduel (RSC), c'est un autre moyen de calculer la teneur en sodium grâce au Mg et au Ca. Cette valeur peut apparaître dans certains rapports d'analyse d'eau. Le RSC se calcule grâce à l'équation suivante :

$$RSC = ([CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]) - ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])$$

Si le RSC < 1,25, l'eau peut être utilisée pour l'irrigation;

Si le RSC > 1,25 l'eau n'est pas appropriée à l'irrigation.

Alors il est très important de « casser » alcalinité qui empêche le calcium et le magnésium d'être disponibles à la plante. Si on ne le fait pas, en séchant, tous les carbonates se transforment automatiquement en chaux calcique et dolomitique... Ce qui laisse des dépôts calcaires qui peuvent colmater les systèmes d'aspersion ou de goutte-à-goutte ou encore, des traces blanchâtres sur les feuilles si vous arrosez par aspersion.

#### **IV-1-5. Coefficient ajusté d'adsorption du sodium (SARaj)**

Habituellement, l'effet sur la perméabilité lié à une pauvreté en Ca et Mg ou en excès de Na. Des problèmes de perméabilité peuvent se poser avec des eaux très pures, peu concentrées  $EC_i$  inférieur à 0,5 dS/m.



De telles eaux sont corrosives et entraînent les sels solubles de la surface du sol. Les métaux carbonatés sont décomposés, dispersés et créent des obstacles à la circulation de l'eau. L'application de gypse constitue en ce cas un palliatif souvent efficace.

Les problèmes de perméabilité dus à une carence en Ca ou en excès de Na peuvent être évalués par un concept relativement nouveau, le « **SAR ajuste** », d'abord défini à partir du  $\text{pHc}$  d'absorption du sodium et du résidu socio carbonaté. Ce nouveau concept prend en compte l'effet des carbonates/bicarbonates au travers d'une formule théorique  $\text{pHc}$  qui complète l'ancien SAR (Monition, 1969). Le SARaj est calculé au moyen de la formule :

$\text{SAR aj} =$

$\text{pHc} = (\text{pK}_2 - \text{pK}_c) + \text{p}(\text{Ca} +$

$\text{Mg}) + \text{p}(\text{Alk}) (\text{pK}_2 - \text{pK}_c) = \text{Ca}$

$+ \text{Mg} + \text{Na}$  en meq/l

$\text{p}(\text{Ca} + \text{Mg}) = \text{Ca} + \text{Mg}$  en meq/l

$\text{p}(\text{Alk}) = \text{CO}_3 + \text{HCO}_3$  en meq/l.

Na, Ca, Mg: déterminés par l'analyse de l'eau sont exprimés en meq/l tandis que le  $\text{pHc}$  est calculé à l'aide des tables (annexe) qui se rapportent aux dosages obtenus par analyse de l'eau.

Tableau 4 : Les risques du teneur du SAR ajuster l'eau d'irrigation (CRAAQ, 2003)

		<b>SARaj</b>	<b>Notes</b>
<b>Nul</b>		< 3,0	Pas de restriction sur l'utilisation d'eau
<b>Léger à modérer</b>		3.0 - 9,0	Entre 3 et 6, une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles. Entre 6 et 8, du gypse doit être utilisé. Récoltes non sensibles. Des échantillons de sol doivent être examinés tous les 1 ou 2 jours pour déterminer s'il y a une augmentation des teneurs en Sodium.
<b>Élevé</b>		> 9,0	Domage sévère.

#### IV-1-6. Éléments qui peuvent être toxiques

La toxicité pose un problème différent de ceux de la salinité et de la perméabilité, car elle se manifeste dans le végétal lui-même comme résultat de l'absorption de certaines substances contenues dans l'eau d'irrigation peut être directement toxique à la culture.

Il se pose un problème de toxicité quand certains constituants de l'eau sont absorbés par les cultures et s'accumulent dans le sol jusqu'à atteindre des niveaux de toxicité pour les plantes.

Les directives de la FAO (Bulletin FAO n° 29; 1976), traitent de la toxicité des ions B; Na, Cl. La toxicité de ces ions est liée à la méthode d'irrigation utilisée.

Le bore peut-être toxique à très faible concentration. Une concentration en bore inférieure à 1 mg/l'est essentielle pour le développement des plantes, mais des niveaux plus élevés peuvent poser des problèmes pour les plantes sensibles. La plupart des plantes montrent des problèmes de toxicité quand la concentration du bore excède 2 mg/L. Ainsi que le sodium et le chlore sont habituellement absorbés par les racines. Lorsque l'absorption se fait par les feuilles le taux d'accumulation est plus grand, les symptômes caractéristiques en sont la brûlure et le roussissement du feuillage ainsi qu'une nécrose des tissus situés sur le bord des feuilles.

L'absorption directe se produit habituellement dans des systèmes d'irrigation par arrosage dans des conditions de faible humidité et de hautes températures.

Tableau 5 : Niveaux de toxicité pour des ions spécifiques (meq/l)

	Bore	Chlore	Sodium
Nul	< 1	1 – 3	> 3
Léger à modérer	< 4	4 – 10	> 10
Sévère	< 3	3-9	> 9

#### IV-2. Nutriments dans l'eau d'irrigation

Les nutriments essentiels pour les plantes sont des substances nécessaires pour le métabolisme et la photosynthèse des plantes comprenant les macronutriments (Na, P, K, Ca, Mg et S) et les micronutriments (Fe, Mn, B, Cu, Mo, Zn et Si). Les macronutriments représentent normalement une concentration de 1000 ppm dans les plantes tandis que les micronutriments sont trouvés au maximum à des taux de 500 ppm. Des concentrations élevées de ces micronutriments peuvent être toxiques pour la plante. La gestion nutritive des récoltes inclut souvent la fertilisation de certains de ces nutriments.

La plupart des producteurs ne prennent pas en compte les concentrations nutritives de l'eau d'irrigation dans leur programme de fertilisation. Cette source d'aliments est importante et peut économiser l'argent des producteurs et empêcher la toxicité due à une quantité élevée ces éléments dans les domaines.

Par conséquent, la concentration de ces nutriments dans l'eau d'irrigation devrait être examinée et prise en considération.

### **IV-3. Tolérance des récoltes à la qualité des eaux d'irrigation**

La tolérance des récoltes à la qualité de l'eau d'irrigation liée en général à la teneur du sel. Les signes les plus distincts des dommages dus à la salinité sont une mauvaise croissance des récoltes et une baisse des rendements. Les récoltes peuvent tolérer la salinité jusqu'à certains niveaux sans perte mesurable dans leurs rendements (seuil de salinité). Quand le seuil de salinité est dépassé, le rendement des récoltes réduit linéairement à mesure que la salinité augmente.

Il y a 20 ans, un comité scientifique de l'université de Californie vient d'élaborer des orientations pour interpréter la qualité d'eau d'irrigation, évaluer le risque à long terme sur la production agricole et la tolérance aux sels des cultures.

### **IV-4. Les normes des eaux destinées à l'irrigation**

L'agriculture représente le plus gros consommateur des ressources en eau. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées.

L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation nécessite l'utilisation d'une grille de qualité à laquelle on doit se référer pour juger si une eau convient ou non à l'irrigation alors des normes acceptables sont proposées pour différents éléments trouvés dans l'eau d'irrigation ce sont des valeurs souhaitables lorsque l'eau est utilisée de façon continue (Peterson, 1999) (voir annexe). En outre, nous avons opté pour une méthodologie préconisée par la (FAO, 1976) et adoptée par de nombreux pays (Inde, Pakistan, Syrie, USA, Belgique, etc.). Elle a été mise au point et utilisée dans le cadre de l'agriculture californienne par le service de vulgarisation, la station expérimentale et le corps enseignant de l'université de Californie (Ayers et Westcot 1976). La méthodologie est basée sur une série de directives ou valeurs «grilles» (voir annexe) ayant pour objectifs de prévenir et de résoudre au niveau du champ du cultivateur les problèmes d'ordre général rencontrés en irrigation en matière de salinité, de perméabilité et de toxicité spécifique par certains ions. Les normes devraient aider à situer les effets de la qualité de l'eau dans la perspective des autres facteurs influant sur la production agricole.

## **CHAPITRE 2 : La climatologie et l'hydrologie de la Mauritanie**

### **I. INTRODUCTION**

L'eau, première source vitale et facteur prépondérant dans le développement durable de tous les pays, s'est longtemps considérée comme une ressource inépuisable. Cependant, elle commence, depuis peu de temps, à poser de sérieux problèmes pour certaines régions, notamment les pays à climat aride et sec comme Mauritanie. En effet, la faible pluviométrie, la nature géologique du pays et l'importance de l'évaporation font que le pays est pauvre en ressources hydriques. Dans ce pays où le climat est aride et sec, une évaluation, étude et gestion des ressources en eau paraît très nécessaire.

### **II. PRÉSENTATION DE LA MAURITANIE**

#### **II-1. Situation Géographie**

La Mauritanie, ou République islamique de Mauritanie située dans le nord-ouest de l'Afrique. La Mauritanie fait partie de l'Union du Maghreb arabe et de la Ligue arabe. Elle est située sur la côte nord-ouest du continent, elle couvre une superficie de 1 032 455 kilomètres carrés (km<sup>2</sup>) et se situe entre 15 et 27 degrés de latitude nord et 5 et 17 degrés de longitude ouest.

Elle possède une côte de 700 km sur l'océan Atlantique s'étirant de Ndiago au sud jusqu'à Nouadhibou au nord. Au nord, elle est limitrophe par le Maroc (1 561 km) et l'Algérie (463 km), du Mali à l'est, et du Sénégal au sud (2 237 km). Ces frontières ont été tracées par les colonisateurs français, sauf pour le fleuve Sénégal qui constitue une frontière naturelle entre la Mauritanie et le Sénégal. La Mauritanie se divise en quatre régions naturelles sont le long de la côte atlantique s'étend un grand désert sablonneux, le Sahara, la région centrale est parsemée de plateaux escarpés à l'est et s'ouvrent de larges cuvettes dunaires, le fleuve Sénégal a creusé une vallée le long de la frontière sud du pays et l'Est qui est constitué de zones de pâturage, alors que le sud constitue la zone agricole grâce aux alluvions du fleuve Sénégal. La majorité du territoire se trouve dans le désert du Sahara avec des plaines et des reliefs peu accidentés avec quelques regs (roches). Pourtant au Nord, il existe de hauts plateaux avec un sommet à 915 m d'altitude : le mont Kedia d'Idjil. Dans le centre du pays, la cuvette du Hodh est bordée au sud-est par des plateaux gréseux (Adrar, Tagant). La façade maritime a une longue bande de dunes de sable.

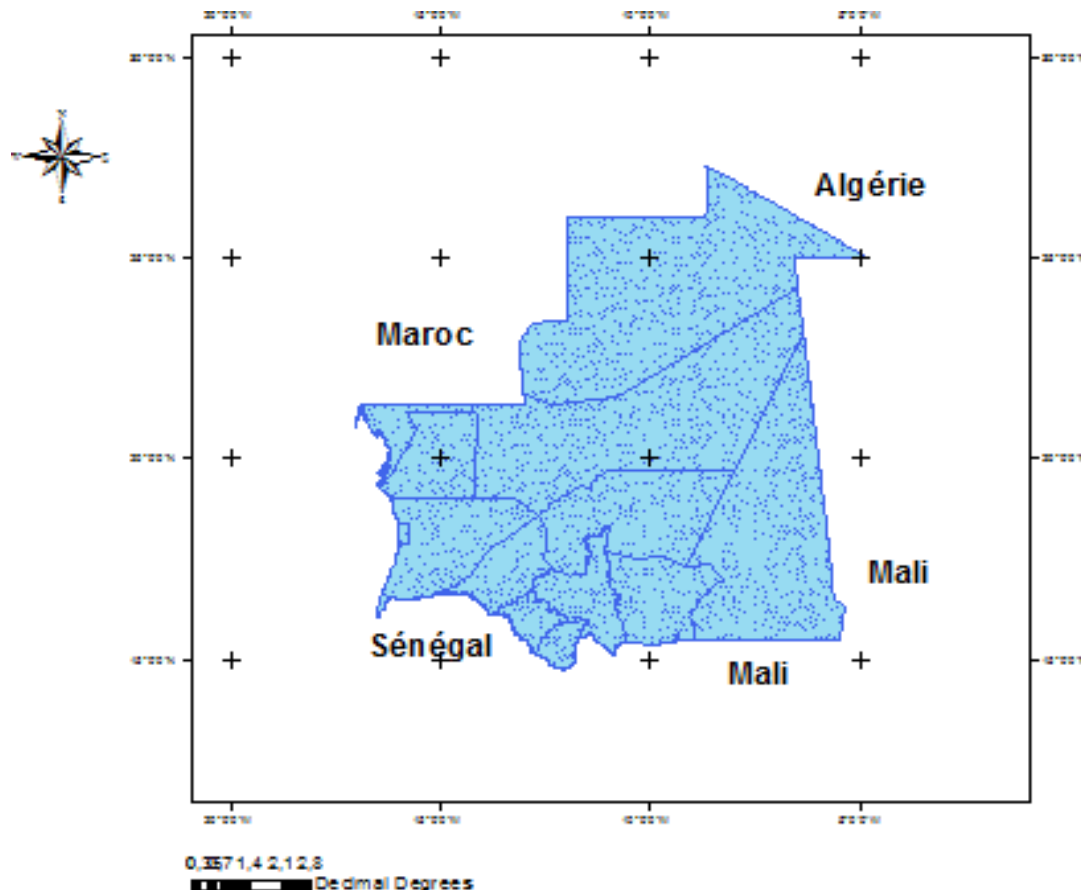


Figure2 : Carte géographique de la Mauritanie

## II-2. Géologie et Géomorphologie

- En Mauritanie, cinq grands ensembles géologiques peuvent être distingués, sont du plus ancien au plus récent :

### II-2-1. La dorsale REGUIBAT

Âgée de 1,6 Ga, elle s'étend depuis l'Amsaga, du Tris jusqu'à l'EGLAB en Algérie. Au niveau du sol, ce vaste bombement de socle cristallin montre des séries très anciennes et très érodées, qui sont constituées surtout de roches magmatiques «granitiques au centre et à l'ouest» et métamorphiques d'âge précambrien (Semega, 1995).

### II-2-2. Le bassin de Taoudenni

Datant du précambrien, il couvre plus de la moitié de la superficie du pays, le bassin de Taoudenni formé entre 1 et 0,295 Ga est constitué de roches essentiellement gréseuses et carbonatées du supérieur, au primaire (Mint Mohamed Salem, 2007).

### **II-2-3. Le bassin de Tindouf et du Zemmour**

C'est un vaste synclinal de direction est-ouest dont la série sédimentaire débute du paléozoïque au Dévonien. Il affleure aux extrémités nord-est et nord-ouest de la Mauritanie et occupe une faible superficie dans le pays (Mint Mohamed Salem, 2007).

### **II-2-4. La chaîne des Mauritanie**

D'altitude faible (300 m), la chaîne des Mauritanie est limitée à l'Ouest par le bassin côtier, à l'est par le bassin de Taoudenni d'âge précambrien supérieur au primaire (800-250Ma), cette chaîne s'est édifiée pendant trois grandes orogénèses : l'orogénèse panafricaine I, l'orogénèse panafricaine II et l'orogénèse hercynienne. Elle est formée de roches sédimentaires, éruptives et métamorphiques déformées et généralement déversées vers l'est ou le nord-est (gabbros, granites, quartzites schistes, etc...) (Semega, 1995).

### **II-2-5. Le bassin côtier sénégal-mauritanien**

En bordure de la plate-forme africaine, il occupe la dépression de la baie Sénégal-mauritanienne. Ce bassin est constitué de roches sédimentaires d'âge secondaire, tertiaire et quaternaire reposant sur un socle faillé et son épaisseur augmente de l'est vers l'ouest. Il contient des dépôts détritiques continentaux et marins provenant de l'accumulation des matériaux de l'érosion de la chaîne des Mauritanie (Mint Mohamed Salem, 2007).

- À côté des dunes avec leur caractère morphologique frappant, on trouve cinq autres ensembles en Mauritanie :
  - Zone déchiquetée du Cap-Blanc : les assises greso- calcaires forment des plateaux très détaillés en gradins successifs;
  - Zone des grands Aftouts (Inchiri, Tijiritt) coupes par des dunes vives de direction NE-SO;
  - Région des plateaux et hauteurs tabulaires qu'on observe de Wompou au lac d'Aleg;
  - Massif dunaire du Trarza caractérise par son alignement dunaire NE-SO. Il s'étend du lac d'Aleg au littoral et la sebkha de Ndrhamcha. Ces alignements dunaires sont séparés par des dépressions étroites (gouds) ou larges (Aftout);
  - Vallée alluviale du fleuve Sénégal et de ses affluents : les oueds Garfa, Gorgol et Savalel et de son défluent le Koundi; à cela s'ajoute la dépression du lac de R'kiz (Kankou, 2004).

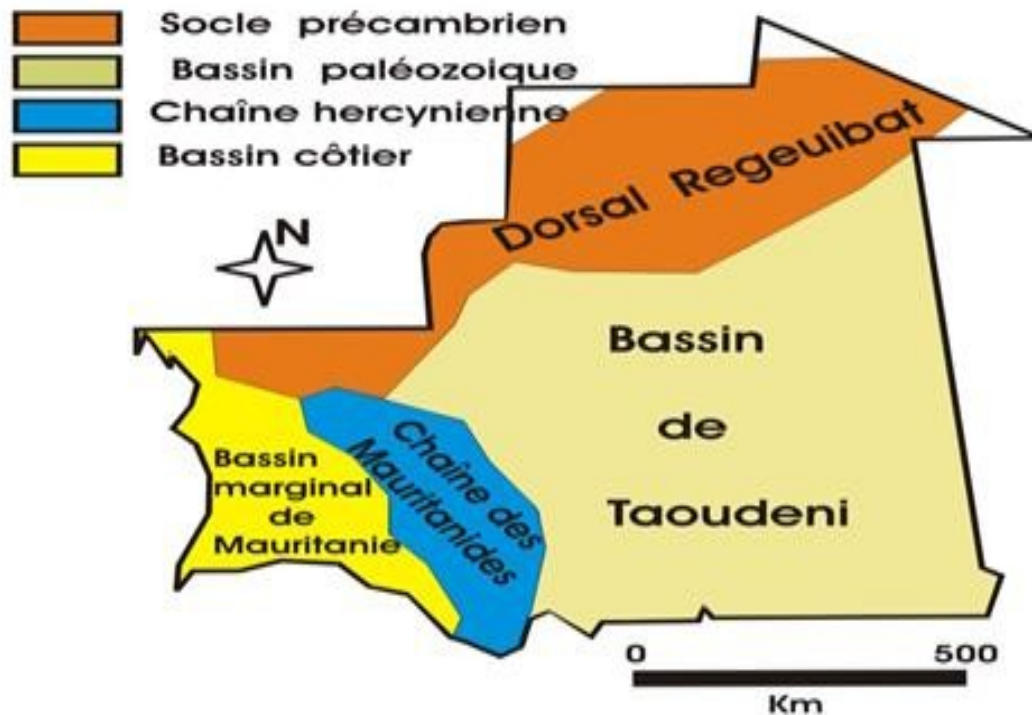


Figure 3 : Schéma de localisation des grands ensembles géologiques de la Mauritanie (Caruba et Dars., 1991).

### II-3. Climat mauritanien

La République Islamique de Mauritanie située dans l'extrémité occidentale de la bande sahélienne, la zone est soumise au cours de l'année a une dynamique climatique complexe liée à l'alternance de trois courants principaux (Toupet et al., 1977) : l'alizé maritime du nord issu de l'anticyclone des Açores, l'alizé continental permanent du sud-est qui a pour origine l'anticyclone de Sainte Helene, le harmattan (Irrifi) de l'est qui balaie le Sahara et se charge de poussière (Leroux, 1991). Ce climat (saharien au Nord et sahélien au Sud) est généralement chaud et sec. Et comprends généralement trois saisons dans l'année :

- Novembre à Mars : saison des vents de sable avec une température tempérée le jour et fraîche la nuit appelée la saison sèche froide;
- Avril à mi-juillet : le harmattan, vent du nord-est, souffle un air chaud et sec. Les températures sont élevées cette saison généralement sèche et chaude;
- Mi-juillet à octobre : c'est l'hivernage avec des orages et des pluies courtes, mais abondantes. Le climat est alors très humide avec des températures de l'ordre de 45 °. L'hygrométrie se situe entre 50 et 70 %. Pour analyser les variations climatiques dans la zone d'étude, nous avons utilisé les données climatiques de l'Office National de Météorologie (ONM) (Annexe 1).

### II-3-1. Pluviométrie

Le cycle annuel des précipitations observées dans le Sahel se caractérise par une longue saison sèche de plus de huit mois (octobre à mai) et une période de pluie dite «hivernage» de juin à septembre. Pour le Sahel, c'est la seule période pluvieuse de l'année. Toutes les ressources en eau en dépendent. En effet au Sahel les précipitations se caractérisent par leur très grande irrégularité spatiale et temporelle. Par exemple, Sivakumar et Hatfield, (1990) ont trouvé des différences de 2 à 62 % sur la moyenne pluviométrique d'une averse sur une zone de 500 hectares (au Niger) équipée de 18 pluviomètres enregistreurs.

À la Mauritanie, les pluies commencent à tomber dès le mois du juillet, annonçant le début de l'hivernage, mais restent faibles (3 % des précipitations). Le mois d'août est le plus pluvieux avec plus de 40 % des précipitations annuelles, alors que juillet et septembre représentent respectivement 20 % et 30 % le mois d'octobre, avec une moyenne de 5 %, marque la fin nette de l'hivernage. Selon un gradient nord-sud de quelques millimètres à 550 mm/an dans la région du Guidimakha. La majeure partie du pays reçoit une pluviométrie inférieure à 300 mm/an. La région du Brakna a subi de plein fouet l'effet de la longue sécheresse des années 1970-1980 (El Ghadi et Ballouche, 2004).

Si l'on se réfère aux précipitations de la station d'Aleg, on constate depuis 1972 un équilibre trentenaire stable, en dessous de la moyenne séculaire (250 mm/an). Il est, en effet, tombé à 205 mm/an sur les 30 dernières années contre 280 mm/an avant 1972, mais la remise en cause de cette tendance au cours des dernières années est remarquable

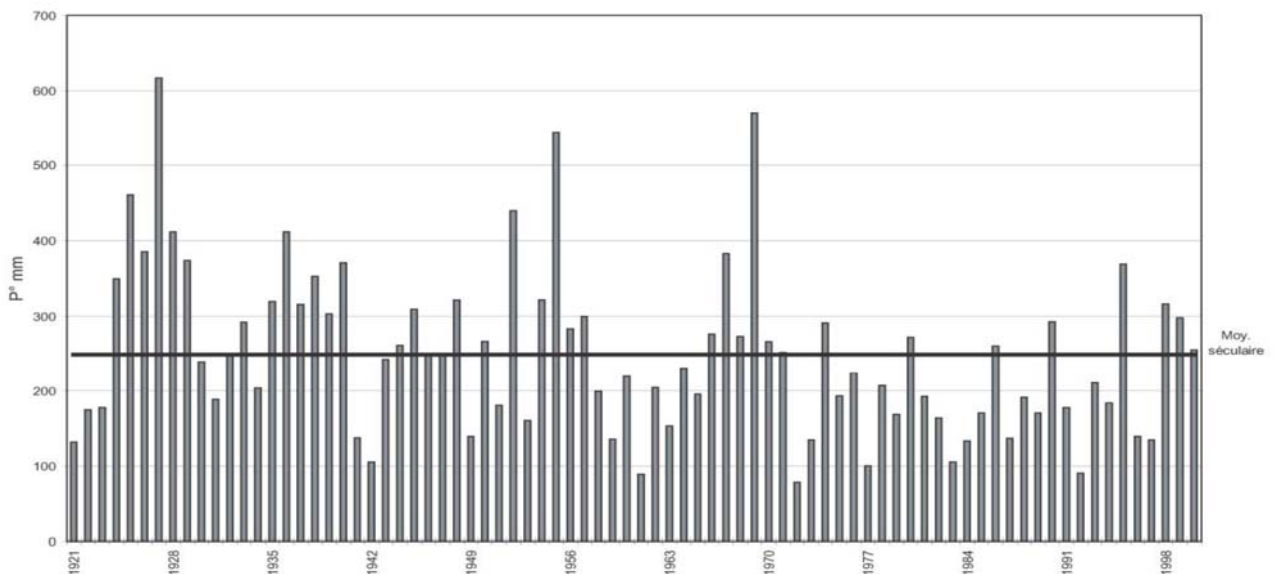


Figure 4 : Les variations pluviométriques à Aleg (1921-2000). Par rapport à la moyenne (149,1 mm).selon l'ONM.



### II-3-2. Température

Une température de l'air généralement très élevée avec une grande disparité entre les degrés du jour et de la nuit est observée sur l'ensemble du pays. Précisons cependant que la température varie d'une région à l'autre suivant les périodes et selon plusieurs facteurs. En effet la répartition et l'évolution de la température résultent de l'assemblage des facteurs géographiques, mais surtout la latitude et l'éloignement par rapport à l'océan atlantique, les températures moyennes de 19 à 25 °C sur la bordure littorale, du fait de l'océan, les écarts des températures sont plus réduits qu'à l'intérieur. Le maximum annuel a lieu en fin de saison sèche, entre avril et juin (30 -41,5 °C) tandis que le minimum est en décembre-janvier (15 - 20 °C).

En général les Tableau 6 variations annuelles de la température dépendent des mouvements zénithaux du soleil.

Tableau 6: variations annuelles de la température dépendent des mouvements zénithaux du soleil Aleg (Mauritanie)

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Température maximale (°C)	30.9	33.4	35.9	38.7	41	41.5	38.6	36.8	37.7	38.8	35.8	31.1
Température minimale moyenne (°C)	15.3	16.9	19.6	22.1	24.7	26.2	25.7	25.7	25.7	23.9	20.1	16.7
Température moyenne (°C)	23.1	25.1	27.7	30.4	32.8	33.8	32.1	31.2	31.7	31.3	27.9	23.9

### II-3-3. L'humidité relative

Elle est faible à très faible sauf dans les régions sous l'influence de l'océan. Les valeurs maximales de l'humidité sont enregistrées durant la période de pluie, lorsque la mousson envahit la région. Quand les événements pluvieux sont intenses, les valeurs de l'humidité peuvent dépasser 80 %.

En dehors de la saison de pluie, c'est le harmattan (Irrifi) qui assèche l'atmosphère et favorise l'évaporation en diminuant l'humidité jusqu'à moins de 30 % au mois de mai. Pour tout dire, son influence dans la Mauritanie saharienne est très faible si elle n'est pas nulle.

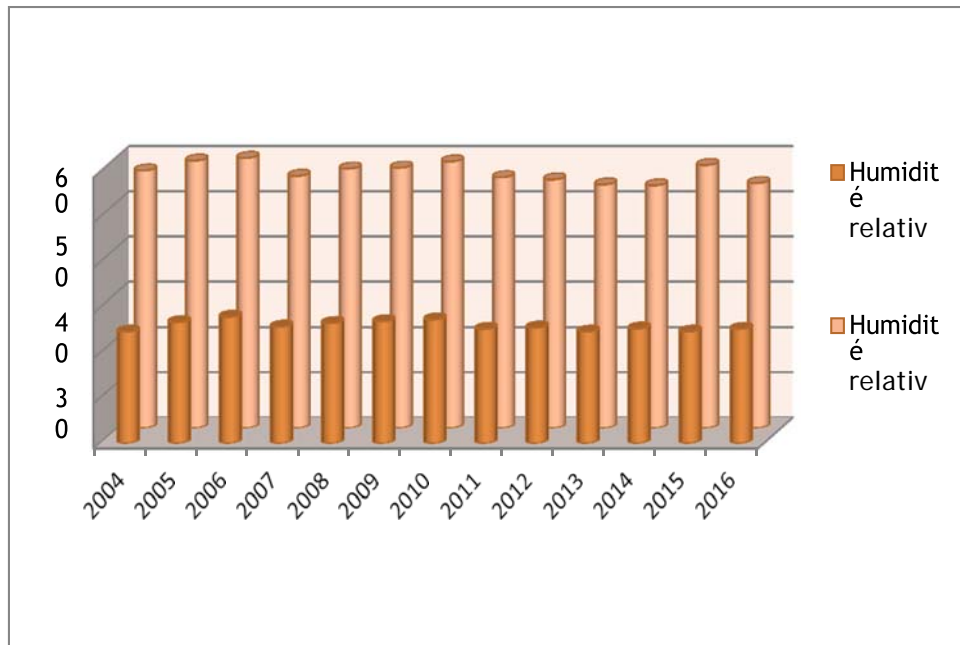


Figure 5 : Variation de l'humidité relative sur les dernières années selon l'ONM.

#### II-3-4. Le vent

Le territoire du pays se caractérise par un espace désertique saharien couvrant les trois quarts du pays, le dernier quart appartenant à la zone sahélienne. La Mauritanie est donc l'un des pays sahéliens les plus exposés aux effets de la désertification. Ceci est une conséquence des effets des masses d'air qui balaient le pays. Ces masses d'air sont constituées de trois courants principaux qui soufflent tout au long de l'année :

- ❖ L'alizé maritime, vent frais qui souffle sur tout le littoral. Il se dessèche quand il se déplace vers l'intérieur du pays.
- ❖ L'alizé continental ou harmattan (Irifi en Hassanya) issu de l'anticyclone saharien qui règne toute l'année sur les régions sahariennes et qui maintient une situation de sécheresse.
- ❖ La mousson qui vient achever sa source vers le Nord. C'est un vent humide provenant d'Ouest et de Sud-ouest et auquel sont liées les précipitations.

L'influence de ces masses d'air qui balaient le territoire se traduit par l'existence de deux grandes zones climatiques (Hbib, 2006) : le Sahara et le Sahel avec chacune une nuance littorale et une nuance continentale. La bordure côtière pour chaque région climatique est caractérisée par une humidité relativement importante et des écarts diurnes et annuels faibles alors que la partie continentale présente des écarts de températures (diurnes et annuels) plus importants et une sécheresse de l'air extrême

surtout dans la région saharienne qui connaît une très faible pluviométrie et une forte évaporation.

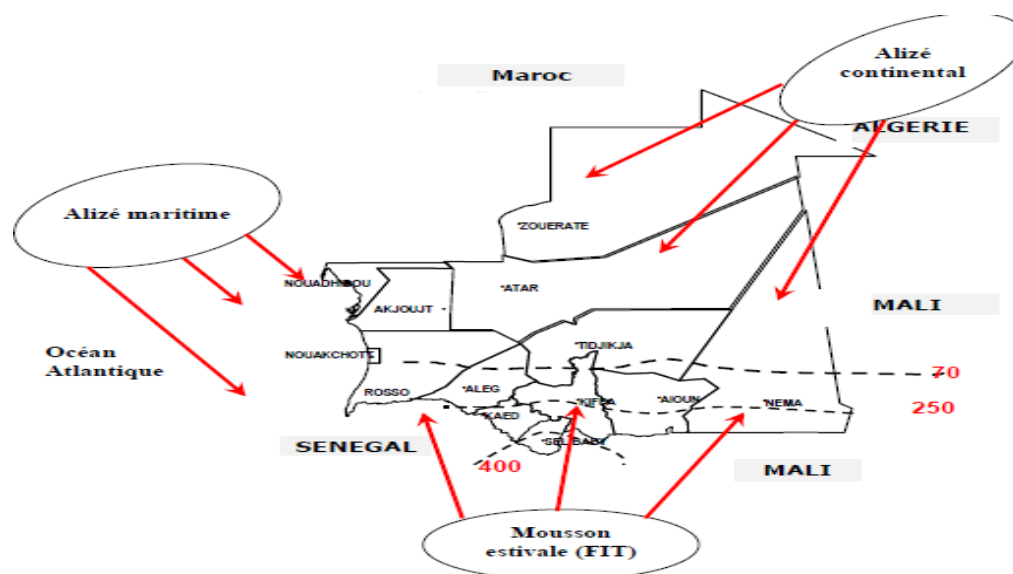


Figure 6 : Les trois régimes des vents dominants dans le territoire mauritanien

#### II-4. Végétation

L'écosystème du lac d'Aleg se caractérise par une biodiversité riche mais faiblement valorisée et soumise à des pressions nombreuses.

Les différentes formations végétales comprennent principalement des balanites aegyptiaca des *Boscia senegalensis*, des *Mauerua crassifolia*, des *Capparis decidua* et des *Ziziphus mauritiana* autour de la cuvette du lac, et dans les sols plus sablonneux, on trouve des *Acacia tortilis*, des *Leptadenia pyrotechnica*, et des *Acacia Sénégal*. On rencontre parfois dans les tamourts des reliques de forêts à base d'*Acacia nilotica*, *Ziziphus mauritiana*, *Anogeisus leocarpus* et quelques pieds isolés de baobab).

Ces formations végétales constituent les lieux d'approvisionnement de la population en nourriture sauvage d'origine végétale et en plantes médicinales mais également en bois de chauffe et bois d'oeuvre.

La cueillette des produits forestiers (jujubes, fruit du palmier doum, gomme arabique, gousses d'*Acacia nilotica*, tubercules et fruits de nénuphars, diverses graines, gommés et écorces de Tamat...) fait l'objet d'un petit commerce et par conséquent, sont une source de revenus pour les femmes et les enfants. les produits forestiers ligneux (bois d'énergie et bois de service) constituent la principale source d'énergie pour la plupart des ménages ruraux et une composante

essentielle dans la construction des logements et des clôtures (tiges de Calotropis et d'Acacias). Ils constituent également une source complémentaire importante de revenus pour les populations les plus pauvres qui alimentent le grand nombre de petits restaurants d'Aleg en bois et charbon de bois pour la préparation notamment des méchouis.

37% des ménages utilisent le bois de chauffe pour la cuisson, contre 31% le charbon et 32% le gaz butane (source : enquête/mission de terrain). En dépit d'effort pour encourager l'utilisation de ce dernier, le projet n'a pas été un succès en raison du coût élevé d'amenée et des difficultés d'approvisionnement des foyers dans les différents villages autour du lac d'Aleg de Mauritanie. La faune (petits mammifères) et la flore (espèces herbacées et aquatiques, ligneux) de la zone du lac restent assez diversifiées au point de vue systématique, et ce, malgré les effets combinés de la sécheresse et des actions néfastes de l'homme sur les ressources naturelles (notamment la coupe abusive des arbres) qui ont eu pour effet la disparition de plusieurs formations forestières, la disparition ou la régression de plusieurs espèces ligneuses, et l'éradication de plusieurs espèces animales sauvages.

Sur le plan ornithologique, le lac d'Aleg joue un rôle indéniable car il sert de zone de passage et d'hivernage pour les oiseaux migrateurs paléarctiques afro-tropicaux ; sarcelles, oies, canards, cigognes, poules d'eau et spatules. Leur diversité est cependant menacée en raison de nombreuses agressions qu'ils subissent (chasse, piétinement des plantes qui leur servent d'habitat et leur procurent de la nourriture).

Les périodes de sécheresse qui ont sévi dans les années 70/80 ont engendré un afflux massif de populations à Aleg dont le nombre d'habitants a plus que doublé entre 1977 et 2000. De nouveaux quartiers se sont créés dans la ville et de nombreux villages se sont implantés autour du lac.

Dans le littoral mauritanien, il existe de grandes différences entre les groupements végétaux du nord et du sud, étroitement liées aux variations pluviométriques. Il est occupé par le *Tamarix senegalensis* qui domine tous ses associés et forme jusqu'à 90 % du groupement.

Ses associés comprennent *Salvadora persica* sur les monticules et d'autres espèces tolérantes au sel dans les dépressions comme *Arthrocnemum indicum*, *Nitraria retusa* et rarement *Acacia raddiana* et *Indigofera oblongifolia*. Il occupe généralement des sols

lourds et supporte l'eau saline ou saumâtre des sebkhas. L'état actuel de la végétation et les associations végétales reflètent également les effets de la sécheresse et de l'exploitation humaine et animale. D'une manière globale, le tapis végétal est discontinu, mais reste important.

Il est subordonné à un cycle végétatif court. Les plantes qui forment ce tapis végétal doivent

s'adapter aux conditions désertiques : plantes grasses, plantes à petites feuilles et fortes épines, plantes à liège abondant. Les graminées les plus répandues sont le cram-cram (*Cenchrus biflorus*), le sbat (*Aristida pungens*), le merkba (*Panicum turgidum*). L'agriculture n'occupe pas une grande superficie. Conditionnées par les hauteurs pluviométriques, les activités vivrières, qui représentent la principale production, ne s'étendent qu'à proximité du fleuve Sénégal et du lac de R'kiz. Les cultures majeures sont le sorgho, le mil et le riz. D'autres cultures maraichères comme les oignons, les tomates et les poivrons sont produites sur les rives du fleuve grâce à des canaux d'irrigation, mais ne représentent qu'une faible part de la production. La superficie totale irriguée est estimée de l'ordre de 15 000 ha dont la grande partie dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal (Mohamed, 2011)(Figure 7).

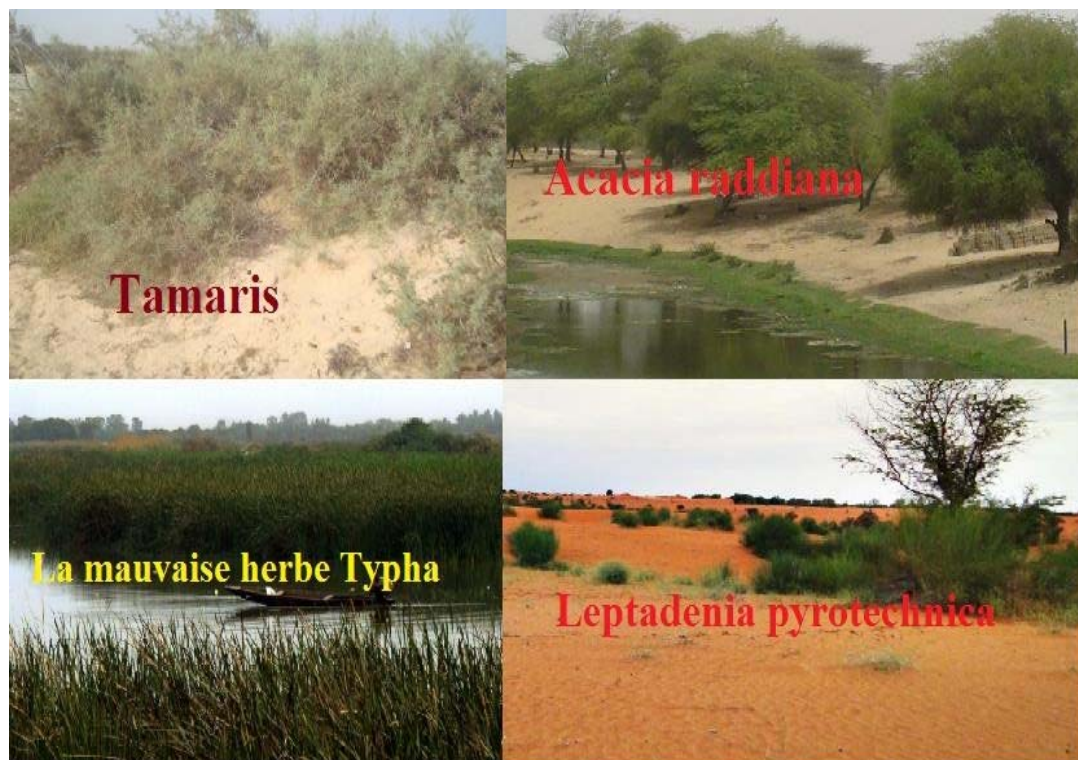


Figure 7 : Quelques types des végétations en Mauritanie (Mohamed, 2011).

## **II-5. Situation socio économie de la Mauritanie**

### **II-5-1. Population**

La population du pays était estimée en 2015 par la banque mondial à un peu plus de quatre millions d'habitants avec une densité de 4 personne au kilomètre et une taux de croissance démographique 3 %. Dont 85 % vivaient dans le Sud et représentant seulement 20 % de la superficie globale. Elle est composée de deux populations principales :

V

**L'ensemble hassanophone** constitue un groupe culturellement et linguistiquement homogène formé de deux sous-ensembles : Les Maures blancs ou Beïdane (singulier : Bidhani) d'origine arabo-berbère représentant environ 40 % de la population. Ils sont parfois métissés. Les Maures noirs ou Harratine (singulier : Hartani) dont les ancêtres raziés en pays noirs : représentent également à peu près 40 % de la population.

**L'ensemble négro-mauritanien** constituant approximativement 20 % de la population est formé principalement de quatre sous-ensembles, correspondant à des ethnies dont la majorité vit au Sénégal et au Mali, pays frontaliers : Les Haalpulaaren (locuteurs du polar) regroupent les Peulhs et les Toucouleurs habitant du Gorgol au Brakna; Les Soninkés vivent dans le Gorgol et le Guidimaka; Les Wolofs habitent surtout la région de Rosso. Les Bambaras, très minoritaires, vivent dans celle de Nema. Chacune des deux grandes composantes se trouve localisée dans une région donnée du pays, les Négro-Mauritaniens dans le Sud et les Maures dans le centre et l'est du pays (Ould Zein et Queffélec, 1997).

La communauté Arabe dénommée maure se divise en deux groupes ethniques : les Beïdanes ou Maures blancs,

les Harratines ou Maures noirs. Leur parler commun est l'hassanya qui est une variante de l'arabe classique. Il est à noter que dans certains milieux maures, on y parle également le berbère. Le terme négro-africain désigne selon les langues : Les Halpoulars parlent le **polar** (fulfulde). Les Soninkés appelés également Sarakollés parlent le **soninké**. S'agissant des Wolofs, ils parlent le **wolof**. Les Maures occupent le Nord, le Centre et l'Est du pays et les Négro-africains, ils occupent le Sud (Ould Zein, 2012). Au moment de l'accession à l'indépendance en 1960, la Mauritanie est devenue une république islamique. La Constitution de 1985 faisait de l'islam la religion d'État et de la Charia la loi du pays. Les Mauritaniens sont tous officiellement musulmans sunnites de rite malékite, mais en réalité le pays compte 99 % de musulmans.

Tableau 7 : La population de la Moughataa d'Aleg (Source : ONS 2002)

L'année	1977	1988	2000	2013
Population	42 819	59 954	66 262	101512
Densité (habitants/km2)	2,6	3,3	5	6
Part des nomades	51%	30,60%	15,30%	7,90%

## **II-5-2. Principales activités économiques**

L'économie mauritanienne est basée sur quatre types principales de ressources telles que :

### **La pêche :**

La Mauritanie est une des régions les plus poissonneuses du monde grâce à un écosystème littoral exceptionnel à cause de l'existence de haut-fond et de vasières permet la prolifération d'herbiers (zostères) qui allié à la confluence de courants par remontées d'eau des profondeurs favorise la reproduction des espèces marines. Le secteur de la pêche en Mauritanie connaît deux filières : la flotte de pêche artisanale et la flotte de pêche industrielle (nationale, étrangère et sociétés mixtes). Ces filières présentent des complémentarités et connaissent des conflits spatiaux (accès aux zones de pêche), sur le type d'engins à utiliser et des concurrences pour plusieurs espèces (surtout des céphalopodes). Le développement du secteur de la pêche artisanale a été rapide. La flotte était de 4000 en 2001 comprenant 2790 pirogues nationales, 1114 pirogues affrétées et 249 pirogues avec licences libres. La quantification des captures réalisées par la pêche artisanale est difficile en raison de la dispersion des sites de débarquement, des circuits de commercialisation non maîtrisés et du manque de collaboration de certains pêcheurs et d'une partie des sociétés de valorisation des produits de pêche artisanale. Selon la fédération des pêcheurs : la pêche industrielle couvre entre 30 et 40 % des besoins de la Mauritanie en devises, contribue à raison de 25 à 30 % du budget de l'État et offre génère 6 000 emplois permanents pour des nationaux et la pêche artisanale qui offres des emplois pour plusieurs personnes et couvre ente 60 à 70 des besoins de la population. 100 % de la pêche industrielle est débarquée à Nouadhibou (nord-ouest de la Mauritanie) et 80 % de la pêche artisanale à Nouakchott. La pêche représente une part importante de l'économie mauritanienne (plus de 12 % du PIB).

### **L'élevage :**

Le secteur rural reste à dominante pastorale. En effet, avec une contribution de 14,3 % au PIB, l'élevage représente 80 % des apports dans le secteur rural. Le cheptel national est estimé à 1,3 million de Camelins, 1,4 million de Bovins, près de 12 millions de Petits Ruminants, 3 400 000 volailles locales (dont 2 millions en aviculture familiale), 2500 Asines et 63 000 Equins. Il équivaut à 3 millions d'UBT pour une population de 2,5 millions soit un rapport de 1,4 UBT/habitant, ce qui en fait l'un des rapports les plus élevés de la sous- région.

L'état sanitaire est satisfaisant, et fait l'objet de suivi constant par le Réseau mauritanien

d'Epidémie surveillance des Maladies Animales (REMEMA), qui est l'un des plus performants de la sous-région (1<sup>er</sup> réseau sur 32 en Afrique de l'Ouest et du Centre en 2003). L'alimentation du cheptel est assurée essentiellement par les pâturages naturels (herbacés et ligneux), dont la production dans la zonesylvo-pastorale (6,3 milliards d'unités fourragères) est réduite et ne correspond qu'aux besoins de 2,5 millions d'Unité Bétail Tropical (UBT). Et l'abreuvement du cheptel s'effectue à partir des eaux de surface (rares, en dehors du fleuve et de ses affluents) et des puits pastoraux. La Mauritanie est autosuffisante en viandes rouges; une partie de la viande produite est même exportée sous forme d'animaux sur pied au Maroc (les dromadaires) et en Afrique de l'Ouest (les bovins et les petits ruminants). La production laitière, bien qu'héroïquement excédentaire, est saisonnière et atomisée. Le développement de cette filière au cours de ces dernières années a contribué à la diminution des quantités de lait et de produits laitiers importés (Fall Moctar, 2006).

### **L'agriculture :**

La Surface agricole utile (SAU) représente moins de 0,5 % du territoire national (estimée à 502 000 ha). De plus 44 % de la SAU, soit 220 000 ha sont constitués de terres exploitables dans un système de production pluvial (Diéri, Bas-fonds et Walo) qui dépendent fortement de la pluviométrie, de l'écoulement hydrique et donc de la qualité des infrastructures hydrauliques. L'agriculture proprement dite contribue à elle seule 22,8 % du PIB (Banque mondiale, 2014). La production s'inscrit nécessairement dans l'environnement écologique mauritanien généralement défini selon quatre zones agroécologiques auxquelles correspondent quatre principaux systèmes de production.

- **La zone aride** : Cette zone, la plus vaste du territoire (80% de la superficie totale) est caractérisée par des températures très élevées, la sécheresse de l'air et par une très faible pluviométrie. Le système de production de référence, de type oasien avec palmier et cultures irriguées associées (céréales, luzernes, fruits et légumes), couvre environ 12 000 ha soit 2,4 % de la SAU.
- **La zone sahélienne** du sud-est de la Mauritanie est celle où alternent une saison hivernale sèche et une saison estivale pluvieuse. Le système de production est de type

agropastoral à l'Est du pays, connu par les cultures (sorgho, mil, maïs) extensives pluviales, de type «diéri» en zone sablonneuse. Les superficies varient considérablement en fonction de la pluviométrie : de 57 000 à 184 000 ha soit de 11 % à 37 % de la SAU. Les rendements sont faibles, de l'ordre de 0,3 tonne/ha.



• **La zone de la vallée** est celle où domine l'agriculture irriguée, mais où sont également développés les cultures pluviales et l'élevage. Au niveau de l'irrigué il existe deux systèmes de culture : L'agriculture irriguée en maîtrise totale de l'eau, permettant potentiellement trois campagnes par an, portant le total des superficies irriguées mises en valeur à environ 30 000 ha soit 6 % de la SAU. Les systèmes de décrue naturelle ou contrôlée du Walo. Les superficies mises en valeur varient d'un minimum de 7 000 ha (2002), soit 1,4 % de la SAU, à un maximum de 40 000 ha (1996), soit 8 % de la SAU.

• **La zone maritime**, qui correspond à une bande littorale de 50 km de large, et s'étalant de Nouadhibou au delta du fleuve. Un système de production littoral permet l'exploitation des potentialités spécifiques de cette zone, plus humide, aux températures moins élevées et donc propices aux cultures, notamment maraîchères et arboricoles. Une estimation indicative de la SAU en zone maritime est de l'ordre de 164 000 ha (soit 33 % de la SAU totale du pays) (Banque Mondial, 2012).

#### **L'industrie minière :**

Les ressources minières ont été exploitées dès l'indépendance du pays faisant de ce secteur l'activité principale de l'économie nationale. Cependant, la part que prend l'exploitation minière dans la constitution du P.I.B. Eu tendance à baisser ces dernières années en raison, entre autres, d'une conjoncture internationale défavorable et les activités minières n'ont pas connu de diversification significative. Aussi, les études ont démontré que le potentiel minier du pays reste faiblement exploité en dépit des efforts visant la mise en place de politique agressive destinée à attirer l'investissement dans ce domaine .

Dans le pays il ya différents secteurs miniers. En effet, la Société nationale des industries minières (SNIM) qui exploité le fer avec une production de 4 millions de tonnes par an. Par ailleurs, Tasiast Mauritanie Limited (TML) a produit plus de 160 000 onces d'or en 2010 (environ 5 tonnes). La Mauritanien Copper Mines (MCM) elle, à 92 000 onces de cuivre (environ 3 tonnes). Les exportations de minerai de fer, de cuivre et d'or ont permis à ce secteur de prendre de l'ampleur, surtout après l'augmentation considérable de leurs prix internationaux durant 2010.

La hausse des prix en fer, cuivre et l'or, est évaluée respectivement à 60,4 %, 46,3 % et 25,9 %. La contribution du secteur minier au PIB est estimée à 23,1 % en 2010 contre 20 % en 2009 (Ely cheikh Samba, 2013).

### III. LES EAUX EN MAURITANIE

#### III-1. Les eaux souterraines

Les ressources en eau renouvelable souterraine de la Mauritanie sont estimées à 0,3 km<sup>3</sup>/an, mais elles se caractérisent par d'importantes disparités géographiques. Les prélèvements d'eau sont en 2000 estimés à 88 % pour l'agriculture, 9 % pour les usages domestiques et 3 % pour l'industrie. La connaissance des eaux souterraines a été améliorée par plusieurs études hydrogéologiques en particulier pour l'approvisionnement en eau potable des principales villes et les estimations sur la disponibilité de la ressource.

Les eaux souterraines en Mauritanie sont trouvées à quatre provinces hydrogéologiques S'identifiant d'Est à l'Ouest :

Au bassin du Taoudenni, Au Socle précambrien et la dorsale Regeuibatte; La chaîne Mauritanie; et Au Bassin Côtier sénégal-mauritanien.

Les principales nappes mauritaniennes sont :

Nappe Trarza, Nappe du Boulenoir, nappe Benichab, Nappe Aleg-Kaedi.

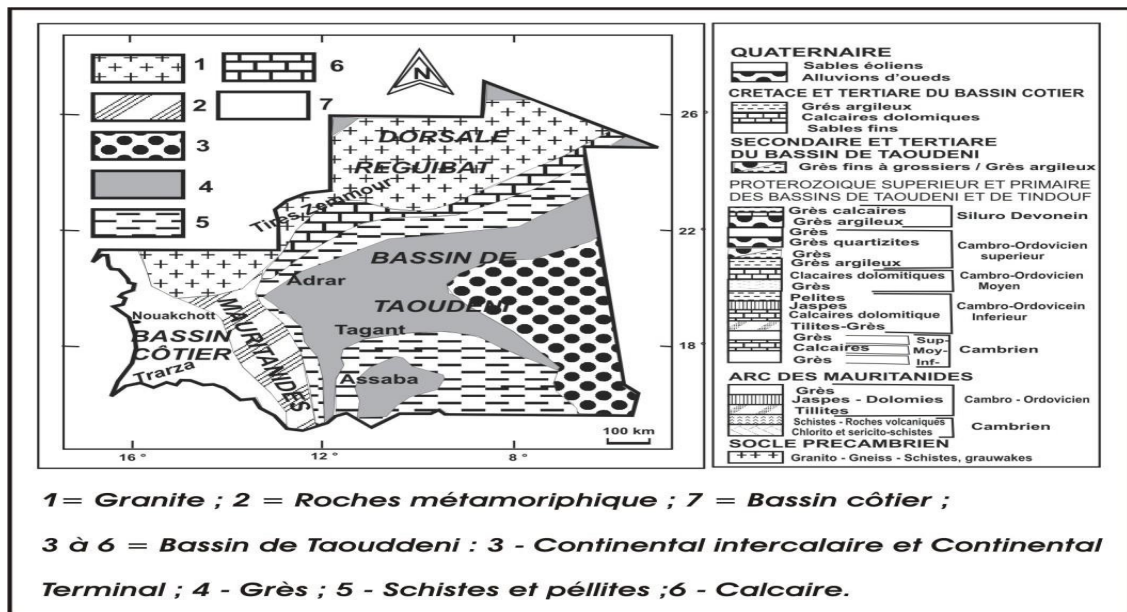


Figure 8: Carte des ressources en eaux souterraines de la Mauritanie (C et Dars.,1991).

#### III-1.1. Détérioration de la Qualité

La qualité naturelle des eaux souterraines peut être altérée par l'activité humaine. La détérioration de la qualité de l'eau est appréciée par mesures des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Dans le cas d'une détérioration jugée importante, l'eau ne sera plus considérée comme potable pour la consommation humaine. Elle pourra être telle quelle utilisée à d'autres fins (irrigation...) ou devra subir un traitement appropriée pour retrouver

sa potabilité.

L'eau des nappes n'est donc pas à l'abri de la pollution et l'autoépuration naturelle n'est pas complète dans toutes les nappes et vis-à-vis de certaines substances .

### **III-1-2. Les principaux types de nappes**

Il y a plusieurs types de nappes selon les roches-magasins et selon la nature du réservoir .

#### **Les grandes nappes libres des formations sédimentaires**

Il s'agit de roches poreuses (sable, craie, calcaire) jadis déposées en vastes couches. Elles peuvent

contenir de 50 à 100 l d'eau par m<sup>3</sup>. Les forages peuvent délivrer à peu près de 50 à 200 m<sup>3</sup> d'eau à l'heure.

Ces nappes sont dites libres parce que la surface supérieure de l'eau fluctue sans contrainte. Il n'y a pas de "couvercle" imperméable au toit du réservoir et la pluie efficace peut les alimenter par toute la surface. Certaines nappes libres sont constituées par des plateaux calcaires où les vides sont surtout des fissures élargies par la dissolution, parfois jusqu'à la taille de gouffres et de cavernes. Ce sont des karsts. Ils peuvent donner lieu à de grosses sources, mais comme les vides contenant de l'eau sont grands et peu nombreux, la réserve s'écoule vite et le débit des sources varie parfois de 1 à 100 au cours de l'année. Dans les régions méditerranéennes, beaucoup de ces sources tarissent en fin d'été .

#### **Les nappes captives**

Elles sont constituées à peu près des mêmes types de roche, mais sont recouvertes par une autre couche géologique imperméable qui confine l'eau. Celle-ci est alors sous pression et peut jaillir dans des forages dits artésiens. L'alimentation ne peut se faire que par des zones d'affleurement limitées ou des communications souterraines. Dans les déserts, ces nappes sont fossiles. Elles ne reçoivent plus d'alimentation et sont alors des mines d'eau épuisables non renouvelées.

Les nappes captives sont souvent profondes, voire très profondes (1000 m et plus).

#### **Les nappes alluviales :**

Elles constituent un type particulier de nappes, formées par les grands épandages de sables et graviers des fleuves et des rivières.

Ces nappes fournissent 60% des eaux souterraines captées en France [14], en particulier grâce à leur facilité d'accès et leur bonne productivité. Elles sont le lieu privilégié des échanges entre les cours d'eau et les autres grandes nappes des coteaux (nappes libres). C'est à travers ces nappes alluviales que les grands flux issus des nappes libres rejoignent les rivières. Parfois, ce sont les rivières qui cèdent de l'eau aux nappes alluviales. Ce phénomène est habituel dans les oueds des pays arides.

**Les nappes des roches dures fissurées :**

Elles constituent un type de réservoir aquifère aux capacités modestes mais appréciables pour les petites collectivités et les agriculteurs.

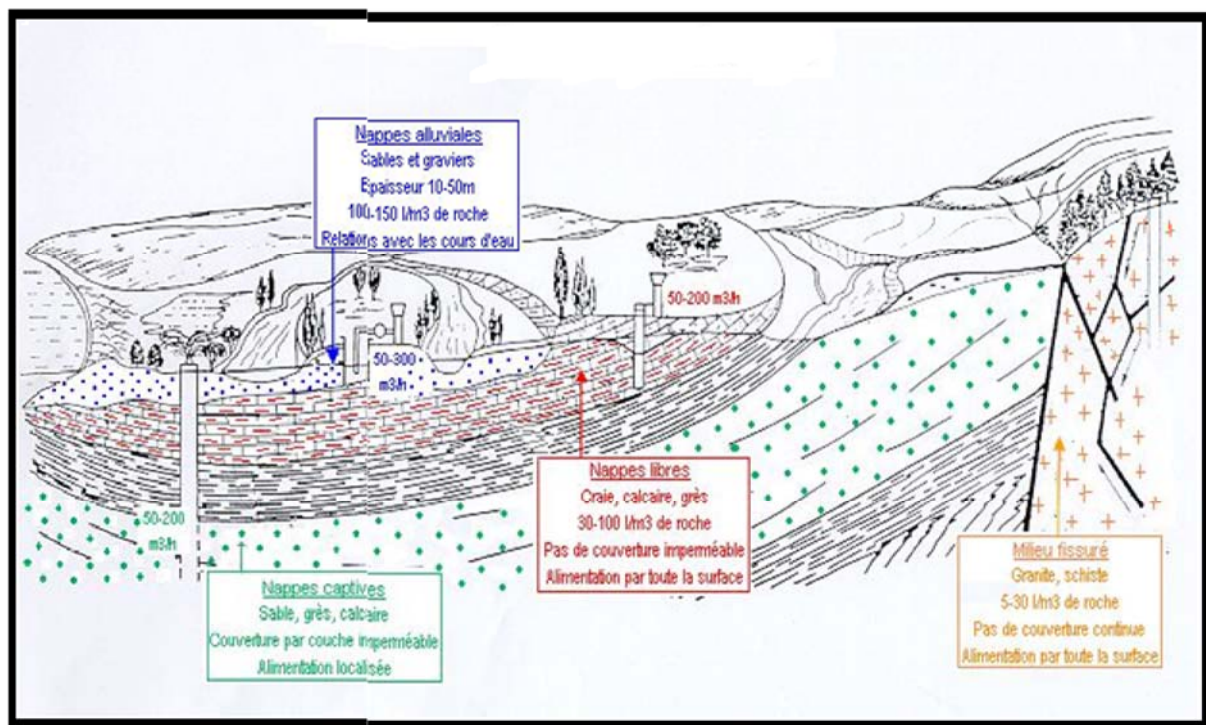


Figure 9 : schématise les principaux types des nappes souterraines .

**II-1.3. Vulnérabilité des nappes à la pollution :**

La vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libre sont les plus vulnérables: les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique; d'autre part, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique aboutit à 'rincer' les particules de la zones non saturée et entraîner les substances qui y sont adsorbées. Les nappes captives en revanche sont mieux protégées par les couches

impermeables qui les surmontent. Leur alimentation en eau superficielle est plus circonscrite, donc plus aisée à protéger. Leur pollution apparaît lorsque le niveau protecteur imperméable est percé par un ouvrage (ancien forage, fouille profonde...) Enfin, la percolation de l'eau dans un milieu poreux peut produire une fixation des substances sur les particules et donc une épuration de l'eau. Ce phénomène n'existe pas dans les milieux fissurés où la circulation est bien plus rapide.

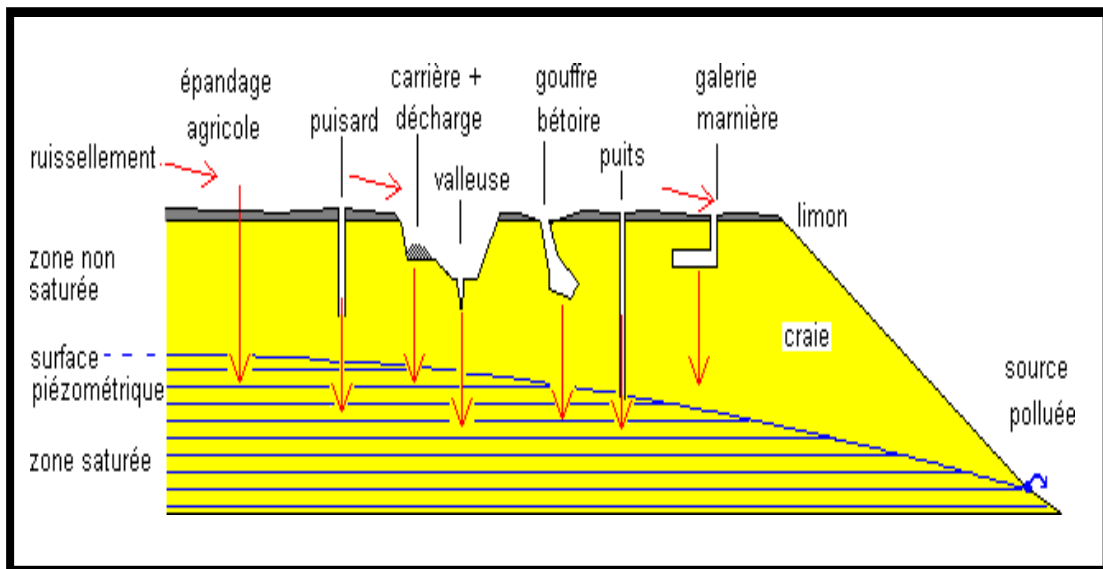


Figure 10 : Schéma montre les causes possibles de pollution d'une nappe de la craie. Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles :

### III.1.3.1. Le sol :

Grâce à ses propriétés d'adsorption et d'échange, dues à la présence de colloïdes minéraux et organiques, le sol peut retenir un grand nombre de substances très diverses [16]. Les argiles et la matière organique peuvent aider à retenir des composés organiques dans le sol (humus). Les interactions chimiques entre les solides peuvent être très complexes. Plus la molécule est grosse, mieux elle sera adsorbée sur les argiles et la matière organique. Les composés constitués de carbone, d'hydrogène, de brome, de chlore ou d'iode sont hydrophobes. Ceux composés d'azote, de soufre, d'oxygène ou de phosphore sont hydrophiles. L'hydrophobicité d'une molécule favorise son accumulation dans le sol. Son caractère hydrophile favorise sa lixiviation et donc son transfert à la nappe.

### III.1.3.2. La zone non saturée :

La zone non saturée peut aider à réduire les concentrations de certains polluants entrant

dans les eaux souterraines (en particulier les micro-organismes), mais il peut aussi agir comme un magasin pour des quantités importantes de polluants tels que les nitrates, qui peuvent éventuellement être publiés. Certains contaminants pénètrent dans les eaux souterraines directement à partir de puits abandonnés, mines, carrières et enterrés tuyaux d'égouts qui contourne la zone non saturée (et par conséquent, la possibilité d'une procédés de décontamination naturels).

La zone non saturée joue un rôle important dans la filtration et la rétention de certaines substances. Cette action est d'autant plus efficace que la granulométrie est plus faible.

### **III.1.3.3. La zone saturée :**

La filtration se poursuit dans le milieu poreux de la nappe; le polluant est dilué dans la masse d'eau. On voit que la protection de la nappe sera d'autant meilleure que le sol et la zone non saturée sont épais, que leur granulométrie est fine, que la vitesse de percolation de l'eau dans la nappe est faible. Une fois la surface piézométrique franchie, la propagation du polluant ne rencontre pratiquement plus d'obstacles. Dans l'aquifère, en raison de la rareté ou de l'absence d'oxygène, de matières organiques et de microorganismes, le rôle épurateur est réduit, comparativement à la zone non saturée. Les mécanismes de transport du soluté (polluant) dans l'aquifère sont complexes. Ils sont la conséquence de l'hétérogénéité du réservoir. La dispersion du soluté se fait à la verticale du foyer de contamination (zone non saturée), puis selon un étalement latéral dans le sens de l'écoulement de l'eau souterraine (zone saturée). En revanche, ce type de nappe une fois contaminée par un polluant le reste longtemps.

Dans les nappes libres en milieu fissuré, la vulnérabilité à la pollution dépend de leur recouvrement. Les aquifères en terrains anciens (granites, schistes...) sont généralement recouverts par des formations meubles d'altération qui jouent le rôle de filtre. Ces matériaux meubles peuvent d'ailleurs remplir les fissures de la roche et prolonger ainsi leur action de protection. Il n'en est pas de même dans les aquifères calcaires (karstiques): les polluants s'infiltrant dans les fissures, y écoulent rapidement et réapparaissent en l'état dans les sources et les forages . La pollution apparaît sous forme de pics de courte durée; elle disparaît rapidement si l'apport de polluant cesse.

Les nappes alluviales sont en connexion hydraulique avec le cours d'eau; la qualité de leur eau dépend de celle de la rivière. Comme pour le sol, les matériaux couvrant le fond de la rivière jouent le rôle de filtre. Ces nappes sont particulièrement vulnérables: elles sont de

faible étendue, dans des lieux d'urbanisation et d'industrialisation où les sources de pollution sont nombreuses (villes, routes, exploitation des granulats...).

### **III-2. Les eaux de la surface**

À cause de la faible pluviométrie, la nature géologique du pays et l'importance de l'évaporation font que le pays est pauvre en ressources hydriques. Les ressources en eau de surface en Mauritanie sont très limitées et très peu étudiées. Les eaux de surface dans ce pays sont susceptibles d'être utilisées comme eaux potables et eaux d'irrigation. C'est le cas du fleuve Sénégal qui joue un rôle très important comme source principale d'eau de surface pour la Mauritanie. En dehors du fleuve Sénégal, il n'existe pas de cours d'eau permanent dans le pays (N'diaye et *al.*, 2013). Le fleuve Sénégal est la source d'approvisionnement de Rosso et Nouakchott par l'eau potable dans le cadre du projet Aftout Es Saheli.

Les principales ressources des eaux de la surface dans le pays sont réparties dans quatre grandes zones naturelles :

- Le fleuve Sénégal et ces affluents;
- L'arc des Mauritanie; (le lac d Aleg)
- Les mares, oueds et sources dans l'affolé et hodhs;
- Les mares, oueds et sources dans Adrar et Tagant.

Au niveau national, la liste des mares et zones d'accumulations des eaux suivantes a été signalée dans la monographie en 1998. Il s'agit de : Le lac R kiz, le lac d Aleg, le Tamourt en Naaj, la mare de Mahmoûda, la mare de Kankossa, le Gorgol Noir 0 Foum Gleita et la mare de Gouraye.

#### **III-2-1. Le lac d'Aleg de Mauritanie**

Les ressources en eau occupent un rôle important dans le développement des différents secteurs dans n'importe quel pays. La surface l'eau est susceptible d'être utilisée comme les eaux potables et l'eau d'irrigation . C'est le cas du lac d'Aleg qui joue un rôle partie importante comme source primaire d'eau de surface pour la Mauritanie. De plus, le lac est la source d'approvisionnement de ville d'Aleg en plusieurs villages dans la zone du Brakna par l'eau potable et l'eau de irrigation.

Dans ce pays où le climat est aride et sec, une gestion des ressources en eau semble nécessaire. En effet, faible la pluviométrie, la nature géologique du pays et l'importance de l'évaporation

rendent le pays faible en eau ressources.

Le lac d'Aleg, situé dans la région du Brakna, au sud-ouest de la Mauritanie (est caractérisé par un climat chaud (températures moyennes annuelles supérieures à 35 °C) de type saharo sahélien avec une saison sèche qui dure 8 mois (de novembre à juin) [3]. L'hivernage ou saison des pluies qui lui succède dure généralement quatre mois, avec un pic de pluviométrie en août (250-400 mm de pluies/an).

La dynamique de remplissage du lac d'Aleg dépend directement pour l'essentiel des écoulements intermittents de l'oued Ketchi, cours d'eau endoréique le plus important de la région du Brakna ; ces écoulements n'ont lieu que pendant la saison des pluies de juillet à octobre. L'eau termine sa course dans le lac, qui est une dépression peu profonde. [4]

Le lac d'Aleg, dont la superficie en eau varie entre 0 et 60 km<sup>2</sup> (Sud-ouest de la Mauritanie, région du Brakna). Situé en région aride, le lac est une zone humide fragile. Elle fait actuellement l'objet d'une pression démographique importante due à l'arrivée des nomades victimes de la sécheresse croissante du Sahel. L'étude du fonctionnement hydraulique de cette zone est en cours de réalisation, pour parvenir à une relative stabilité du niveau des eaux du lac d'Aleg de Mauritanie[1].

Actuellement et depuis de nombreuses années, cette rivière vitale a exposé des contraintes qui menacent ses qualités physiques, chimiques et métalliques. Avec divers points géographiques, cette voie d'eau reçoit des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles [3].

À ce jour, l'état des rivières et des estuaires africains a été peu étudié, alors qu'ils sont le lieu de démographiques et reçoivent un volume croissant de déchets, en particulier des eaux usées domestiques.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité de l'eau du lac d'Aleg en Mauritanie par un espace physico-chimique de surveillance et saisonnier.

La Préfecture du Brakna compte 240.000 habitants, soit 10% de la population nationale établis dans cinq départements administratifs couvrant 3% du territoire national. Cette population est à plus de 95% de sédentaires. Si, les départements d'Aleg et de Magta-Iahjar ont des densités les plus faibles (superficies plus étendues), les populations sont presque toutes regroupées autour du lac d'Aleg [3]. Aleg est une ville coloniale qui a été créée au début du XXe siècle (1903-1904) et qui est devenue chef-lieu de la région du Brakna. Ce rang administratif lui confère un niveau d'équipements élevé pour une ville mauritanienne, d'environ 7 000 habitants. L'activité économique de la région est essentiellement tournée vers l'agriculture qui génère un artisanat local (petites échoppes en tous genres, marchés, foire aux caprins et ovins, etc.) [2].

√ La ville connaît également une activité commerciale favorisée par sa position sur la Route de



l'Espoir, route goudronnée qui a permis le désenclavement des régions du sud de la Mauritanie et qui relie la capitale Nouakchott à Néma.

### **III-2-2. la région du Brakna, au sud-ouest de la Mauritanie**

Le lac d'Aleg, situé dans la région du Brakna, au sud-ouest de la Mauritanie (Figure 11) est caractérisé par un climat chaud (températures moyennes annuelles supérieures à 35 °C) de type saharo sahélien avec une saison sèche qui dure 8 mois (de novembre à juin) . L'hivernage ou saison des pluies qui lui succède dure généralement quatre mois, avec un pic de pluviométrie en août. La dynamique de remplissage du lac d'Aleg dépend directement pour l'essentiel des écoulements intermittents de l'oued Ketchi, cours d'eau endoréique le plus important de la région du Brakna ; ces écoulements n'ont lieu que pendant la saison des pluies de juillet à octobre. L'eau termine sa course dans le lac, qui est une dépression peu profonde. Le lac d'Aleg, dont la superficie en eau varie entre 0 et 60 km<sup>2</sup> (Sud-ouest de la Mauritanie, région du Brakna). Situé en région aride, le lac est une zone humide fragile. Elle fait actuellement l'objet d'une pression démographique importante due à l'arrivée des nomades victimes de la sécheresse croissante du Sahel. L'étude du fonctionnement hydraulique de cette zone est en cours de réalisation, pour parvenir à une relative stabilité du niveau des eaux du lac .

Dans notre étude, nous avons choisi comme site la zone du lac de la rivière, précisément la ville d'aleg Mauritanie pour plusieurs les raisons. C'est la ville la plus dynamique de la zone et le milieu étudié reçoit les rejets domestiques et les déchets industriels.

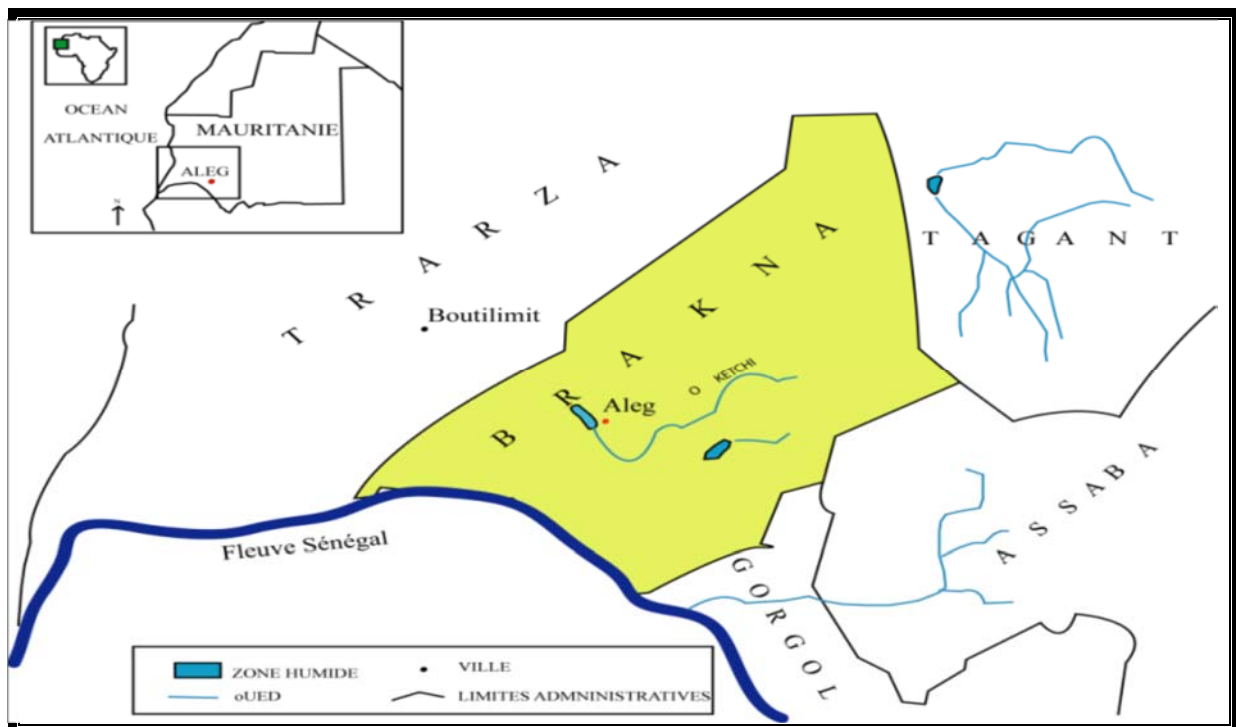


Figure11 : Situation géographique de la zone d'étude en Mauritanie.

### **III-2-3. Le fleuve Sénégal**

Le fleuve Sénégal est le seul cours d'eau permanent de la Mauritanie. Il est constitué d'un unique lit mineur principal continu d'une largeur comprise entre 200 et 300 m. Il est associé à une vallée de quelques kilomètres de large, jusqu'à 20 km (Michel, 1973) et limite la nappe du Trarza sur une longueur de 450 km.

Né dans le massif de Fouta Djallon en République de Guinée, le fleuve Sénégal se jette dans l'océan Atlantique après quelque 1 770 km de parcours. Il est le deuxième grand fleuve d'Afrique de l'Ouest après le Niger 4 200 km. Son bassin versant fait 337 000 km<sup>2</sup>.

Ses principaux affluents, le Bafing 750 km, le Bakoye 562 km et la Falémé 625 km, prennent leurs sources dans les montagnes de Fouta Djallon. Les autres affluents situés plus en aval comme le Kolimbiné 450 km et le Karakoro 310 km sont de moindre importance. Son débit moyen annuel actuel est de l'ordre de 410 m<sup>3</sup>/s en moyenne (N'diaye et *al.*, 2013).

Le fleuve Sénégal arrose quatre pays : la Guinée, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal. Selon le Banque Mondial, le nombre d'habitants sur le bassin du fleuve Sénégal est d'environ 12 millions. L'écoulement du fleuve est caractérisé par une forte irrégularité annuelle, le niveau des écoulements moyens annuels a connu une baisse très sensible ces dernières années puisque les volumes d'eau écoulés ont diminué de 14 milliards m<sup>3</sup>/an entre 1968 et 1987 (Kankou, 2004).

#### **❖ L'Organisation de la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS)**

Avant la construction des deux barrages Diama (anti-sel), Manantalli (hydroélectrique), le fleuve connaissait une crue de juillet en octobre et une période d'étiage qui atteignait son apogée au mois de juin. Selon l'amplitude de la crue, toute la vallée pouvait être inondée par les eaux qui sont utilisées par les agriculteurs pour divers usages domestiques (Boissons, cultures et élevage). Mais la grande partie de l'eau se déversait dans l'Océan atlantique à l'embouchure.

la période de décrue se caractérisait par la remontée de la langue salée qui se faisait sentir au-delà de la ville de Rosso. L'écosystème a cote de Diama était soumis à une alternance des eaux douces de crue et des eaux salées de l'océan en période d'étiage du fleuve.

À partir des années 70, l'Afrique occidentale a subi une sécheresse sans précédent et par conséquent les pays riverains se trouvaient contraints de réaliser le vieux rêve des années 60 pour mieux exploiter les eaux du fleuve; ainsi est née en 1972, l'Organisation de la Mise en

Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) est une organisation intergouvernementale de développement créée le 11 mars 1972 à Nouakchott par le Mali, la Mauritanie et le Sénégal. OMVS s'est fixé comme objectifs trois grands projets :

- l'aménagement de deux barrages : Diama (anti-sel) et Manantalli (hydro-électrique) et de deux digues de part et d'autre du fleuve pour maîtriser ses crues et décrues;
- la production de l'électricité à partir de Manantalli, elle sera répartie entre les trois pays;
- la navigabilité du fleuve projet jusqu'à présent non réalisé et qui se trouve de nos jours compromis à cause des conséquences du premier projet qui n'ont pas été prises en compte lors de l'étude préliminaire.

### **III-3. Situation de l'accès à l'eau potable**

Les taux de couverture en eau potable sont passés de 37 % en 1990 à 40 % en 2004 et 70 en 2015 au niveau national selon le ministre de l'hydraulique. En 2004 en milieu urbain (villes de plus de 5 000 habitants), le taux d'accès à des branchements privés est de 30 % et varie de façon importante :

- A Nouakchott, selon les estimations de population, 52 % des ménages ont accès à l'eau potable par des branchements privés;
- Les 15 autres villes du périmètre de la SNDE (Société Nationale d'eau) enregistrent des taux plus importants avec 46 % de ménages raccordés à des branchements privés;
- dans les villes de plus de 5000 habitants dont les réseaux d'eau sont gérés par l'ANEPA, le taux de ménages raccordé à des branchements privés est de 38 %.

En milieu rural en 49 % des ménages ont accès à l'eau potable et plus de la moitié des centres de plus de 500 habitants restent à équiper en réseaux d'eau potable.

Le secteur de l'eau conformément aux recommandations de la stratégie de développement du secteur élaborée en 1998 et aux orientations du CSLP 2001-2004. La séparation des activités électricité et eau (création de la Société Nationale d'eau, SNDE, en 2001), le désengagement de l'administration des tâches d'exécution (création de L'Agence de Promotion de l'Accès Universel aux Services de Base (APAUSB) et de L'Agence Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (ANEPA)), la création d'une institution autonome pour la gestion des ressources en eau (Centre National des Ressources en Eau, CNRE) et la mise en place d'un nouveau cadre réglementaire (Code de l'Eau adopté en 2005), juridique (activités de l'Autorité de Régulation multisectorielle étendue au secteur de l'eau) et financier (déconcentration budgétaire et élaboration de CDMT) sont les axes forts de la réforme du secteur entreprise à partir des années 2001. En 2005, la Société Nationale de forages et Puits, SNFP est créée.

Plusieurs bailleurs de fonds ont accompagné la réforme du secteur en mettant en place des financements pour les réalisations d'études permettant d'appuyer la réforme du secteur (Projet d'Appui à la Restructuration du Secteur de l'eau, de l'Assainissement et de l'Énergie, PARSEAE financé par l'IDA, Fonds de Solidarité prioritaire Eau, FSP, financé par la France).

#### **III-4. Situation de l'accès à l'assainissement**

Selon la ministre de l'hydraulique, les taux de couverture en assainissement sont passés de 19 % en 1990, 36 % en 2004 et 67 % en 2015 au niveau national. Selon des études récentes, l'accès à l'assainissement en milieu rural et urbain se présente de la façon suivante :

-9 % des ménages ont accès à l'assainissement en zone rurale par des systèmes d'assainissement autonomes;

-55 % des ménages ont accès à l'assainissement en zone urbaine dont 3 % sont raccordés à l'assainissement collectif essentiellement à Nouakchott. la situation de l'assainissement est jugée embryonnaire dans la Déclaration de 1998, mais celle-ci ne fixe pas des principes pour le développement du sous-secteur assainissement. En 2001 un service assainissement est créé et rattaché à la Direction de l'Hydraulique, mais reste faiblement opérationnel. En novembre 2005, le nouvel organigramme du Ministère de l'Hydraulique crée une direction de l'assainissement, mais celle -ci n'est pas encore mise en place. Le Code de l'Eau prévoit l'assainissement collectif pour les villes dotées d'un schéma directeur, et l'assainissement autonome pour les autres villes. la stratégie pour le développement de l'assainissement reste à élaborer.

Une note d'orientation a cependant été rédigée par le Ministère chargé de l'hydraulique en 2005. L'assainissement en milieu urbain : il est prévu d'élaborer une stratégie d'assainissement en milieu urbain sur les fonds de préparation du futur projet eau et assainissement en milieu urbain, mais celle -ci n'a pas pu être réalisée jusqu'à présent. Un plan directeur prévoyant le développement progressif de l'assainissement collectif est élaboré pour Nouakchott en 2001, mais devra être actualisé. Aucune variante, proposée dans le schéma directeur n'a été retenue pour l'ancrage de l'assainissement urbain.

Actuellement la SNDE assure en régie l'entretien du réseau existant à Nouakchott. Des aménagements aux principaux carrefours de la ville de Nouakchott ont été réalisés afin de trouver des solutions partielles pour le drainage des eaux pluviales. L'assainissement en milieu rural : la stratégie d'assainissement en milieu rural n'est pas encore élaborée. Le développement de l'assainissement autonome source autour de projets pilotes prévus dans le plan d'investissement eau et assainissement en milieu rural de 2001 n'a pas été mis en œuvre.

Les compétences des communes en matière d'hygiène restent à préciser particulièrement en matière de promotion de l'assainissement autonome.

## **Chapitre 3 : Milieu aquatique et Problèmes de pollution**

### **I. INTRODUCTION**

L'eau est essentielle pour la vie, cependant elle peut être aussi une source de maladie. D'après un rapport de l'Organisation mondiale de la Santé, cinq millions de nourrissons et d'enfants meurent chaque année de maladies diarrhéiques dues à la contamination des aliments ou de l'eau de boisson. La pollution de l'eau est une altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines (Eckenfelder, 1982).

La contamination des eaux est un souci majeur pour la protection des écosystèmes et des ressources en eaux. Cette possibilité de contamination a fait l'objet de beaucoup d'études aussi bien au niveau des eaux superficielles que souterraines (Boschet, 2002). La contamination par différentes sortes de pollution varie selon la nature des eaux et leur emplacement. Pour l'eau superficielle, la contamination peut être :

- directe et volontaire par une utilisation normale des produits phytosanitaires et autres produits à des fins de vie courante (eaux usées des usines, lutte antiacridienne, utilisation de pesticides ou engrais en agriculture etc.).
- indirecte par infiltration, ruissellement ou transfert des produits suite à leur épandage dans les eaux usées.

La pollution de l'eau est due essentiellement aux activités humaines ainsi qu'aux phénomènes naturels. Elle a des effets multiples qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques. Pour l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 1968), la pollution de l'eau peut être définie comme une dénaturation qui résulte d'une activité humaine et rend l'eau moins propre à l'usage auquel elle convenait dans son état naturel.

Selon l'origine de la pollution, on distingue trois catégories :

pollution urbaine (eaux usées domestiques, décharges sauvages...), pollution industrielle et pollution agricole.

### **II. ORIGINE DES POLLUTIONS DES EAUX**

#### **II-1. Pollution urbaine**

Elle est due principalement aux rejets domestiques (eaux domestiques, eaux collectives de

lavage, huiles de vidange, médicaments périmés, matières fécales,... etc.). Elle est liée aux grandes concentrations urbaines. Les eaux usées des habitations et des commerces entraînent la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les déchets domestiques, les eaux d'égouts et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération. Le flot déversé est très variable en fonction de l'importance de l'agglomération et de son activité (IPEDA, 2015).

### **II-1-1. Pollution domestique**

Il s'agit de l'eau préalablement utilisée par les foyers domestiques et qui a été souillée par des excréments et des résidus de nettoyage. Ces déchets domestiques, qu'elles soient liquides ou solides apporte une charge polluante importante, diverses substances dangereuses et des organismes pathogènes : bactéries, virus ou parasites, dont la présence est liée à différentes maladies. Parmi les bactéries pathogènes intestinales connues, responsables de la contamination de l'eau, figurent des souches de *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, et *Vibrio choléra*. Ces organismes peuvent provoquer des maladies dont la gravité va d'une gastro-entérite bénigne à une forme de dysenterie, de choléra ou de typhoïde grave (Bear et Verriuyt, 1987).

### **II-1-2. Pollution industrielle**

Les rejets liquides industriels véhiculent une importante pollution organique et toxique. Il s'agit de différents déchets provenant des industries diverses qui sont principalement installées au niveau du rivage de la mer et rivière à la fois pour se débarrasser des déchets directement et pour faire refroidir leurs machines (industrie alimentaire, industrie agricole, tannerie, textile, papeterie, industrie physique, industrie chimique et industrie pétrochimique). Les caractéristiques des déchets industriels sont très variées selon le type d'activité : substances organiques banales, produits organiques de synthèse, hydrocarbures, sels minéraux et métaux lourds.

De même, des corps minéraux, toxiques ou non, produits par l'industrie et utilisés par l'agriculture peuvent être des polluants ponctuels, tels que les chlorures, les sulfates, les cyanures et les sels d'arsenic. Il y'a aussi la pollution par les composés métalliques qui est généralement d'origine industrielle.

Certains métaux ne produisent que des inconvénients d'aspect ou de goût tels que le Fer, le Zinc. Alors que d'autres métaux lourds, tels que le Mercure, le Cadmium, le Plomb, sont toxiques et rendent l'eau inutilisable.

## **II-2. Pollution agricole**

L'agriculture, l'élevage et l'aviculture sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines. Ces contaminations comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles, des composés phosphorés ou azotés issus des déchets animaux et des engrais commerciaux notamment des nitrates.

Les produits utilisés en agriculture sont généralement les fertilisants et les pesticides. En ce qui concerne les fertilisants, une charge élevée en nitrates et en phosphates dans les eaux superficielles accentue le phénomène d'eutrophisation entraînant par la suite une asphyxie des organismes vivants. De plus, les nitrates peuvent atteindre les nappes souterraines après de nombreuses années, par infiltration. Elles peuvent aussi se transformer en nitrites. Ce qui provoque chez les nourrissons ou les fœtus une maladie du sang, dite «la maladie bleue». Aliment de bétails (élevage) posent des problèmes de pollution agricole.

## **II-3. Pollution accidentelle**

Les pollutions accidentelles ne sont pas toujours détectées, même si elles sont en augmentation constante. La contamination des eaux est engendrée les rejets chimiques ou par les eaux usées (raccordement incomplet ou défectueux, mauvais état des réseaux, surcharges ou mauvais fonctionnements des stations d'épuration), et par des fuites de carburants (essence) (Desbordes, 2000). Six millions de tonnes d'hydrocarbures sont introduites par an dans les océans par l'activité humaine, ce qui représente, par conséquent, l'une des causes majeures de la pollution des océans. Ces pollutions proviennent des rejets accidentels, mais aussi des rejets illicites. Leurs caractères insidieux pourraient amener à des conséquences très graves sur l'environnement et des perturbations dans l'approvisionnement en eau souterraine (Arifi, 1992).

## **II-4. Pollution atmosphérique**

La pollution de l'air (ou pollution atmosphérique) est une altération de la qualité de l'air. Elle est parfois caractérisée par des mesures de polluants gazeux, particuliers, et peut-être liquides présents dans l'air. La pollution de l'atmosphère peut ainsi être vue comme une présence dans l'air, d'un ajout d'agents chimiques, biologiques ou physiques ayant des conséquences préjudiciables à la santé humaine, aux êtres vivants, au climat, ou aux biens matériels. La contamination de l'atmosphère par les micropolluants est de plus en plus

préoccupante dans les pays sous-développés (Teil et al, 2003). Les polluants peuvent être d'origine naturelle ou d'origine anthropique. La pollution peut concerner l'air atmosphérique ou l'air des espaces clos (usines, bureaux). Elle est due en grande partie à l'activité humaine même si la nature du rejette est aussi en polluant (Volcan, érosion, éolienne, production naturelle du méthane et d'azote). Ces polluants emportés par le vent peuvent se retrouver dans les eaux surface.

### **III. LES PRINCIPAUX POLLUANTS DES EAUX NATURELLES**

La pollution de l'eau est l'ensemble des nuisances auxquelles peuvent être exposés son usager et les organismes aquatiques. La pollution engendrée peut être d'ordre physique (radioactivité, élévation de la température...), chimique (rejets agricoles, industriels et urbains) et microbiologique (rejets urbains, élevage...). Pour mieux évaluer la pollution, il existe des paramètres qui permettent d'estimer l'ampleur de celle-ci en fonction de son type.

#### **III-1. Polluants physiques**

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, la présence des particules ou mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau, la pollution atomique, qui résultant généralement des retombées de radioéléments issus des explosions d'arme nucléaire et des résidus des usines atomiques, et la pollution thermique issue du système de refroidissement au sein des usines, et la pollution mécanique venant des effluents solides

#### **III-2. Polluants chimiques**

La pollution chimique : elle est due à l'entrée d'un élément (ou plusieurs) indésirable dans la composition chimique de l'eau initialement destinée à un usage bien précis. Deux types de paramètres permettent d'évaluer l'état de cette pollution :

- Les paramètres globaux : ils résultent de la juxtaposition des effets de plusieurs substances en même temps exemple : pH, conductivité, turbidité, Demande chimique en Oxygène (DCO), etc... La DCO d'une eau représente l'ensemble de toutes les espèces chimiques oxydables, organiques et minérales, dissoutes ou en suspension.
- Les paramètres spécifiques qui caractérisent un composé particulier ou plusieurs de propriétés chimiques semblables. Le choix le plus difficile reste incontestablement la définition des paramètres à suivre en vue d'évaluer cette pollution; en effet le but de tout ce



travail est de pouvoir qualifier et quantifier la pollution en vue de mettre en place les solutions appropriées ou mieux de pouvoir la prédire à temps pour mettre en place les dispositions préventives qui s'imposent.

### **III-3. Polluants microbiologiques**

La contamination microbiologique est une forme de pollution de l'eau engendrée par la présence de microorganismes pathogènes tels que des virus, des parasites ou des bactéries. Ceux-ci peuvent présenter un risque pour la santé humaine ou animale. Les conditions anaérobies généralement rencontrées dans les eaux en limitent cependant la diversité. Les bactéries, virus et autres agents pathogènes rencontrés dans les eaux proviennent de fosses septiques, des décharges, des épandages d'eaux usées, de l'élevage, de matières fermentées, de cimetières, des rejets domestiques. La grande majorité de ces microorganismes nocifs, susceptibles d'engendrer des infections humaines redoutables, diffuses dans l'environnement hydrique par l'intermédiaire de souillures fécales humaines ou animales. Les indicateurs privilégiés pour détecter la contamination microbiologique dans l'eau sont les coliformes fécaux, la bactérie *Escherichia coli* (*E. coli*) et les entérocoques. Leur présence n'implique pas nécessairement un risque pour la santé, mais elle constitue un bon indicateur de l'intensité de la pollution d'origine fécale et de la présence de microorganismes pathogènes dans les cours d'eau.

## **IV. LA MAURITANIE ET LA POLLUTION**

L'urbanisation non maîtrisée des villes africaines en déficit de services de gestion des déchets urbains génère des paysages qui deviennent des lieux d'interactions multiples et variées entre santé et environnement. Soumise à une forte croissance urbaine dans un contexte de sous-équipement en services d'assainissement, la ville de Nouakchott n'échappe pas à cette situation qui se traduit par la propagation de nombreuses pathologies posant ainsi de multiples problèmes de santé publique. Une approche intégrée des questions de santé, d'environnement et de pauvreté dans les politiques de développement des villes.

### **IV-1. Pressions sur l'environnement**

Le pays, à l'image des autres pays du Sahel, a connu la persistance de la sécheresse pendant les années 70 et 80. Cette péjoration de la pluviométrie a eu des répercussions négatives sur le milieu écologique, social, économique et même culturel. En effet, la régression du couvert végétal a accentué la désertification et a été la cause de la diminution du cheptel et de la

production agricole provoquant ainsi la paupérisation de la population rurale. Cette dernière, jadis nomade en grande majorité, s'est sédentarisée soit en se fixant au niveau des points les plus favorables (zones humides), soit par un exode rural massif vers les grands centres urbains. L'environnement sédentaire et urbain connaît lui aussi des difficultés liées à différentes formes de pollution. La qualité de l'eau de consommation et l'assainissement posent d'énormes problèmes de santé publique. La qualité de l'air dans les grands centres urbains (Nouakchott et Nouadhibou) est dégradée par la présence de quantités de plus en plus importantes de gaz d'échappement automobiles d'autant plus polluants que les véhicules sont en majorité dans un état vétuste et utilisent des carburants de mauvaise qualité.

La situation environnementale est caractérisée par un régime pluviométrique très fluctuant et globalement déficitaire, des déboisements massifs pour des raisons naturelles<sup>4</sup> et anthropiques<sup>5</sup>, la mise à nu des écrans bio – physiques entraînant l'accélération des érosions éoliennes et hydriques et – sur les  $\frac{3}{4}$  du territoire national, l'absence réelle de productivité des terres (zone aride) (PANA, 2004).

#### **IV-2. Processus biophysiques et changements climatiques**

##### **Les écosystèmes terrestres :**

La partie terrestre mauritanienne est entièrement située dans la zone aride (Sahara et Sahel). Les processus biologiques sont affectés par le facteur eau qui est un facteur limitant dans la zone aride. La faune et la flore ont développé des mécanismes d'adaptation qui sont aujourd'hui bousculés et déstabilisés par ce phénomène de changements climatiques (variabilité du climat).

##### **Les écosystèmes marins :**

La zone marine et côtière mauritanienne est une zone de contact entre les espèces à affinité tempérée et les espèces à affinité tropicale. Elle se caractérise par le phénomène de l'upwelling, qui est un échange d'eau froide des profondeurs et d'eau chaude de la surface, permettant une richesse et une diversité biologique importantes. Le fonctionnement des écosystèmes marins mauritaniens est encore mal connu malgré les efforts du MPEM, de l'IMROP (ancien CNROP) et du PNBA. Autrement dit les connaissances en matière d'écobiotique des espèces et des habitats qui les abritent sont limitées. Toutefois, les processus biologiques au niveau de ces écosystèmes marins sont bouleversés également par les changements climatiques. La fonte des neiges et des surfaces qu'elles couvrent (diminution de l'albédo) ont deux conséquences interdépendantes : la remontée du niveau des eaux et l'élévation de la température. Cette dernière a des conséquences sur l'écologie des espèces marines et leurs habitats.

### **IV-3. Secteurs clés de la pollution et changements climatiques**

#### **IV-3-1. La pollution urbaine**

Les déchets sont rejetés dans la nature sans aucun traitement. Pour mieux illustrer cette situation, nous prenons comme exemple la ville d'Aleg de Mauritanie où les déchets sont déposés dans la ville de part et d'autre du Lac. En période de crue ou de pluie, une grande partie des déchets se trouve ainsi immergée dans l'eau du Lac (Baudu, 1995) souligne que les rejets urbains sont susceptibles de modifier considérablement les conditions Hydro biologiques du milieu récepteur (en fonction du temps) selon deux mécanismes :

- l'impact volumique dû aux apports importants en milieu urbain et à la rapidité de ces apports, et;
- l'impact qualitatif par pollution massive et changement du milieu récepteur : l'apport d'une charge importante entraîne par conséquent une dégradation bactériologique du milieu avec introduction de micro polluant (fraction pluviale). La Mauritanie étant un pays vaste et peu peuplé ce comportement pourrait menacer un jour la vie des êtres vivants si aucune mesure n'est prise.

#### **IV-3-2. La pollution agricole**

L'agriculture est une activité traditionnelle en Mauritanie. Fortement conditionnée par la présence de l'eau, elle est par conséquent très localisée à l'Est et au sud-est du pays, et le long du Lac. L'agriculture dans l'arrière-pays a aussi de réels effets sur l'environnement et divers secteurs à cause des pesticides et des engrais qui sont utilisés pour améliorer le rendement des cultures. Depuis quelques années, le secteur agricole connaît un développement intensif lié à la mise en valeur de la vallée avec l'apparition des cultures irriguées. La rive droite du lac est à vocation agricole. En effet, différents types de cultures essentiellement céréalières sont pratiqués dans la région (Chemfinder, 2004). L'épandage des pesticides pour lutter contre les prédateurs des cultures et des pâturages constitue une source de pollution des eaux du Lac qui se retrouvent dans la mer.

C'est ainsi que ces derniers s'accumulent de façon graduelle, au fur et à mesure qu'on monte dans la chaîne alimentaire, occasionnant les perturbations et des dysfonctionnements au niveau des fonctions biologiques. Cette attitude ne permet pas de protéger du lac, car le lessivage est important en période de pluie. de plus, le transport des particules du sol par le vent après leur assèchement paraît comme une autre source potentielle de contamination du Lac.

### **IV-3-3. La pollution par les hydrocarbures**

Elle provient des fuites du gas-oil contenu dans les tankers des épaves (une quarantaine d'épaves au niveau de la seule Baie du Lévrier et dont plus d'une trentaine sont là depuis au moins de deux ans) et des déversements des produits de déballastage et des transporteurs. Le port pétrolier à Nouadhibou constitue un risque de déversement accidentel de pétrole. Déjà, il y a un déversement presque chronique d'hydrocarbures provenant de la station de déballastage.

Le séparateur étant surchargé, ceci incite à sa décharge avant que la décantation ne s'opère complètement. Ce genre de pollution est le plus fréquent. Il cause d'importantes mortalités chez des espèces marines, notamment les poissons (on sent le goût des hydrocarbures dans la chair de certains individus de mullets). Cette pollution peut aussi engendrer des Forages de prospection pétrolière sur le littoral déséquilibrés, en favorisant le développement de certaines espèces d'algues. Des perturbations du comportement, poissons de fond en surface, changement de couleur et de période de reproduction peuvent également être observés. Les hydrocarbures gênent la pénétration de la lumière et agissent ainsi sur la quantité d'oxygène dans le milieu. Le plus grave, et il faut le souligner, est qu'une partie de produit des hydrocarbures jetés à la mer et absorbés par la flore et la faune marine qui à leur tour les transmettent aux consommateurs de poissons, des crustacés et mollusques.

## **V. LES CONSÉQUENCES DE LA POLLUTION DE L'EAU SUR LA SANTÉ**

L'eau en quantité et en qualité suffisantes pour satisfaire les besoins humains fondamentaux est une condition préalable pour obtenir un meilleur niveau de santé et un développement durable. Mais à cause des activités de développement qui ne cessent de s'étendre, et qui souvent surexploitent et polluent les ressources en eau limitées de la planète, la rareté de l'eau et la contamination de l'eau sont devenues de grands sujets d'inquiétude au niveau mondial.

Les maladies liées à l'eau, et les niveaux excessifs de substances nocives dans l'eau disponible menacent la santé humaine et sont des contraintes pour le développement socio-économique.

L'eau potable peut transmettre des virus, bactéries, parasites et des contaminants chimiques, qui menacent la santé humaine par ingestion. Les deux maladies les plus communes liées à l'eau contaminée sont le choléra et la diarrhée, dans le monde, environ deux milliards de personnes, soit un tiers de la population mondiale, sont soumises au risque de ces maladies.

La contamination de l'eau par l'activité humaine est une des causes principales des maladies liées à l'eau. Un assainissement insuffisant conduit à une pollution de l'eau par les matières fécales et répand des maladies bactériologiques et virales. L'eau peut aussi être polluée par les excréments du bétail, et par l'utilisation excessive de pesticides et d'engrais dans l'agriculture. L'industrie est une source de matières polluantes pour les eaux souterraines ou de surface : cela va des bactéries aux polluants métalliques et organiques. Une gestion mal adaptée des déchets peut conduire à la dissémination dans l'environnement de polluants qui menacent la santé humaine. L'eau souterraine peut contenir à des concentrations dangereuses des substances chimiques naturelles telles que le plomb, l'arsenic et le fluorure, qui sont peuvent même montrer des niveaux élevés de radioactive.

Alors des mesures de prévention, de contrôle et de réduction des maladies et des risques liés à l'eau au sein de systèmes intégrés de gestion de l'eau sont nécessaires. Il est important d'assurer une eau potable saine et le traitement sanitaire des déchets humains, un changement de comportement par rapport à l'hygiène, et l'amélioration des pratiques de gestion de l'eau. Bien qu'il n'existe qu'un nombre limité d'expériences réussies d'approches intégrées pour gérer les risques sanitaires liés à l'eau, beaucoup de pratiques isolées se sont avérées efficaces dans des conditions spécifiques. Les faits montrent que des mesures préventives ont un meilleur rapport coût-efficacité que les mesures curatives.

## **V.1. LA SANTE PUBLIQUE**

Dans les pays en voies de développement les principales priorités des organisations humanitaires Sont généralement : Les programmes de vaccination, la lutte contre la dénutrition, le développement de l'alphabétisation et enfin l'accès de la population à l'eau potable.

Autant l'eau donne naissance à la vie, autant elle est peut-être le vecteur de transmission de maladies graves et même mortelles quand les conditions d'hygiène, relatives aux procédés de sa distribution et de son utilisation, sont insuffisantes. Les maladies hydriques qui étaient plus connues dans la région sont paludisme, bilharziose urinaire, maladies diarrhéiques et malnutrition, en plus de certaines maladies qui ont commencé à apparaître dernièrement susceptible d'être le résultat de la pollution de l'eau, tel que les maladies rénales et quelques maladies dermatologiques. Selon le directeur de l'hôpital d'Aleg de Mauritanie, pendant l'hivernage la ville d'Aleg connaît une affluence important des maladies attends du paludisme, du Gastro-entérite et d'autres fièvres probablement virales, pendant cette période (hivernage), l'hôpital connaît une augmentation intensif de les maladies liée à l'eau

tel que le lac typhoïde et la diarrhée.

Le Dr. Ba soulignée que la maladie 001 de l'OMS (choléra) est disparue totalement les dernières années sur la région du Brakna et précisément Aleg Mauritanie. Pour évaluer l'état sanitaire et la santé environnementale de la population du site d'étude, on fait une enquête sanitaire et ont collecté les données possibles sur la période (2017-2018) à partir du Direction Régional de la Santé et Affaires Sociales (DRASS), l'hôpital 7 et centre Hospitalière d'Aleg et les services d'Hygiène et sante environnementales (Annexe 2). Grace à l'exploitation des donnés sanitaires, on trouve que le DRASS enregistré :

- ❖ 44 720 personnes sont tombées maladies dans les deux années (2017- 2018), par les cinq maladies plus connus à la région, tel que la diarrhée, paludisme grave et présumé, dysenterie, malnutrition et typhoïde.
- ❖ 11 351 dès ces maladies à la ville d'Aleg, leurs répartitions par âge trouvé a le graphique suivant.

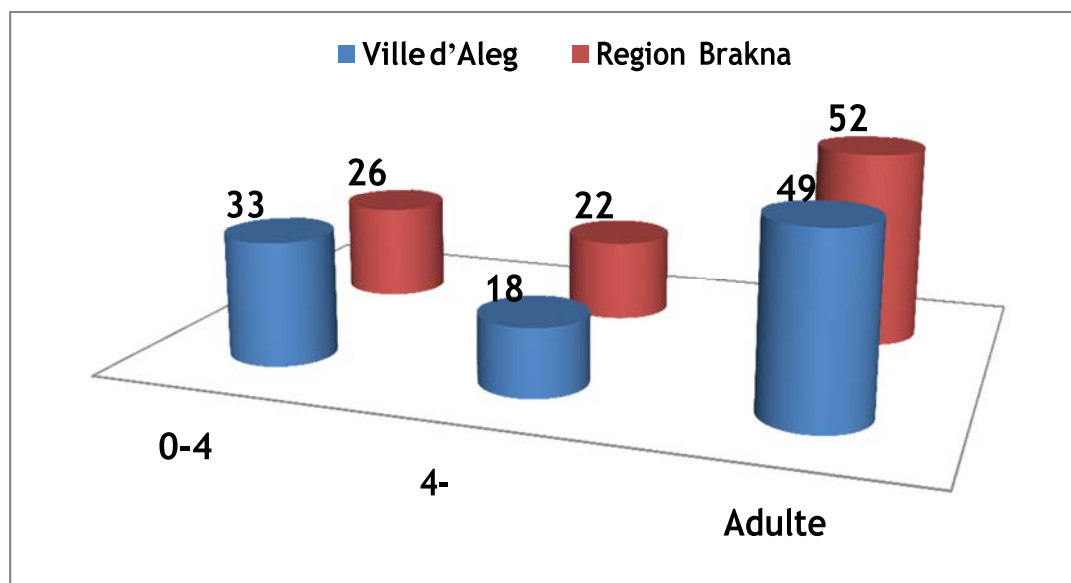


Figure 12 : La répartition des maladies hydrique dans la zone d'étude, selon l'âge.

La classification des maladies selon leur répandues dans la région du Brakna on trouve premièrement la diarrhée par un pourcentage du 49 %, le paludisme 31 %, dysenterie 18 %, malnutrition 2 % et typhoïde 1 %.

À la ville d'Aleg on trouve la même classification des maladies lorsque la diarrhée 45 %, paludisme 40 %, dysenterie 12 %, malnutrition 2 % et typhoïde 1 %. La classification des maladies indiqué qu'il y a une vraie contamination alimentaire soit par la pollution des eaux brute du Lac d'Aleg ou par intoxication alimentaire.

**Tableau 8 :** Les maladies les plus courantes dans la zone d'étude (selon l'enquête sanitaire)

<b>MALADIES PRINCIPALES</b>	<b>ALEG</b>	<b>BRAKNA</b>
Diarrhée	6233	23 721
Paludisme	4581	14 195
Dysenterie	1518	8132
Malnutrition	15	454
Typhoïde	9	18

# **PARTIE 5 :**

# **Matériels et Méthodes d'études**



## Chapitre 5 : Matériels et Méthodes d'études

### I. INTRODUCTION

Le présent travail de recherche sur la qualité des eaux de surface du Lac d'Aleg de Mauritanie, cela pour la raison que cette ville est la plus vitales au centre du pays, en vue d'une production d'eau potables et une utilisation en agriculture modernes. Les points de prélèvements sont localisés sur les deux axes du lac d'Aleg.

### II. PROCEDURE ET MATERIEL D'ECHANTILLONNAGE

#### II.1 Choix des stations de prélèvement

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué au total 40 prélèvements à 10 points d'échantillonnage situées sur les deux rives du lac d'Aleg de Mauritanie pour qualifier et quantifier leur pollution physico-chimique et leur aptitude avec l'irrigation. Les prélèvements de l'eau ont été effectués dans des flacons en polyéthylène d'une capacité de 5 litre, dans les zones où l'eau n'est pas stagnante, mais courante et dans le sens du courant. Ils sont effectués en immersion totale, de telle sorte que les bouteilles soient remplies à ras sans bulles d'air et afin de limiter au maximum les contaminations d'une part et l'évolution des échantillons d'autre part. Les échantillons prélevés ont été conditionnés et transportés à la température de 4 °C jusqu'au Laboratoire (Figure 19).

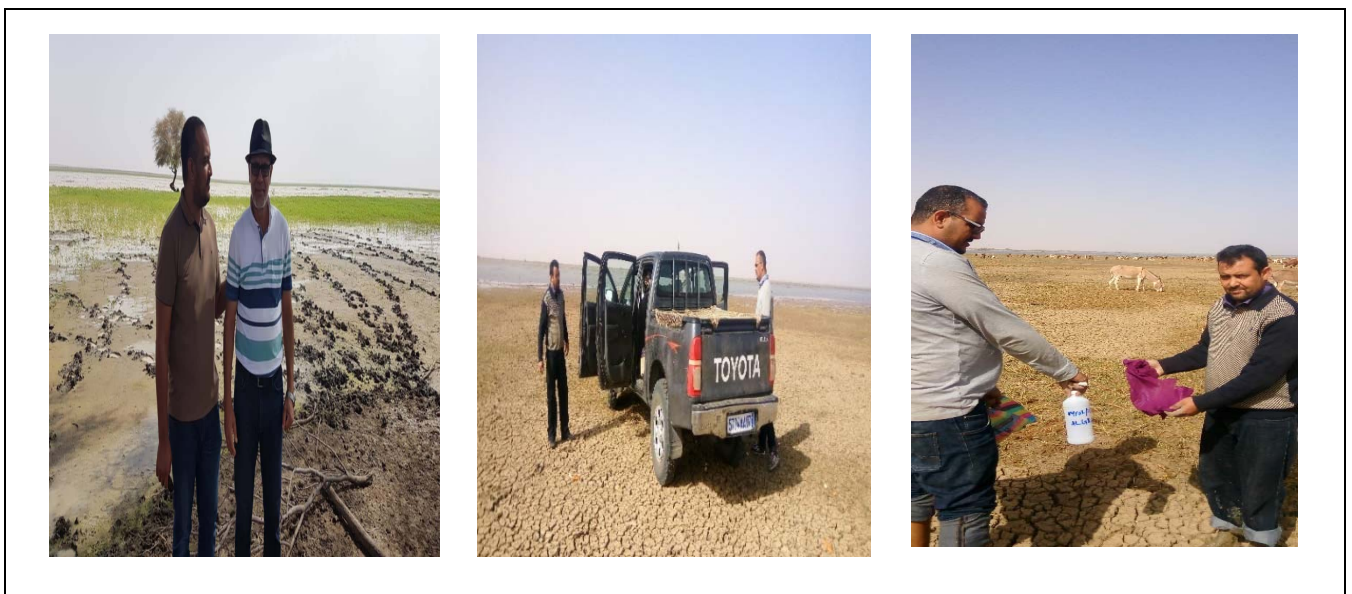


Figure 13. prélèvements des échantillons d'eau, Aleg 2017.

## II.2. Programme d'échantillonnage

Pour les analyses physico-chimiques à visée qualitative et quantitative on a suivi un programme d'échantillonnage incluant tous les points géographiques accessibles au bord du Lac d'Aleg. En étroites collaborations avec les organismes et les établissements qui s'intéressent à l'évaluation de la qualité des eaux du Lac, nous avons effectué au total 40 prélèvements pour l'analyse physico-chimique. Tous ces prélèvements ont été réalisés dans les 10 sites. Chacun des sites a fait l'objet de 4 prélèvements pendant toute la durée de notre travail. Les prélèvements ont été réalisés pendant les deux saisons la saison sèche et la saison d'Hivernage au cours des années 2017 et 2018 à Février et Septembre selon les deux périodes connue du climat en Mauritanie (période sèche froide- chaude et période l'hivernage).ces stations ont été sélectionnées sur la base de leurs accessibilités, proximité et en accord avec les activités agricole et pastorales. Les sources de pollution et leur répartition géographique sont les suivantes (Figure 20.)

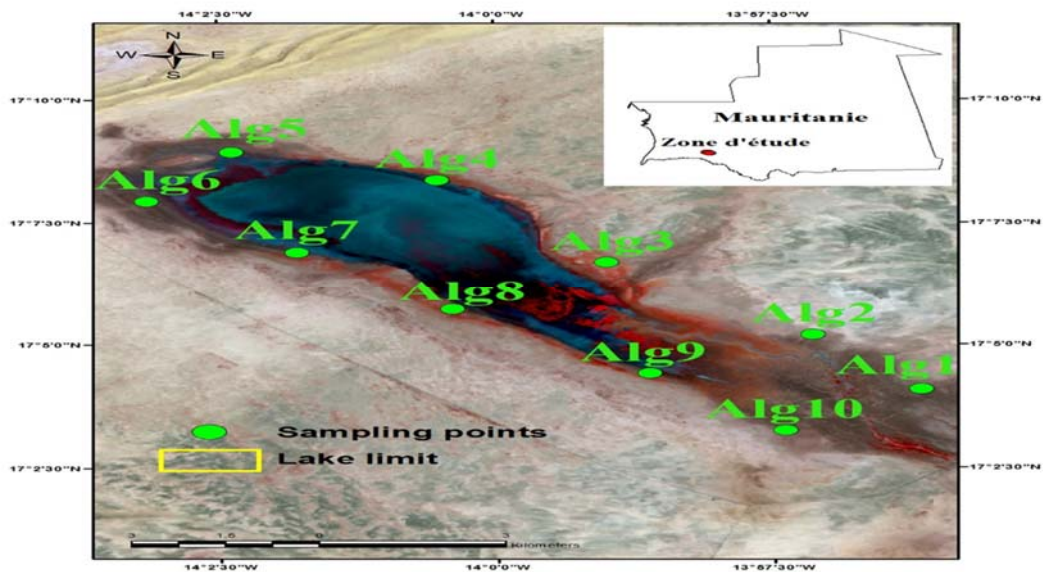


Figure 14. carte de localisation des prélèvements des échantillons d'eau, lac d'Aleg.

Tableau 9 : Programme des analyses physico-chimiques des eaux du lac d'Aleg de Mauritanie

	Institut National INRSP	Unité Eau-pollution et Environnement
Type analyses	T°C, pH, C, E, TDS, Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , TA, TAC	T°C, pH, C, E, TDS, Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> , TA, TAC
Années	2017	2018
Mois	Fevrier-Septembre	Fevrier-Septembre

Les analyses des éléments traces ou métaux lourds Cuivre, Manganèse, Fer, Aluminium, ont été réalisées au laboratoire de l'unité de recherche Eau-Pollution & Environnement à la Faculté des Sciences et Techniques, Université du Nouakchott, Février-Septembre de l'année 2017-2018

### **III. LES METHODES PHYSICO-CHIMIQUES**

#### **III-1. Méthodes physiques**

##### **III-1-1. Température et Potentiel hydrogène**

Pour la détermination de ces deux paramètres, nous avons utilisé un pH mètre portable de marque HANNA série 9024 (avec des solutions standards de pH 4 et 7).

La méthode consiste à plonger dans l'échantillon une électrode spécifique étalonnée. Ce pH-mètre nous donnait en même temps le pH de la solution et sa température.

##### **III-1-2. Conductivité électrique (CE)**

Ces paramètres ont été mesurés à l'aide d'un conductimètre HANNA instrument Hi 8733. La méthode consisté à rincer l'électrode avec de l'eau distillée et après plonger l'électrode dans la solution à mesurer à une profondeur minimum de quatre centimètres pour lire le résultat.

La valeur de la conductivité trouvée à la température standard de 20 °C est exprimée en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

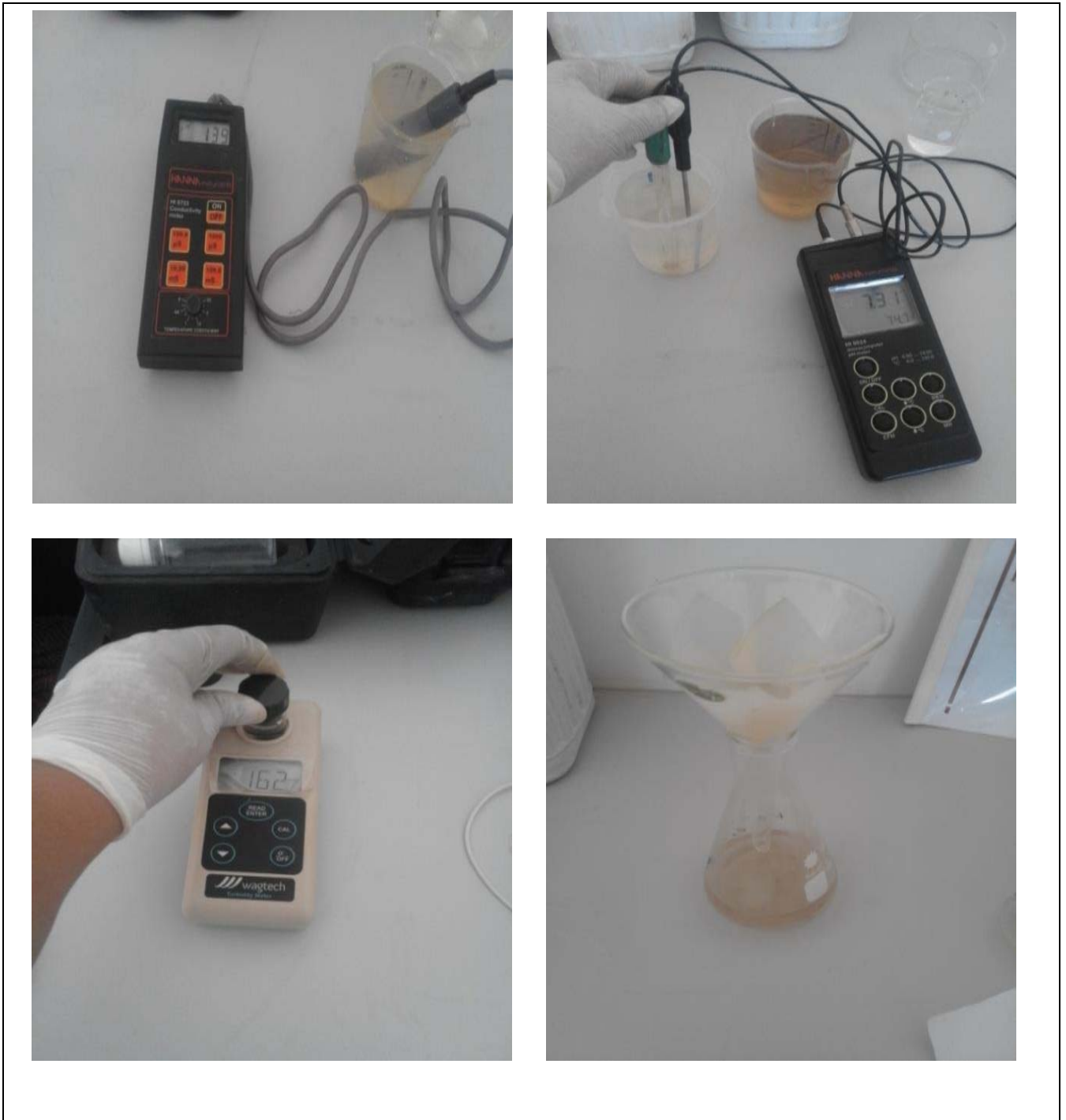
##### **III-1-3. Matières en suspension**

La détermination de MES passe par la filtration d'un échantillon d'eau sur un filtre de porosité 0,45  $\mu\text{m}$ . On filtre habituellement 100 ml d'échantillon et on pèse le résidu accumulé sur le filtre après assèchement de ce dernier à 105 °C durant deux heures.

Le filtre aura été préalablement asséché dans les mêmes conditions et pesé. La teneur en MES, exprimée en mg/l d'eau (Rodier, 1996).

##### **III-1-4. Turbidité**

Ce paramètre a été mesuré à l'aide d'un turbidimètre (type Wagtech) et la méthode consiste à étalonner l'appareille par des solutions d'étalonnage et après on prélève 10 ml de l'échantillon a flacon spéciale de l'appareille et on attendre que la valeur de la turbidité soit stable avant toute lecture. La valeur de la turbidité trouvée exprimée en Unité de Turbidité Néphélemétrique (NTU).



**Planche1** : Les méthodes des analyses physique (Conductimètre, PH mètre, Turbidimètre, papier filtre).

### III-2. Méthodes chimiques

Pour la mesure de ces paramètres, nous avons employé les méthodes volumétriques, photométrique UV- Visible, photométriques à flamme selon les méthodes proposées dans le laboratoire d'analyse à unité de recherche Eau- Pollution et Environnement (Rodier, 1996).

### III-2-1. Méthode volumétrique

Cette méthode est utilisée pour la détermination des éléments suivants : le Titre Hydrotimétrique (TH), le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), les ions Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), l'Alcalinité (Titre Alcalin Complet et Titre Alcalin), le Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) et l'anhydre carbonique libre ( $\text{CO}_2$ ).

#### III-2-1-1. Mesure du Titre Hydrotimétrique (TH)

##### □ Principe

La détermination de la dureté de l'eau est faite en suivant le protocole expérimental selon la norme ISO 22000. Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique PH10. La disparition des dernières traces d'éléments libres a dosé est décelée par un virage d'un indicateur spécifique, le noir d'ériochrome. Le tampon permet d'empêcher la précipitation du magnésium.

##### ➤ Mode opératoire

Par une éprouvette graduée on prélève 50 ml de l'échantillon à analyser et on l'ajoute dans un bécher de 250 ml contenant le barreau aimanté, ajouter quelques gouttes du tampon ammoniacal (PH=10), ajouter 3 gouttes de l'indicateur coloré (noir ériochrome) une coloration violette va se développer si le TH n'est nul. Verser l'EDTA (Acide éthylène diamine tétracétique 0,02 mol/l) par une burette graduée (25 ml) jusqu'à le passage d'une coloration violette au bleu.

La dureté en mg/l équivalent  $\text{CaCO}_3$  est donnée par l'équation :

$$\text{TH} = 40 \cdot V_{\text{EDTA}}$$

#### III-2-1-2. Mesure du Calcium

##### □ Principe

Le principe est identique à celui de la méthode titrimétrique décrite pour la dureté totale. Toutefois, comme le dosage se fait à un pH élevé (12-13), le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi, l'acide calçons carboxylique, ne se combine qu'avec le calcium pour former un complexe rouge.

➤ **Mode opératoire**

Dans un bécher de 250 ml ajouter 100 ml de l'échantillon à analyser prélevé par un éprouvette graduée, 2 ml de solution soude 4 % (NaOH) et quelques gouttes du tampon ammoniacal, une coloration rose se développe si le  $\text{Ca}^{2+}$  est non nul. Par une burette graduée (25 ml) ont versé l'EDTA (Acide éthylène diamine tétracétique 0,02 mol/l) avec une agitation jusqu'à le changement de la couleur du rose au bleu. La concentration des ions calcium en mg/l est donnée par l'équation suivant :

$$[\text{Ca}^{2+}] = 8\,016 \cdot V_{\text{EDTA}}$$

### III-2-1-3. Mesure du Magnésium

□ **Principe**

Le principe de la détermination du magnésium consiste à l'une de ces deux méthodes :

– Soit on fait la différence entre la dureté totale et la dureté calcique (la concentration des ions calcium)

– Soit par la précipitation du calcium en utilisant l'oxalate de potassium 20 % et le titrage des ions magnésium par l'EDTA, en présence d'une solution tampon.

➤ **Mode opératoire**

Prélever 100 ml de l'échantillon à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml, ajouter 2 ml d'oxalate de potassium à 20 %, procéder à la filtration puis ajouter au filtrat le volume acide chlorhydrique. Ajouter ensuite 5 ml de la solution tampon et 10 gouttes de l'indicateur coloré (Noir ériochrome T), la solution à une coloration rose. Titrer avec la solution d'EDTA jusqu'au virage au bleu. La mesure de la concentration des ions magnésium en mg/l en fonction du volume d'EDTA versé (en ml) est donnée par l'expression :

$$[\text{Mg}^{2+}] = 4\,816 \cdot V_{\text{EDTA}}$$

### III-2-1-4. Mesure de l'alcalinité

□ **Principe**

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et hydroxydes.

–Le Titre Alcalin (TA) mesure la teneur de l'eau en alcalins libre et en carbonates alcalins caustiques.

–Le Titre Alcalin Complet (TAC) mesure la teneur de l'eau en alcalins libre, en carbonates et bicarbonates.

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré.

➤ **Mode opératoire**

Le TA et TAC peuvent mesurés successivement sur le même échantillon par un prélèvement du 100 ml d'eau à analyser à l'aide d'éprouvette graduée et on ajoute 3 à 4 gouttes d'indicateur coloré (phénolphtaléine), si il y a une coloration rose on va titrer doucement par l'acide sulfurique (0,02 N) jusqu'à la disparition complète de la coloration.

$$\boxed{\text{TA (}^\circ\text{f)} = \text{Veq1}, \text{ TA (mg/l CaCO}_3\text{)} = 10 * \text{Veq1}}$$

Si il n'y a pas de la coloration rose on ajoute sur le même échantillon quelques gouttes sulfate et 4 gouttes d'indicateur coloré (Hélianthine), une coloration jaune se développée et on titrer avec l'acide sulfurique (0,02 N) jusqu'à apparition d'une coloration rose-orangé et noter le volume a l'équivalence (Veq2).

$$\boxed{\text{TAC (}^\circ\text{ f)} = \text{Veq2}, \text{ TAC (mg/l CaCO}_3\text{)} = 10 * \text{Veq2}}$$

**NB :** Si la TA disponible le TAC mesuré sur un échantillon Indépendante.

### III-2-1-5. Mesure du Chlorure

□ **Principe**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par le nitrate d'Argent en présence du bichromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du bichromate du potassium.

➤ **Mode opératoire**

Dans un bécher de 250 ml on ajouter 100 ml de l'eau a analysé prélevé par un éprouvette graduée, après ajouter quelques gouttes d'indicateur coloré (chromate de potassium 5 %) une

coloration jaune se développe, titrer doucement avec nitrate d'argent (0,1 N) jusqu'à apparition d'une coloration rougeâtre et noté le volume d'équivalence.

$$[\text{Cl}^-] = 35,45 * V_{\text{eq}}$$



Planche 2 : les analyses chimiques volumétriques et le stockage des échantillons



### III-2-1-6. Mesure de l'anhydride carbonique libre CO<sub>2</sub>

#### □ Principe

Les eaux dont le pH est compris entre 4,5 et 8,3 contiennent le plus souvent du dioxyde de carbone à une concentration non négligeable et donc mesurable.

Le dosage du CO<sub>2</sub> libre consiste à neutraliser la première fonction de cet acide pour former des ions hydrogencarbonates à l'aide d'une solution titrée de carbonate de sodium ou de soude.

#### ➤ Mode opératoire

Mettre 100 ml d'eau dans l'erlenmeyer puis introduire immédiatement 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium 0,025 N et de tartrate dans l'échantillon, ajouter 6 à 8 gouttes de l'indicateur coloré (phénolphthaléine) et obturer l'erlenmeyer et reboucher homogénéiser en retournant lentement. La solution doit prendre une teinte rose. Titrer alors à l'acide chlorhydrique 0,1 N sans agitation jusqu'à décoloration. Soit V<sub>1</sub> le volume d'acide 0,1 introduit. Faire un essai à blanc en ajoutant à l'échantillon précédent, le même volume (V) de solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate que celui utilisé pour le dosage. Soit V<sub>2</sub> le volume d'acide 0,1 N utilisé.

$$\boxed{\text{Calculé la différence } V_2 - V_1 = A}$$

La concentration de la solution d'acide chlorhydrique étant 0,1 N, 1 ml de cette solution correspond à 0,1 milliéquivalent. Ainsi, dans l'échantillon le nombre N de milliéquivalent de CO<sub>2</sub> libre est égal à :

$$\boxed{N = A/1}$$

La masse moléculaire de CO<sub>2</sub> étant 44 et le volume de l'échantillon étant de X ml, la concentration en CO<sub>2</sub> libre de l'eau analysée est, en mg/l :

$$\boxed{CCO_2\text{libre} = 44.N \ 1000/X = 44000.A/X.}$$



Planche 3 : les analyses chimiques volumétriques et les analyses chimiques photométriques UV/Visible.

### III-2-2. Méthode photomètre UV-Visible

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance

ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution. Plus cette espèce est concentrée plus elle absorbe la lumière dans les limites de proportionnalités énoncées par la loi de Beer-Lambert. Ce type de dosage réalisé à l'aide d'un nouveau portable photomètre Wagtech 7100 «WTD (wag-WE10441)». Le photomètre Wagtech 7100 offre un moyen moderne précis l'analyse de l'eau utilisant un état solide avancé, il offre une grande valeur d'analyse instrumentale pour une gamme d'essais d'eau. Le photomètre 7100 avec précision évalue la couleur formée dans le test échantillon et affiche les lectures directement en unités de concentration sur leur écran. Les réactifs de ce photomètre ont été fabriqués sous forme des pastilles dissoudre directement dans l'échantillon. Les substances dosées par cette méthode sont : les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), l'azote ammoniacal ( $\text{NH}^+$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), le Fer (Fe), Manganèse ( $\text{Mn}^{2+}$ ), Cuivre (Cu) et l'Aluminium (AL).

### III-2-2-1. Mesure du nitrate

#### ➤ Réactifs

- ✓ Pastille Nitratest
- ✓ Poudre Nitratest
- ✓ Pastille Nitricole
- ✓ Tube Nitratest en plastique, 20 ml (PT, 526)
- ✓ Eprouvette ronde, verre 10 ml.

#### ➤ Procédure du Test

1. Remplir le tube du Nitratest avec l'échantillon jusqu'à 20 ml.
2. Ajouter une cuillère de la poudre Nitratest et une pastille Nitratest, ne pas écraser la pastille, fermer le tube avec le capuchon et agiter pendant une minutie.
3. Attendre une autre minutie puis remuer trois à quatre fois pour faciliter la floculation. Attende encore jusqu'à l'obtention d'une solution claire.
4. Enlever le capuchon et nettoyé le haut du tube avec un papier propre. Transférer le contenu de cette solution claire dans une éprouvette ronde jusqu'au trait 10ml.
5. Ajouter une pastille Nitricole, écraser et remuer pour dissoudre.
6. Attendre 10 minute jusqu'au développement complète d'une colore rose, sélectionné la longueur d'onde 570 nm du photomètre (phot 063) et lire le résultat en mg/l.

### III-2-2-2. Mesure du nitrite

#### ➤ Réactifs

–Pastille Nitricole

–Eprouvette ronde, verre 10 ml.

#### ➤ Procédure du Test

1. Remplir le tube jusqu'au 10 ml
2. Ajouter une pastille Nitricole, écraser et remuer pour dissoudre.
3. Attendre 10 minute pour permettre du développement complet du couleur.
4. Sélectionné la longueur d'onde 520 nm (Phot 024) et lire le résultat en mg/l.

### III-2-2-3. Mesure d'Ammonium

#### ➤ Réactifs

- ✓ Pastille Ammonia No 1
- ✓ Pastille Ammonia No 2
- ✓ Eprouvette ronde, verre 10 ml.

#### ➤ Procédure du Test

1. Remplir le tube jusqu'au 10 ml
2. Ajouter une pastille Ammonia No1 et une pastille Ammonia No2, écraser et remuer pour dissoudre.
3. Attendre 10 minute pour permettre du développement complet du couleur.
4. Sélectionné la longueur d'onde 640 nm (Phot 062) et lire le résultat en mg/l.

### III-2-2-4. Mesure du Sulfate

#### ➤ Réactifs

- ✓ Pastille sulfate Turb
- ✓ Eprouvette ronde, verre 10 ml.

➤ **Procédure du Test**

- 1 Remplir le tube jusqu'au 10 ml;
- 2 Ajouter une pastille Sulfate Turb, écraser et remuer pour dissoudre. Une solution nuageuse indiquée la présence du sulfate ;
- 3 Attendre 5 minute pour assurer l'homogénéité;
- 4 Sélectionné Phot 062 et lire le résultat en mg/l.

**III-2-2-5. Mesure du Fer**

➤ **Réactifs**

-Pastille Iron

-Eprouvettes rondes, verre, 10 ml

➤ **Procédure du Test**

- 1 Remplir le tube jusqu'à 10 ml;
- 2 Ajouter une pastille Iron, écraser et remuer pour dissoudre;
- 3 Attendre 1 minute pour permettre le développement de la couleur;
- 4 Sélectionner Phot 18 et Le résultat s'affiche en mg/l Fe.

**Note :**

Le développement de la couleur sera complet normalement sous une minute.

Le développement continu de couleur après cette période indique des complexes de fer plus fortement liés dans l'eau. Dans un tel cas il faut attendre 10 – 15 minutes pour le développement complet de la couleur.

**III-2-2-6. Mesure du Manganèse**

➤ **Réactifs**

-Pastille Manganese No 1

-Pastille Manganese No 2

-Eprouvettes rondes, verre, 10 ml

➤ **Procédure du Test**

1. Remplir le tube jusqu'à 10 ml;
2. Ajouter une pastille Manganèse No 1 et pastille Manganèse No 2, écraser et remuer pour dissoudre;
3. Attendre 20 minutes pour permettre le développement complet de la couleur;
4. Sélectionner Photo 20, lire le résultat s'affiche en mg/l Mn.

**III-2-2-7. Mesure du Cuivre**

➤ **Réactifs**

–Pastille Cuivre No 1

–Pastille Cuivre No 2

–Eprouvettes rondes, verre, 10 ml

➤ **Procédure du Test**

1. Remplir le tube jusqu'à 10 ml;
2. Ajouter une pastille Cuivre No 1, écraser et remuer pour dissoudre;
3. Sélectionner Photo 10 et lire le résultat immédiatement. Le résultat pour Cuivre libre est affiché en mg/l. Arrêter à cette étape si vous ne désirez déterminer que le Cuivre libre;
4. Si vous désirez mesurer le Cuivre total, continué avec le même échantillon. Sélectionner «suivant» pour continuer le programme de test ;
5. Ajouter une pastille Cuivre No 2, écraser et remuer pour dissoudre et lire le résultat immédiatement.

**III-2-2-8. Mesure d'Aluminium**

➤ **Réactifs**

–Pastille Aluminium No 1

- Pastille Aluminium No 2
- Eprouvettes rondes, verre, 10 ml

➤ Procédure du Test



1. Remplir le tube jusqu'à 10 ml;

**Planche 4** : les analyses chimiques photométrique UV/Visible 2

2. Ajouter une pastille Aluminium No et une pastille Aluminium No 2 l'écraser et remuer doucement pour dissoudre. Eviter d'agiter vigoureusement;
3. Attendre 5 minutes pour permettre le développement complet de la couleur;
4. Sélectionner Phot 14 et lire le résultat en mg/l Al.

**III-2-3. Méthode photomètre à flamme**

Cette technique consiste à pulvériser dans une flamme la solution des ions à analyser. L'eau s'évapore tandis que les sels et leurs produits de décomposition se dissocient à l'état d'atomes ou de radicaux, ces derniers sont excités par énergie thermique appelée flamme. Le retour à l'état fondamental est accompagné par émission de radiation dont la longueur d'onde est spécifique à la nature de l'ion à analyser. Cette méthode réalisée à l'aide d'un photomètre à flamme (LCEA-MM-1273).

Les métaux alcalins sodium ( $\text{Na}^+$ ) et potassium ( $\text{K}^+$ ) sont dosés par spectrométrie de flamme

### III-2-3-1. Mesure du Sodium et Potassium

- Sur la touche power se positionner sur 1 pour l'allumer;
- Indiquer à l'aide du bouton «coarse» l'ion à déterminer ( $\text{Na}^+$  ou  $\text{K}^+$ );
- Dans un tube verser l'eau distillée en quantité suffisante et le placé au niveau du nébuliseur;
- À l'aide du bouton «blanc» stabilisé la valeur pour avoir un zéro;
- Puis mettre la solution fille de  $\text{Na}^+$  ou  $\text{K}^+$  et le stabiliser respectivement à 20 ppm ou 10 ppm selon la solution à l'aide du bouton «fine»;
- Puis dans un bécher on verse l'eau à analyser, en suit on le passe au niveau du nébuliseur et on lit la valeur indique elle s'exprime en ppm.



Planche 5: photomètre à flamme (LCEA-MM-1273).



## IV. Echantillonnage et analyse du sol du lac d'Aleg

### IV.1 Introduction

La salinisation et l'alcalinisation des sols et de l'eau sont très répandues dans les régions arides et semi-arides. Dans la zone sahélienne d'Afrique de l'Ouest, ces problèmes affectent tous les périmètres irrigués, en raison d'une mauvaise gestion de l'irrigation. La préservation de la qualité des sols est l'un des aspects les plus importants de la gestion durable des écosystèmes.

### IV.2. Technique d'échantillonnage et analyse du sol

Cette étude a été menée sur le lac d'Aleg dans la région de Brakna, au sud-ouest de la Mauritanie. Un prélèvement de 41 échantillons de sol répartis aléatoirement sur la zone d'étude (Figure 21). Les échantillons ont été prélevés au niveau de la couche des 20 premiers centimètres. Les coordonnées de chaque point de prélèvement ont été collectées par GPS portable (Garmin 78) (Figure 22). Les valeurs de la conductivité électrique pour chaque échantillon ont été obtenues par la méthode d'extrait dilué le pH du sol a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre à électrode de verre dans de l'eau distillée, Les traitements statistiques et analyses spatiale des données de terrain ont été effectués en utilisant les logiciels SPSS 20 et ArcGIS 10.3.

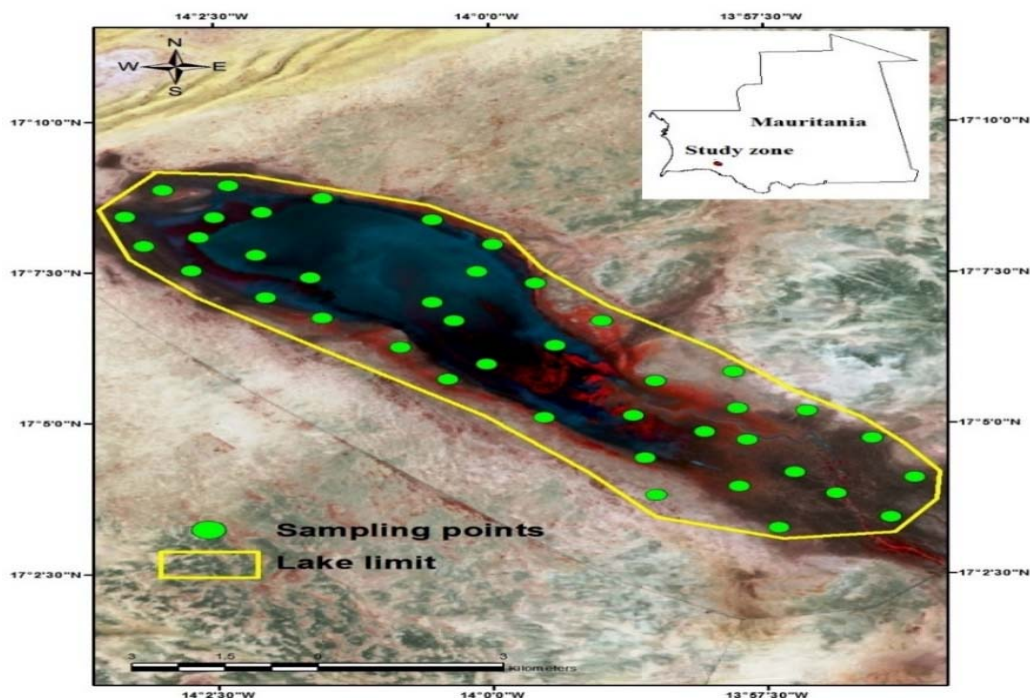


Figure 15. Carte d'échantillonnage du sol dans la zone d'étude, lac d'Aleg, en Mauritanie.

Tableau 10 : Les coordonnées en GPS, échantillonnage du sol lac d'Aleg

Abréviations	Code des Points prélevées du lac	GPS COORDONNEES	
		X	Y
Aleg1	1	613227	1887411
Aleg2	2	612841	1886185
Aleg3	3	611045	1885859
Aleg4	4	611976	1886918
Aleg5	5	612549	1888606
Aleg6	6	610373	1889506
Aleg7	7	611289	1887546
Aleg8	8	610405	1887120
Aleg9	9	611481	1889442
Aleg10	10	609064	1886849
Aleg11	11	610310	1890621
Aleg12	12	610524	1888542
Aleg13	13	608881	1887981
Aleg14	14	609839	1888775
Aleg15	15	609046	1890325
Aleg16	16	607254	1889209
Aleg17	17	608697	1889270
Aleg18	18	608175	1892163
Aleg19	19	605805	1892163
Aleg20	20	605703	1890386
Aleg21	21	606334	1890837
Aleg22	22	607106	1893316
Aleg23	23	603669	1892245
Aleg24	24	604939	1891356
Aleg25	25	602754	1892872
Aleg26	26	603485	1893482
Aleg27	27	601560	1893683
Aleg28	28	602596	1894162
Aleg29	29	600797	1894442
Aleg30	30	600489	1895336
Aleg31	31	601093	1896155
Aleg32	32	602155	1896292
Aleg33	33	606416	1894497
Aleg34	34	601932	1895317
Aleg35	35	603676	1895905
Aleg36	36	606174	1893670
Aleg37	37	601682	1894710
Aleg38	38	602691	1895478
Aleg39	39	605451	1895255
Aleg40	40	605451	1892736

Aleg41	41	607426	1891412
--------	----	--------	---------

### IV.3. Protocole d'analyse

#### IV.3.1. Humidité

Les échantillons sont séchés à l'étuve à  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  jusqu'à masse constante, pendant 24 heures ou 48 heures. La différence entre le poids initial et le poids après séchage exprime la teneur en eau de l'échantillon (CIRAD., 2004).

#### IV.3.2. Conductivité électrique CE

La conductivité électrique a été mesurée sur l'extrait dilué 1/5. Cette méthode consiste à mélanger un échantillon de 20 g de sol sec tamisés par un tamis de diamètre inférieur à 2 mm avec 100 ml d'eau distillée. Après une agitation de 2 heures, on laisse reposer jusqu'à ce qu'il y ait sédimentation du sol.

On filtre ensuite la solution du sol avec du papier filtre dans un bicher (MATHIEU et PIELTAIN, 2009). Cette méthode est plus facile à réaliser et permet ainsi faire un grand nombre d'analyses, ce qui est le difficile voire impossible avec la méthode de la pâte saturée (WADE, 1998 )

#### IV.3.3. Le pH

Tous les échantillons de sol ont été séchés à l'air libre dans une pièce pendant 8 jours, puis passés à travers un tamis de 2 mm. Le pH a été déterminé en mélangeant 2 g de sol avec 50 ml d'eau distillée et / ou de KCl 1 N. Le mélange a été agité pendant 2 heures sur un dispositif rotatif et centrifugé pendant 10 minutes à 3000 tr / min. La mesure a été effectuée avec un pH-mètre.



Figure 16 : points de prélèvement des échantillons des sols du lac au site et au Labo.

**PARTIE 3 :**  
**RESULTATS**  
**ET**  
**DISCUSSIONS**

## Chapitre 6: Caractérisation, Variations et potabilité des eaux du lac d'Aleg de Mauritanie.

### I. INTRODUCTION

L'eau douce renouvelable est une ressource indispensable à la vie. Aujourd'hui, le développement économique va de pair avec l'augmentation de sa consommation et l'apparition de sérieux problèmes de disponibilité (quantité) et de qualité. Ces eaux sont les plus vulnérables à la pollution, par leur circulation au contact des différents terrains traversés chargé d'un certain nombre d'éléments chimiques soluble, et par les rejets humaines et industrielles. Dans ce chapitre, nous allons essentiellement présenter les résultats de notre étude physicochimique menée dans le lac d'Aleg (Ville d'Aleg, Mauritanie). Une telle étude présente plusieurs objets qui sont :

- 1- une mise au point sur l'état actuel de la potabilité des eaux du lac d'Aleg en comparant avec les normes internationales de la qualité de l'eau, tel que : Les normes de la potabilité des eaux de l'**OMS-2006**, les limites de qualité des eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine du **CEE-2007** et comme des normes africaines on choisit les grilles de la qualité des eaux de surface du **Maroc-2002**.
- 2- Rechercher et élucider les fluctuations spatiales et temporelles en relation avec les saisons du climat mauritanien.
- 3- comparaison de la qualité du lac utilisée avec les eaux commerciales en Mauritanie.
- 4- Classer le lac d'Aleg d'après la caractérisation physico-chimique en le comparant avec les lacs et les fleuves africains et internationaux.

### II. ÉTAT DE LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE DU LAC D'ALEG

Pour atteindre cet objectif on a réalisé plusieurs séries d'échantillonnages sur des points trouvés à la zone du lac d'Aleg localisé des ville d'Aleg.

L'échantillonnage réalisé aux périodes 2017-2018 chaque saison de ces années.

La Mauritanie n'a pas des normes pour l'eau potable, alors les normes applicables dans le pays sont les normes de l'OMS. Les résultats d'analyses utilisés pour cette étude sont très hétérogènes, alors les résultats physico-chimiques des eaux de chacune de ces stations sont comparés avec les normes de l'OMS pour objet de savoir les sites fréquemment pollués. Les résultats globaux sont représentés dans le tableau 21 en comparaison avec les normes de l'OMS

,les limites de qualité des eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine de la CEE et les grilles de la qualité des eaux de surface du Maroc pour extraire une conclusion sur l'état général du lac, classifier et proposer une méthode appropriée de traitement pour les eaux du lac d'Aleg.

**Rive droit** : Selon le sens d'écoulements de l'eau on a sélectionné cinq stations.

- **Mechraa (ALG1)** : Cette station se trouve à l'entrée du lac sur la route de l'espoir tous près du pont environ de 2 Km de la ville d'Aleg et représente le lieu du diversement des eaux usées.

Tableau 11 : qualité physicochimique des eaux de la station (ALG1).

	pH	T	Tur	CE	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	TA	TA C	M ES
Min	6,95	20	269	101	1,8	5,6	0,97	20	6	0	0,52	0,1	3,5	42,7	10,65	8,8	0	30	120
moy	7,22	25	428.7	325,2	5,7	19,2	9,96	26,7	12,7	0,12	5,66	0,37	38	148,69	39,9	21	0	116	1120
Max	7.57	30, 3	800	530	8	40,08	26,24	32	24	0,31	12,6	0,87	120	320,2	95,8	33	0	257	1130
OMS	6,5- 9,5	-	5	180- 1000	10,00- 30	270	50	150	12	0,5	50	0,2	250	300	250	10	1- 35,0	0-35	-

Les teneurs des paramètres physico-chimique tel que le pH, la conductivité électrique (C.E), la dureté totale (TH), le Calcium (Ca<sup>2+</sup>), le magnésium (Mg<sup>2+</sup>), Le sodium (Na<sup>+</sup>), Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et les chlorure (CL<sup>-</sup>) des eaux du lac au niveau de la station Mechraa (ALG1) respectent les normes de l'OMS de la potabilité des eaux. En effet, la conductivité électrique enregistrée au niveau de cette station est la plus élevée durant notre étude. En autres les eaux au niveau de cette station sont contaminée par les composés azotés (nitrite), l'anhydride carbonique, le potassium (K<sup>+</sup>), la turbidité et les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dépassent largement les normes de l'OMS.

Les forts teneurs des nitrites trouvées, peuvent être expliquées par le diversement direct (sans aucun traitement préalable) des eaux usées dans le lac.

o Akreraye (ALG2) :

Tableau 12 : qualité physicochimique des eaux de la station (ALG2).

	pH	T	Tur	CE	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	TA	TAC	MES
Min	6,93	23	262	107	3,2	10,4	1,45	14	8	0	0,54	0,04	19	42,7	10,5	17,6	0	30	40
moy	7,16	26,25	453,2	297,7	5,7	21,84	11,54	30,25	12,5	0,14	4,05	0,22	47,25	139,6	31	61,6	0	116,9	210
Max	7,35	30,2	800	475	8,6	46,49	30,6	40	22	0,31	10	0,33	66	259,2	60,3	96,8	0	207,5	500
OMS	6,5-9,5	-	5	180-1000	10-30	270	50	150	12	0,5	50	0,2	250	300	250	10	1-35	0-35	-

Les teneurs des paramètres physico-chimiques tel que le pH, la conductivité électrique (CE), la dureté totale (TH), le Calcium (Ca<sup>2+</sup>), le magnésium (Mg<sup>2+</sup>), le sodium (Na<sup>+</sup>), le potassium (K<sup>+</sup>), les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), les chlorures (CL<sup>-</sup>) et les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) des eaux du lac d'Aleg au niveau de la station Akreraye (ALG2) sont respectent les normes de l'OMS de la potabilité des eaux. En autre le nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), le potassium (K<sup>+</sup>) et l'anhydride carbonique sont enregistrent des valeurs qui dépassent les normes de l'OMS.

La température varie entre un minimum de 23 et un maximum de 30,2 avec une moyenne de 26,25. La variation de la température de l'eau de surface est influencée par la température de l'air.

Le pH varie de 6,93 à 7,35 avec une moyenne de 7,16, ce qui indique une très légère tendance vers une composition acide.

o Mechraa veived (ALG3): Cette station représente une zone très importante à la ville d'Aleg car elle est la station le plus important pour les bétails.

Tableau 13 : Qualité physicochimique des eaux de la station (ALG3).

	pH	T	Tur	CE	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	TA	TAC	MES
--	----	---	-----	----	----	------------------	------------------	-----------------	----------------	------------------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	-----------------	-----------------	----	-----	-----

Min	7,25	23,5	270	109	1,52	3,2	1,45	4	1	0	0,22	0	0,5	26,84	6	12	0	1,4	32
moy	7,32	26,7	509,7	278,5	2,42	5,451	2,89	5,5	2,3	0,25	1,2	0,2	15,8	39	22,82	19	0	2	133
Max	7,43	30,3	800	550	4	10,6	5,6	8	6	0,7	1,9	1,1	36	53,68	78,1	39	0	3	243
OMS	6,5-9,5	-	5	180-1000	10,0030	270	50	150	12	0,5	50	0,2	250	300	250	10	1-35	0-35	-

La conductivité électrique enregistrée au niveau de cette station est le plus faible durant notre étude et respecte les normes de l’OMS comme les autres espèces chimique tel que le pH, la dureté totale (TH), le Calcium (Ca<sup>2+</sup>), le magnésium (Mg<sup>2+</sup>), le sodium (Na<sup>+</sup>), le potassium (K<sup>+</sup>), Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), les chlorure (CL<sup>-</sup>) et les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). En effet, cette station connaît une faible contamination par les composés azotés (nitrate et ammonium), l’anhydride carbonique et la turbidité dépassent largement les normes de l’OMS.

o **Station Dwalek (ALG4) :**

Tableau 14 : Qualité physico-chimiques des eaux de la station (ALG4).

	pH	T	Tur	CE	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	TA	TAC	ME S
Min	7,5	24	69	257	4	7	5,3	13	9	0	0,38	0,04	5	73,2	17,7	30,8	0	5,5	210
Moy	7,61	27,4	122	343	7	21,62	18,3	34,7	12	0,08	5,2	0,366	44,5	181,4	31,9	64,9	0	132,5	500
Max	7,82	30,3	300	417	9,6	34,5	34,5	52	20	0,12	15	0,6	93	359,9	49,7	96,8	0	290	1220
OMS	6,5-9,5	-	5	180-1000	10-30	270	50	150	12	0,5	50	0,2	250	300	250	10	1-35	0-35	-

Le tableau 14, présente les caractéristiques physico-chimiques de l’eau de la station Dwalek (ALG4). La température varie entre un minimum de 24 et un maximum de 30,3 avec une moyenne de 27,4. La variation de la température de l’eau de surface est influencée par la température de l’air. Le pH varie de 7,5 à 7,82 avec une moyenne de 7,61, ce qui indique une très légère tendance vers une composition acide. La conductivité électrique varie entre 257 et 417, cette faible salinité est déterminée par les teneurs enregistrées des ions Na et K. Les teneurs



des sels minéraux ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) enregistrées dans cette station sont inférieures à celles préconisées par l’OMS, ce qui nous demande de le reminéraliser pour être consommable, par contre les concentrations de l’anhydride carbonique et la turbidité, nitrate  $\text{NO}_3^-$ , Potassium  $\text{K}^+$  et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) dépassent les normes de l’OMS.

- **Station Mechraaelbel (ALG 5):** C’est la zone Pastoral le plus importante dans la région du lac d’Aleg. En plus cette zone connaît ce nom est nommé parce que c’est l’endroit idéal et le plus accessible pour boire des chameaux dans la zone.

Tableau 15: qualité physico-chimiques des eaux de la station (ALG 5).

	pH	T	Tur	CE	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	TA	TAC	MES
Min	7,03	24	278	259	2,6	8,01	1,4	13	6	0	0,74	0,01	1	54,9	6,48	8,8	0	40	30
Moy	7,28	27,5	467	391,5	7,2	19,2	12,8	26	10,5	0,19	4,5	0,5	48	160,1	16,6	22	0	126,2	90
Max	7,48	30,2	690	464	10,6	33,6	19,4	35	20	0,36	11,8	1,25	82	250,1	25	36	0	200	200
OMS	6,5-9,5	-	5	1801000	oct-30	270	50	150	12	0,5	50	0,2	250	300	250	10	1-35	0-35	-

Le tableau 15, présente les caractéristiques physico-chimiques de l’eau de la station de Mechraaelbel (ALG 5). Comme toutes les stations de prélèvement les eaux de la station du Mechraaelbel (ALG 5). Sont contaminées par les composés azotés. Les teneurs des nitrites enregistrés au niveau de cette station sont le plus élevés du tous les stations à cause de la présence des engrais et complexes savonnières. En effet, les autres paramètres respectent les normes de l’OMS à l’exception de l’anhydride carbonique et la turbidité qui sont très élevés à cette station.

**Rive Gauche** : Selon le sens inverse d’écoulement de l’eau on a sélectionné cinq stations sont :

ALG6, ALG7, ALG8, ALG9, ALG10.

- **Enegabe (ALG6)** : C'est la premier point du rive gauche parallèlement avec la station ALG5 Cette station se trouve à l'extrême N-W du lac et représente le lieu du diversement des eaux stagnant.

Tableau 16 : qualité physicochimique des eaux de la station ALG6.

	pH	T	Tur	CE	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	TA	TA C	M ES
Min	7,14	24	141	117	1,8	8,01	0,4	4	6	0	0,2	0,02	1	67,1	10,65	17,6	0	50	10
Moy	7,45	26,7	444	300,5	5,75	16,23	14,2	25	12,7	0,24	6	0,49	34,5	166,1	24,85	50,6	0	131,2	110
Max	7,56	30,2	912	539	8	22,44	24,79	12,5	24	0,06	3,24	1	82	311,1	42,6	92,4	0	250	210
OMS	6,5-9,5	-	5	180-1000	10,00-30	270	50	150	12	0,5	50	0,2	250	300	250	10	1-35,0	0-35	-

Les teneurs des paramètres physico-chimique tel que le pH, la conductivité électrique (C.E), la dureté totale (TH), le Calcium (Ca<sup>2+</sup>), le magnésium (Mg<sup>2+</sup>), Le sodium (Na<sup>+</sup>), le potassium (K<sup>+</sup>), Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et les chlorure (CL<sup>-</sup>) des eaux du lac au niveau de la station Enegabe (ALG 6) respectent les normes de l'OMS de la potabilité des eaux. En effet, la conductivité électrique enregistrée au niveau de cette station est la plus élevée durant notre étude. En autres les eaux au niveau de cette station sont contaminée par les composés azotés (nitrite), l'anhydride carbonique, la turbidité et les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dépassent largement les normes de l'OMS.

Les forts teneurs des nitrites trouvées, peuvent être expliquées par le diversement direct (sans aucun traitement préalable) des eaux usées dans le lac d'Aleg.

- **Akrreraye (ALG7)** : Cette station représente le lieu de la teinture des vêtements et considéré une zone de l'agriculture traditionnelle à la ville d'Aleg.

Tableau 17 : qualité physicochimique des eaux de la station (ALG7).

	pH	T	Tur	CE	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	TA	TAC	M ES

Min	7,51	23	331	220	1,6	6,4	0	15	7	0	0,3	0,01	9	54,9	17,75	79,2	0	40	10
moy	7,58	27,2	469	379,3	6,4	29,65	19,2	25,3	16	0,07	3,8	0,41	38,6	111,8	33,1	83,6	0	86,6	20
Max	7,63	30,1	626	624	12,2	54,5	44,7	31	26	0,22	8	0,91	87	207,4	46,15	88	0	165	40
OMS	6,5-9,5	-	5	180-1000	10-30	270	50	150	12	0,5	50	0,2	250	300	250	10	1-35	0-35	-

Tableau 17, Les teneurs des paramètres physico-chimiques tel que le pH, la conductivité électrique (CE), la dureté totale (TH), le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) des eaux du lac d'Aleg au niveau de la station ALG7 sont respectent les normes de l'OMS de la potabilité des eaux. En outre le nitrite, l'Ammonium et l'anhydride carbonique sont enregistrés des valeurs qui dépassent les normes de l'OMS.

- o **Mechraa Levreiwatt 2 (ALG8)**: Cette station représente une zone très importante à la ville d'Aleg car elle est la station la plus importante pour les bétails.

Tableau 18 : Qualité physicochimique des eaux de la station (ALG8).

	pH	T	Tur	CE	TH	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	CL	$\text{CO}_2$	TA	TAC	MES
Min	7,56	23,6	335	220	1,6	6,4	0	25	5	0	0,54	0	2	48,8	17,75	61,6	0	35	6
moy	7,58	27,57	408,6	379,3	4,85	29,65	19,28	33	18	0,25	5,85	0,07	25,25	168,7	28,4	71,87	0	133,3	50
Max	7,6	30,3	544	624	12,2	54,5	44,7	46	31	0,21	13,8	1,1	89	341,6	78,1	92,4	0	275	80
OMS	6,5-9,5	-	5	180-1000	10-30	270	50	150	12	0,5	50	0,2	250	300	250	10	1-35	0-35	-

La conductivité électrique enregistrée au niveau de cette station est la plus faible durant notre étude et respecte les normes de l'OMS comme les autres espèces chimiques tel que le pH, la dureté totale (TH), le Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), les chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ).

En effet, cette station connaît une très faible contamination par les composés azotés (nitrate et ammonium),  $K^+$ , l'anhydride carbonique et la turbidité dépassent largement les normes de l'OMS.

- **Station Mechraa Lehjare (ALG9)** : Cette station représente la station le plus important et considéré une zone d'agriculture traditionnelle à la ville d'Aleg

**Tableau 19** : Qualité physico-chimiques des eaux de la station (ALG9).

	pH	T	Tur	CE	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CL <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	TA	TAC	ME S
Min	7,25	24	186	187	2,4	7,2	1,45	13	6	0	0,54	0,04	2	48,8	14,2	8,8	0	35	1
Moy	7,52	27,25	427,5	332,5	5,95	19,43	10,93	31,25	11,75	0,09	2,16	0,73	45,75	144,9	25,74	50,6	0	113,75	1420
Max	7,64	30,2	857	513	9,8	29,66	20,89	45	21	0,32	3,8	1,6	97	292,9	42,6	88	0	235	5610
OMS	6,5-9,5	-	5	180-1000	10-30	270	50	150	12	0,5	50	0,2	250	300	250	10	1-35	0-35	-

Le tableau 19, présente les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la station Mechraa Lehjare (ALG9). La température varie entre un minimum de 24 et un maximum de 30,2 avec une moyenne de 27,25. La variation de la température de l'eau de surface est influencée par la température de l'air. Le pH varie de 7,25 à 7,64 avec une moyenne de 7,52, ce qui indique une très légère tendance vers une composition acide.

La conductivité électrique varie entre 187 et 857, cette faible salinité est déterminée par les teneurs enregistrées des ions Na et K. Les teneurs des sels minéraux ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $CL^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) enregistrées dans cette station sont inférieurs à celles préconisées par l'OMS, ce qui nous demande de le reminéraliser pour être consommable, par contre les concentrations de l'anhydride carbonique et la turbidité, nitrate  $NO_2^-$ , Potassium  $K^+$  dépassent les normes de l'OMS.

- **Station Avreiraye (ALG 10)** : C'est la dernier point du rive gauche parallèlement avec la station ALG1, considéré également une zone d'agriculture traditionnelle à la ville d'Aleg donc une zone importante pour la region.

**Tableau 20** : qualité physico-chimiques des eaux de la station (ALG 10).

	pH	T	Tur	CE	TH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub>	TA	TAC	MES
Min	7,08	23,7	497	67	2	7,2	0,48	26	7	0	0,52	0,05	10	36,6	7,1	22	0	25	1
Moy	7,54	28,25	466	352	5,5	20	14,7	39,5	15	0,12	2,15	0,33	55,5	152,5	43,5	58,3	0	120	320
Max	7,79	30,3	771	702	9,8	40,8	45,2	51	35	0,24	5,4	0,96	106	274,5	102,9	88	0	220	1010
OMS	6,5-9,5	-	5	180-1000	oct-30	270	50	150	12	0,5	50	0,2	250	300	250	10	1-35	0-35	-

Le tableau 20, présente les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la station de Avreiraye (ALG 10). Comme toutes les stations de prélèvement les eaux de la station du Avreiraye (ALG 10). sont contaminées par les composés azotés. Les teneurs des nitrites enregistrés au niveau de cette station sont élevés à cause de la présence des engrais et complexes savonniers. En effet, les autres paramètres respectent les normes de l'OMS à l'exception de l'anhydride carbonique, Potassium K<sup>+</sup> et la turbidité qui sont très élevés à cette station.

Le tableau 20, présente les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de la station Avreiraye (ALG10). La température varie entre un minimum de 23,7 et un maximum de 30,3 avec une moyenne de 28,25.

La variation de la température de l'eau de surface est influencée par la température de l'air. Le pH varie de 7,08 à 7,79 avec une moyenne de 7,54.

Tableau 21 : Caractéristiques physico-chimiques globale des eaux du lac d'Aleg : (Min, Max, moy et écart-type) en comparaison avec les Normes internationales de la potabilité de l'eau.

Les résultats physico-chimiques du lac d'Aleg					Les Normes									
Variable	Min	Max	Moy	Ecartype	OMS	CEE			Maroc					
						A1	A2	A3	C1	C2	C3	C4	C5	
pH	7,16	7,61	7,42	0,167	6,5 – 9,5	6,5-8,5	5,5-9	5,5-9	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9,2	<6,5>9,2	<6,5>9,2	
T (°C)	25,73	28,25	27,08	0,72	-	22-25	22-25	22-25	<20	20-25	25-30	30-35	>35	
Tub	408,67	626,5	471,9	61,89	< 5	-	-	-	-	-	-	-	-	
CE (µs/cm)	278,5	391,5	332,4	35,66	180 – 1000	<1000	1000	1000	<750	750-1300	1300-2700	2700-3000	>3000	

TH (°F)	3,6	7,2	5,66	1,05	10,00-30	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	16,23	29,65	21,47	3,46	270	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	9,96	19,28	13,42	3,16	50	-	-	-	-	-	-	-	-
Na <sup>+</sup> (mg/l)	21,25	39,5	29,51	5,32	10 - 150	-	-	-	-	-	-	-	-
K <sup>+</sup> (mg/l)	10,5	18	13,5	2,43	12	-	-	-	-	-	-	-	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0,06	0,2	0,11	0,04	0,5	0,05	1-1,5	2-4,00	≤0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	>8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	2,15	5,85	4,15	1,32	50	25-50	50	50	≤10	10-25	25-50	>50	-
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0,22	0,73	0,41	0,15	0,2	-	-	-	≤1	1-2	2-3	>3	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	29	64,5	43,78	11,78	250	150-250	150-250	150-250	<100	100-200	200-250	250-400	>400
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	111,8	182,2	156,5	20,58	300	<200	200	200	-	-	-	-	-
CL <sup>-</sup> (mg/l)	24,85	43,5	31,24	6,42	250	-	-	-	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
CO <sub>2</sub> (mg/l)	41,65	83,6	20,1	13,15	10	-	-	-	-	-	-	-	-
TA (mg/l)	0	0	0	0	1-35,00	-	-	-	-	-	-	-	-
TAC (mg/l)	86,67	144,98	122,2	15,69	0-35	-	-	-	-	-	-	-	-
MES	30	1420	760	494,1	-	25	-	-	<50	50-200	200-1000	1000-2000	>2000
Fe <sup>2+</sup> (mg/l)	0,3	2,72	1,25	0,75	0,5 - 50	-	-	-	≤0,5	0,5-1	1-2	2-5	>5
Cu <sup>2+</sup> (mg/l)	2,29	9,09	6,02	2,65	2	0,02	0,05	0,05-1	≤0,02	0,02-0,05	0,05-1	>1	-
Mn <sup>2+</sup> (mg/l)	0,002	0,008	0,005	0,002	0,4	0,05	0,1	1	≤0,1	0,1-0,5	0,5-1	>1	-
AL <sup>+</sup> (mg/l)	0,16	0,58	0,32	0,157	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-

Les plus part des paramétrées physico-chimiques des eaux du lac d'Aleg de Mauritanie: Le pH, la conductivité électrique (CE), la dureté totale (TH), le Calcium (Ca<sup>2+</sup>), le magnésium (Mg<sup>2+</sup>), Le sodium (Na<sup>+</sup>), le potassium (K<sup>+</sup>), les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et les chlorure (Cl<sup>-</sup>) les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) enregistrent des valeurs moyennes respectivement de 7,42 ; 332,4 μs/cm ; 5,66 °F ; 21,47mg/L ; 13,42 mg /l ; 29,51 mg/L ; 13,5 mg/L ; 4,15 mg/L ; 43,78 mg/L ; 31,24mg/L ; 156,5 mg/L et 20,1 mg/L respectent par conséquent les normes de potabilité des eaux de (OMS, 2006).

En indiquant que cette eau est moyennement douce sa dureté totale (TH) comprise entre 3,6 et 7,2 °F, a une faible minéralisation, très trouble et chargée aux matières en suspension. Par les

mêmes normes on classifiés les eaux du lac d'Aleg comme des eaux polluées par des substances d'origine indésirables tel que : Le nitrite et l'ammonium enregistrent des valeurs limites respectives 0,73 mg/L et 0,6 mg/L dépassent les normes 0,2mg/L et 0,5mg/L. Les teneurs de l'anhydride carbonique (CO<sub>2</sub>) sont très plus élevées que les normes de l'OMS. Les micropolluants minéraux (Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> et AL<sup>+</sup>) respectent les normes de (OMS, 2006). En outre, selon les limites de qualité des eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine de (CEE, 2007), qui propose trois catégories A1, A2, A3 pour diriger les traitements des eaux de surface. Les eaux du lac d'Aleg réparties sur les trois catégories **A1** pour six paramètres (pH, C. E, nitrate, sulfate, bicarbonate et magnésium), **A2** pour la teneur d'ammonium et **A3** pour le cuivre. Alors les procédés de traitement proposés pour les eaux du lac d'Aleg sont les procédés de la catégorie **A3** : **Traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection, par exemple chloration au break point, coagulation, floculation, décantation, filtration affinage (carbone actif), désinfection (ozone, chloration finale).**

Les grilles de la qualité des eaux de surface du **Maroc (2002)** sont des classifications de l'eau selon leur qualité (Class 1 : excellent, Class 2 : bonne, Class 3 : moyenne, Class 4 : mauvaise et Class 5 : très mauvaises). D'après la comparaison de la qualité physico-chimique actuelle du lac d'Aleg avec les grilles marocaines on trouve que le pH, la conductivité électrique (CE), Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les chlorures (CL<sup>-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et le fer totale (Fe<sup>2+</sup>) trouvent dans le **Class 1**, l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et les matières en suspension sont trouvés dans le **Class 2** et la température (T°C) et le cuivre trouvent dans le **Class 3**. Alors on constate que les eaux du lac d'Aleg ont une qualité excellente à moyenne.

### **III. EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DES EAUX DU LAC D'ALEG**

Les résultats d'analyses utilisés pour cette étude sont très hétérogènes, alors pour un objet de prendre des idées fixes et une vision globale sur la nature du lac d'Aleg et les variations spatiales, périodiques et annuelles de leur qualité physico-chimique on utilise les valeurs moyennes de chacune des espèces physico-chimiques étudiées à chaque station de prélèvement durant les deux années d'études (2017 et 2018). Pour évaluer les effets des changements périodiques du climat sur la qualité du lac, on a également utilisé les valeurs moyennes de chacune des espèces enregistrées aux dix stations des prélèvements à chaque saison climatique de ces deux ans telles que : la saison sèche du novembre à mi-juillet et l'hivernage de la mi-juillet à octobre. Pendant la période de notre étude du 2017-2018, on a essayé d'évaluer

l'évolution de la qualité physico-chimique du lac d'Aleg d'une année à l'autre. Les évolutions annuelles sont toujours évaluées par les valeurs moyennes de chacune des espèces durant chaque année d'étude.

### III-1. Paramètres physique

#### III-1-1. PH et Température

Ces deux paramètres sont très importants pour l'évolution de la qualité des eaux, le pH est un facteur d'investigation de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau. Le pH d'une eau est la mesure de son niveau d'acidité ou de l'alcalinité. Le pH se rapporte aux ions d'hydrogène présents dans l'eau et signifie « potentiel d'hydrogène ». Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, car celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. L'élévation de la température de l'eau peut parfois causer le développement d'une flore microbienne.

##### III-1-1-1. Variations spatiales du pH et Température

Ces valeurs moyennes de pH mesurées dans les différentes stations de prélèvement au niveau du lac d'Aleg varient entre 7,16 et 7,61. Généralement, nous ne constatons aucune évolution particulière du pH. En outre les valeurs moyenne de la température sont varient entre 24,97 enregistré à la station Machraa (ALG1) et 28,25 enregistré au niveau d'Avreiraye (ALG10) . La variété de la température d'une station à l'autre peut expliquer par la présence de certains arbres imposants dans quelques zones, protégés le lac des rayons du soleil.

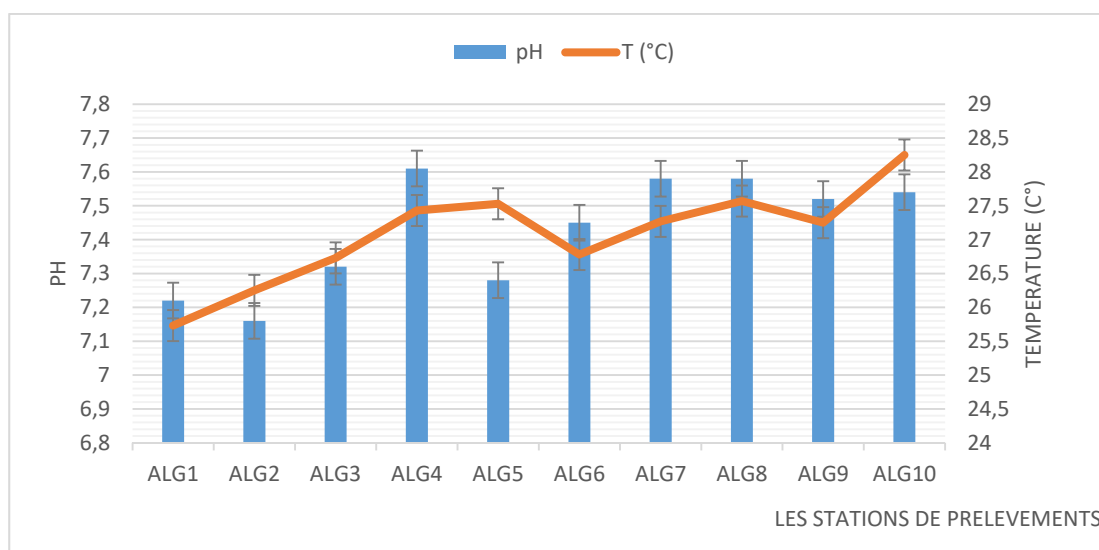


Figure 17: variations spatiales du pH et Température.



### III-1-1-2. Variations saisonnières du pH et Température

Les valeurs moyennes des pH et température pour les trois saisons du climat (sec et Humide) de deux années 2017-2018 montrent que les deux paramètres sont influencés par les changements périodiques du climat de la zone d'étude. Le pH et température sont plus élevés aux saison humide que la période sèche, l'évolution du pH peut expliquer par les variations de la température des eaux, cette température qu'elle varie avec l'évolution de la température du climat qui devient plus chaud au saison humide (45 °C à la moyenne).

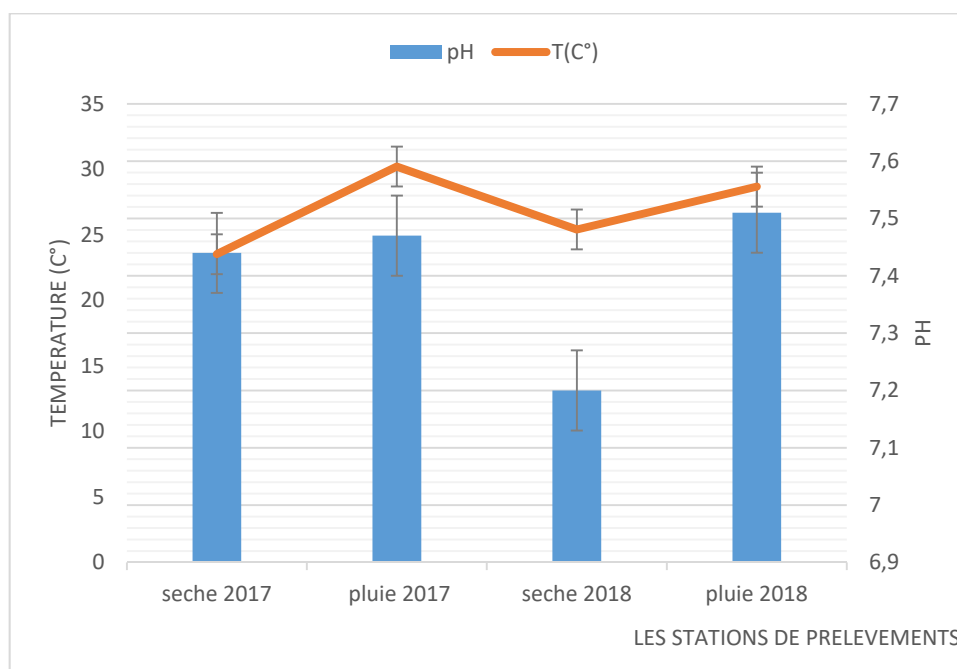


Figure 18 : variations saisonnières du pH et Température.

### III-1-2. Conductivité

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. La conductivité électrique traduit le degré de minéralisation globale. La conductivité est directement proportionnelle à la quantité de solides (les sels minéraux) dissoute dans l'eau. Elle permet de déceler les variations de la composition chimique de l'eau

#### III-1-2-1. Variations spatiales de la Conductivité

Les valeurs moyennes de toutes les analyses réalisées durant deux ans sur ces dix stations du prélèvement, montrent que la conductivité électrique du lac d'Aleg a une irrégularité spatio-temporelle. La conductivité enregistré des valeurs maximums aux stations Mechraa Levriwatt (ALG 8) et Mechraaelbel (ALG 5). Ces valeurs élevées sont expliquées par les rejets des déchets

et des eaux usées et les espèces chimiques des engrais exploiter dans ces zones. La valeur minimale enregistrée au niveau de station Mechraa veived ALG3 ce qui peut s'expliquer par la nature des activités appliquées à cette station (au milieu de la rive droite du lac...) n'a pas très influence sur la qualité de l'eau.

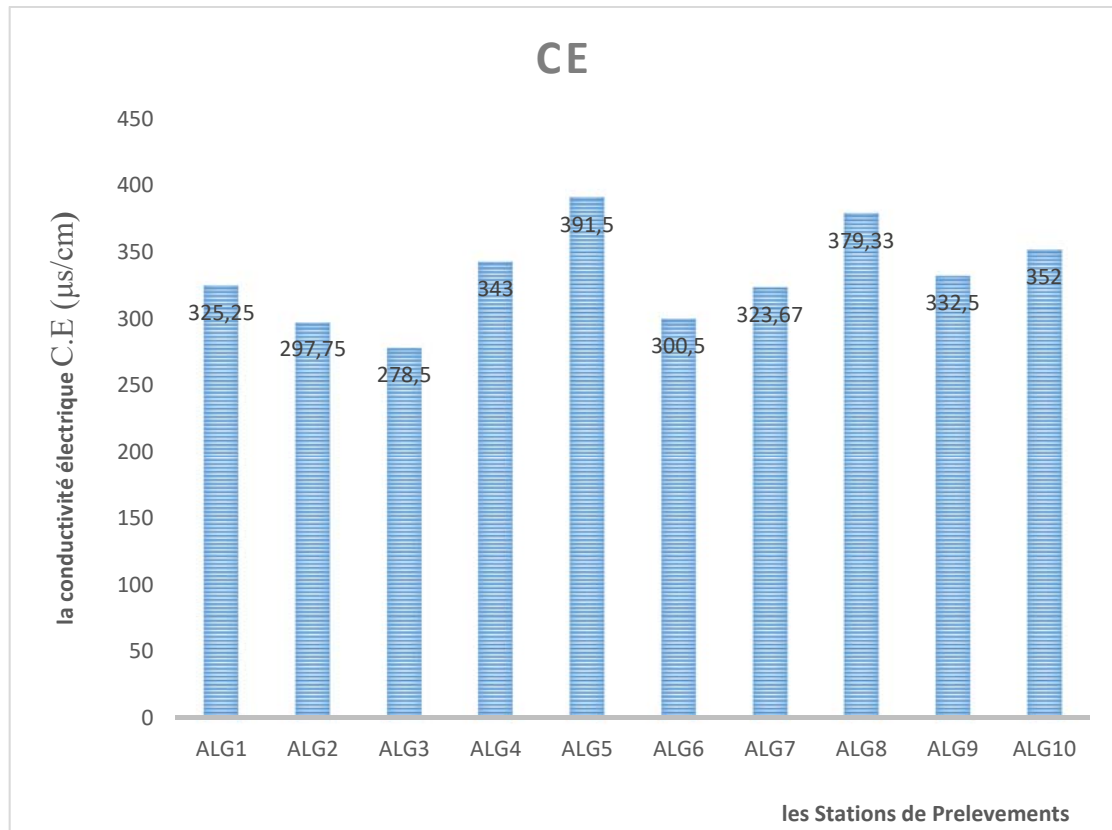


Figure 19 : Variations spatiales de la conductivité électrique.

### III-1-2-2. Variations saisonnières de la Conductivité

La conductivité électrique est le paramètre le plus important pour évaluer la qualité physicochimique des eaux. Les valeurs de la conductivité électrique enregistrée pendant ces quatre saisons permet de mettre en évidence que la qualité d'eaux du lac d'Aleg est très variée. Les valeurs de la conductivité sont plus élevées aux périodes sèches que les saisons humides. La conductivité s'élève au sec et rechute à l'hiver.

La rechute de la conductivité électrique au l'hivernage peut expliquer par lessivage des terrains par l'eau de la pluie, ce lessivage entraîne naturellement la dissolution d'un certain nombre de sels minéraux d'origine naturelle ou d'origine des effluents agricoles, industrielles ou domestiques qui contiennent des sels contribuant eux aussi au décroissement de la conductivité. Après la saison de pluie, le lac commence à restaurer sa pureté se débarrasser des polluants par l'opération très reconnue l'autoépuration. Cette épuration naturelle à l'œuvre des organismes

vivats dans le milieu aquatique : bactérie, protozoaire, algues qui permettent de l'eau de retrouver sa qualité première. Ce qui explique l'accroissement de la conductivité aux périodes sèches.

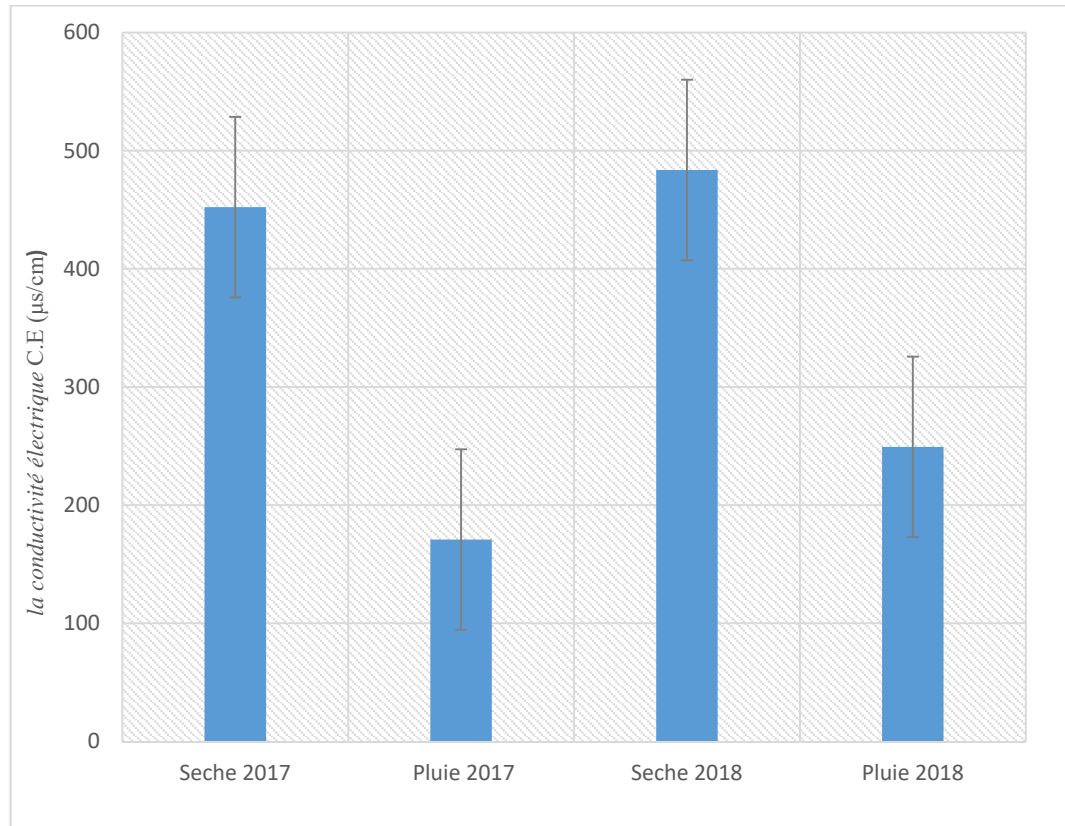


Figure 20 : variations saisonnières de la conductivité électrique.

### III-1-3. Turbidité et Matières en suspensions

La turbidité d'une eau est une mesure globale qui prend en compte toutes les matières colloïdales, insolubles, d'origine minérale ou organique. La turbidité chronique de l'eau du Lot est due à la présence d'une suspension de particules minérales et organiques existant naturellement dans l'eau, comme le limon, l'argile, les matières organiques et inorganiques en particules fines, le plancton et d'autres microorganismes, dont les diamètres varient de 1 à 20 µm.

Les matières en suspensions sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil, théoriquement, elles ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdal. Elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, diminuent la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique. Ces matières sont en relation avec la turbidité, leur mesure donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique.

### III-1-3-1. Variations spatiales de la Turbidité et Matières en suspensions

Généralement les teneurs moyennes de la turbidité et des matières en suspensions sont très variées spatialement. En effet, leurs valeurs les plus grandes sont enregistrées au niveau de la station du versement direct des déchets et des eaux usées sans aucun traitement ALG 1.

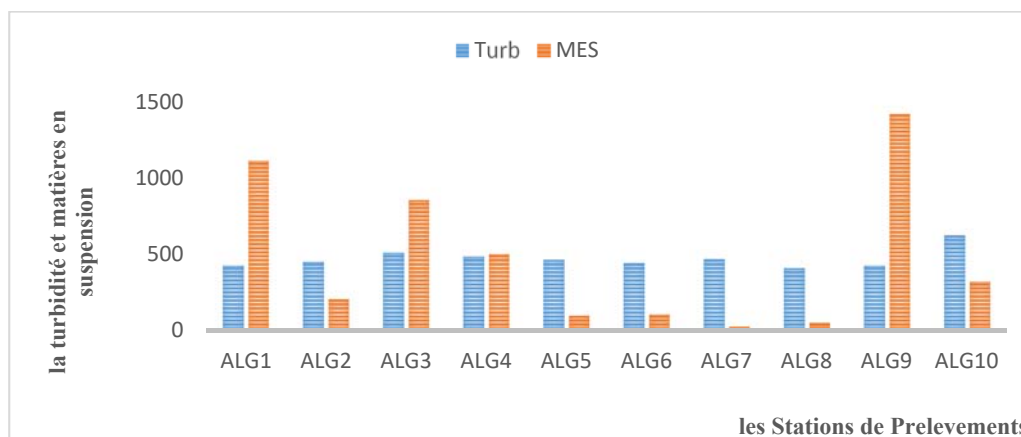


Figure 21: Variations spatiales de la Turbidité et Matières en suspension.

### III-1-3-2. Variation saisonnière de la Turbidité et Matières en suspensions

La turbidité et les matières en suspension ont enregistré des valeurs plus élevées aux saisons humides, ce qu'il peut s'expliquer par les torrents qui ont lessivé la terre et inventaire les particules fines et grosses vers le lac. Ces changements du degré du trouble du lac entre les saisons peuvent voir clairement par l'œil.

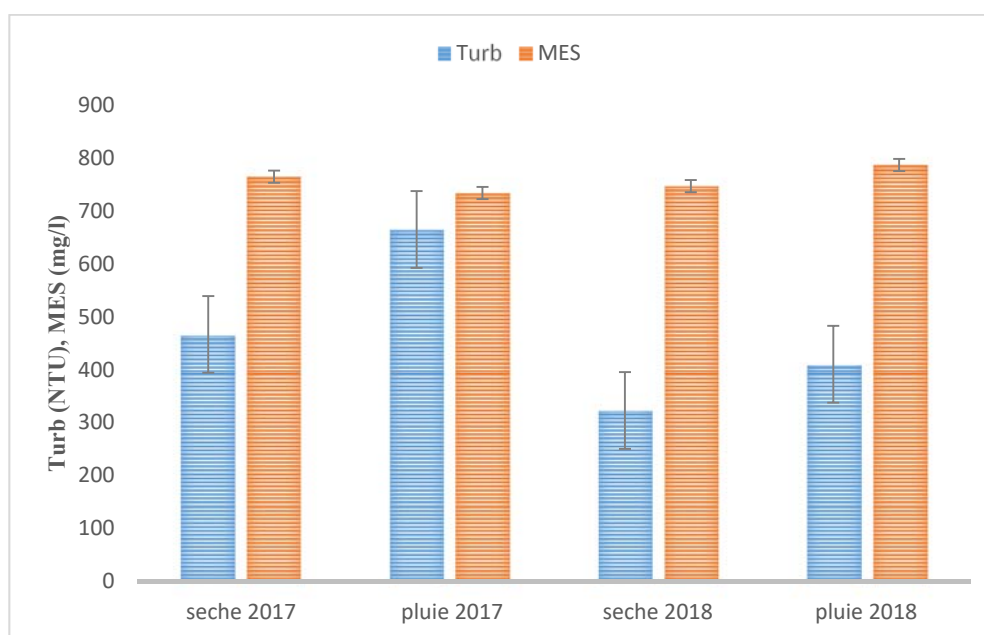


Figure 22 : Variations spatiales de la Turbidité et Matières en suspension.



Figure 23: vu du lac d'Aleg de Mauritanie, septembre 2017 (zone ALG1)

### III-2. Paramètres liés à la structure naturelle des eaux

#### III-2-1. Contrôle de la cohérence des analyses

Le calcul des balances ioniques permet de contrôler la qualité des analyses effectuées sur les paramètres liés à la structure naturelle des eaux. Cette démarche de validation est un préalable indispensable à une présentation fiable des résultats d'analyse et à leur interprétation. La balance ionique est l'expression d'une différence entre les charges positives (cations) et les charges négatives (anions). La théorie physique suppose la neutralité des charges au sein des échantillons d'eau, c'est-à-dire une égalité entre la somme des charges positives (cations) et la somme des charges négatives (anions). La balance ionique de tout échantillon d'eau doit donc nécessairement être proche de 0 %. Le calcul des balances ioniques se fonde sur la relation suivante :

$$BI = 100 * \frac{(\Sigma \text{ cations} - \Sigma \text{ anions})}{(\Sigma \text{ cations} + \Sigma \text{ anions})}$$

BI : La balance ionique (Normalized Inorganic Charge Balance) exprimée en pourcentage,

$\Sigma$  Cations : La somme des cations (unités en méq),

$\Sigma$  Anions : La somme des anions (unités en méq).

Tout écart doit ainsi être interprété comme un biais induit lors de l'analyse. En règle générale, les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante :

- -1 % < BI < 1 % : Fiabilité excellente.
- -5 % < BI < 5 % : Fiabilité acceptable.

- $-10\% < BI < 10\%$  : Fiabilité médiocre.
- $BI < -10\%$  ou  $BI > 10\%$  : mauvaise fiabilité (Ouled cheikh, 2013).

### III-2-2. Calcium ( $Ca^{2+}$ ) et Magnésium ( $Mg^{2+}$ )

Le calcium et Magnésium représentent généralement le titre hydrotimétrique ou dureté totale. Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature, et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates de calcium ( $CaCO_3$ ). Il est généralement l'élément dominant des eaux potables, la teneur en calcium est liée directement à la nature géologique des terrains traversés par les cours d'eau. Toutes les eaux de sources, souterraines et superficielles contiennent ; suivant la roche avec laquelle ont été en contact, des sels de calcium en solution.

Le magnésium est un métal possédant de faibles caractéristiques mécaniques. Il est très léger. L'eau peut être une source de magnésium, mais les quantités varient selon les sources. L'eau calcaire contient plus de magnésium que l'eau douce. La plupart des eaux naturelles contiennent généralement en petites quantités, des ions  $Mg^{2+}$ , provenant des roches dolomitiques.

#### III-2-2-1. Variations spatiales du Calcium ( $Ca^{2+}$ ) et Magnésium ( $Mg^{2+}$ )

Le calcium et magnésium varient d'une station à l'autre. Les pics du calcium et magnésium associés à des pics de la conductivité, leurs valeurs limites enregistrés au niveau des stations ALG8. Cette station a les valeurs plus de la conductivité enregistrée sur les dix stations.

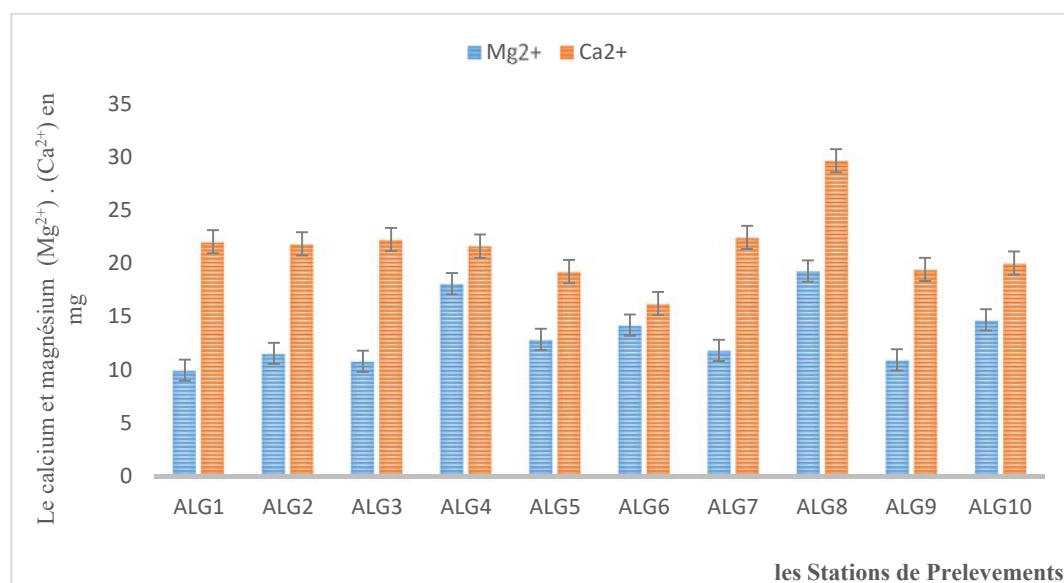


Figure 24 : variations spatiales du Calcium ( $Ca^{2+}$ ) et Magnésium ( $Mg^{2+}$ ).

### III-2-2-2. Variations saisonnières du ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Ces deux éléments sont devient de la source de ce cours d'eau wad Ketchi qui est classifié comme des eaux bicarbonatées calci-magnésiennes et faiblement minéralisées (Orange, 1990). Ses éléments sont enregistrés à la première campagne de notre étude au sec de la 2017 des valeurs moyennes 35,75 mg/l de calcium et 29,16 mg/l de magnésium. Pour la dixième campagne on trouve que ces éléments sont chutés et sont stabiliser à la troisième campagne au l'hivernale de 2018. La compagne de l'entrée des 2018 montre que ces éléments sont stabilisés et rechuté au saison humide du 2018. Ce constat peut être expliqué par une dilution de ces éléments au cours de l'augmentation du niveau d'eau du lac en saison humide.

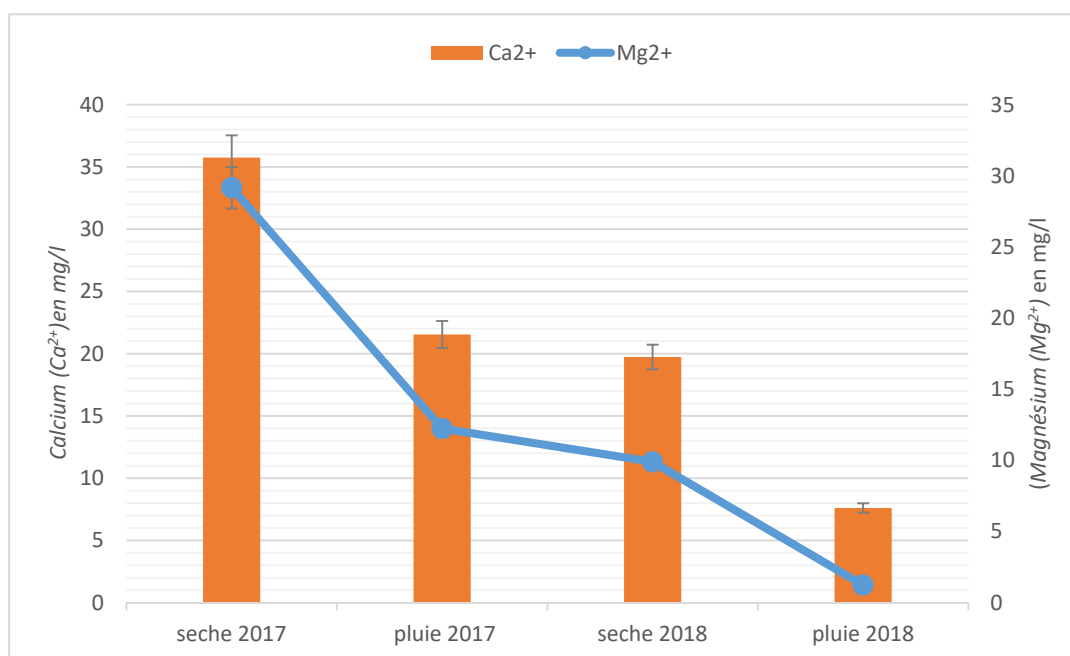


Figure 25 : Variations saisonnières du Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ).

### III-2-3. Sodium ( $\text{Na}^+$ ) et Potassium ( $\text{K}^+$ )

Ces éléments sont normaux d'eau, le Sodium est l'un des constituants majeurs de l'écorce terrestre (2,83 %) et il existe dans la totalité des eaux, car la solubilité de ces sels est très élevée. L'activité humaine emploie beaucoup de sel de sodium dans ces diverses industries.

Le cation sodium ( $\text{Na}^+$ ) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sables, argiles, évaporites). Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturées en ion

$\text{Na}^+$ , par le processus d'échange de bases. La concentration potassium est largement inférieure à celle du sodium bien que son abondance relative terrestre soit comparable (sodium 2,83 % et potassium 2,59 %). Le potassium ( $\text{K}^+$ ) est assez abondant sur terre, mais peu fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaé dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales du potassium sont les roches cristallines, les évaporites (sylvinite KCl), les argiles et les engrais.

### III-2-3-1 Variations spatiales du sodium ( $\text{Na}^+$ ) et potassium ( $\text{K}^+$ )

Les teneurs moyennes du sodium et potassium retrouvés dans les différentes stations de prélèvement au niveau du lac d'Aleg montrent que l'évolution de ces éléments est liée directement à l'évolution de la conductivité qu'elle est plus élevée aux stations ALG 10 et ALG 4. Les valeurs moyennes du sodium varient entre 21,25 et 39,5 mg/L, ce qu'il peut montrer un effet du front salé de l'océan Atlantique n'est pas négligeable dans la zone, qu'elle est proche du lac d'Aleg (Aleg à moins 220 km de l'océan Atlantique) et des rejets domestiques et industrielles dans le Lac.

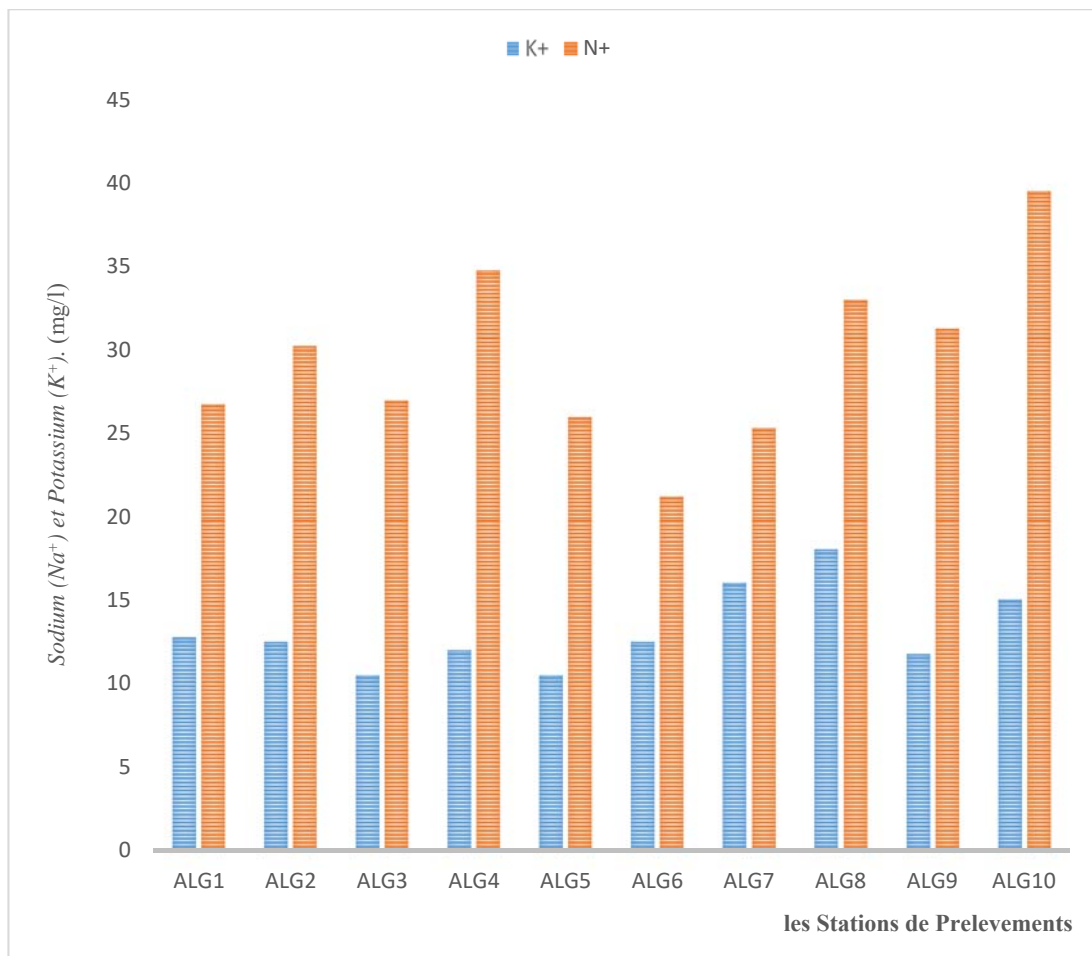


Figure 26 : Variations spatiales du Sodium ( $\text{Na}^+$ ) et Potassium ( $\text{K}^+$ ).



### III-2-3-2. Variation saisonnière du Sodium ( $\text{Na}^+$ ) et Potassium ( $\text{K}^+$ )

Ces éléments d'origine naturelle et anthropique sont plus bas aux périodes sèches (la période d'étiage complet du lac) et évoluent en période de crue et restent évolués à la période sèche. L'augmentation du niveau d'eau du lac pendant la saison humide favorise le contact avec l'océan atlantique ce qu'il augmente la probabilité de l'effet d'océan sur le lac. En outre les évolutions de ces éléments pourraient être dues en partie aux phénomènes de lessivage du sol et la dissolution des argiles par l'eau de la pluie. Et pour la diminution de ces éléments aux périodes sèches peut être expliquée par l'autoépuration ou complexation avec des autres espèces chimiques dans l'eau.

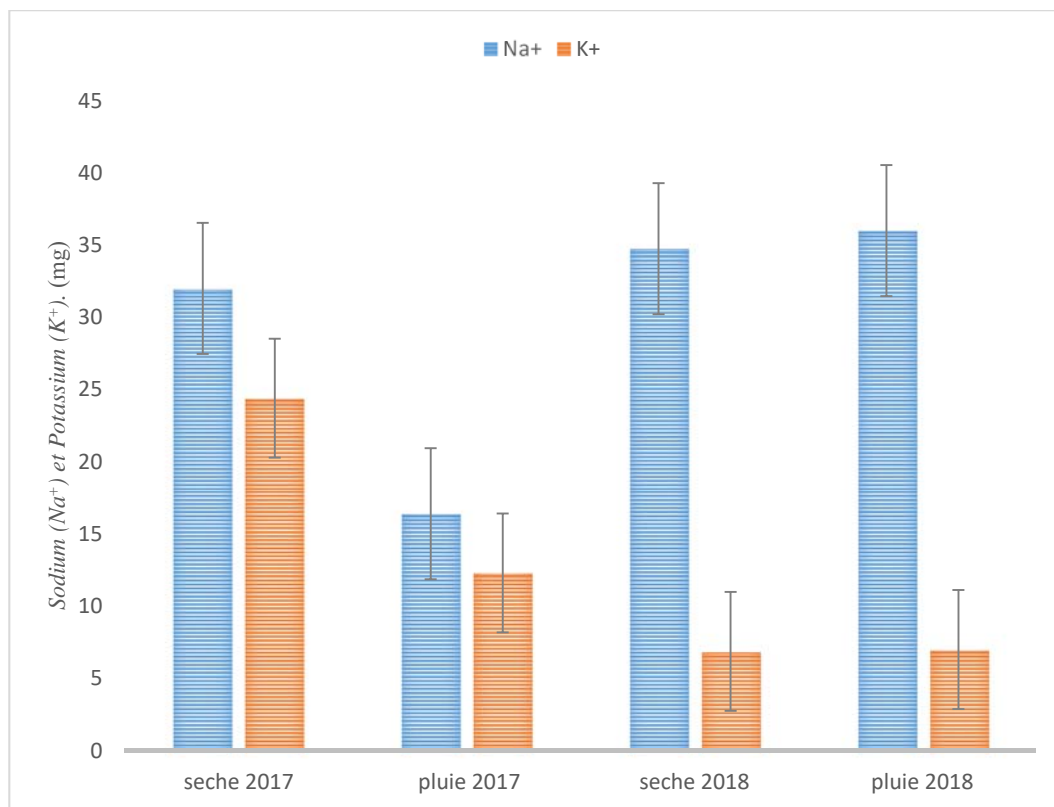


Figure 27 : Variations saisonnières du Sodium ( $\text{Na}^+$ ) et Potassium ( $\text{K}^+$ ).

### III-2-4. Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ), Sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ )

Ces éléments sont de l'origine de l'eau et leurs présences sont très influencées sur la conductivité électrique des eaux. Les formes les plus répandues des chlorures dans l'environnement sont le chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ), le chlorure de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) et le chlorure de potassium ( $\text{KCl}$ ). Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) sont quantitativement prépondérants dans l'eau de mer (19 g/l). La teneur en ions chlorures dépend fortement de l'origine de l'eau et de la nature du terrain. Ils contribuent à la conductivité électrique des cours d'eau. Les chlorures donnent une saveur désagréable à

l'eau surtout en présence de sodium, calcium et magnésium. Un taux élevé en chlorure peut être à l'origine de phénomène de corrosions des canalisations et des réservoirs.

En outre les ions sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) sont liés aux cations majeurs : calcium, magnésium et sodium. À part ceux du plomb, du baryum et du strontium, la plupart des sulfates sont solubles dans l'eau. Ils peuvent néanmoins être réduits en sulfure, volatilisés dans l'air en hydrogène sulfure ( $\text{H}_2\text{S}$ ), précipité en sel insoluble ou assimilé par des organismes vivants. La concentration en sulfates dans les eaux naturelles est très variable, mais ne dépasse généralement pas le gramme par litre ( $<1 \text{ g/L}$ ). Les sulfates peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles. L'origine de la plupart des composés sulfates est l'oxydation des minéraux de sulfites et la présence de déchets industriels. Le sulfate est un élément important des composés dissous dans l'eau de pluie. Des concentrations importantes en sulfate dans l'eau que nous buvons peuvent avoir un effet laxatif important combiné avec le calcium et le magnésium, les deux composés majeurs de la dureté de l'eau. Le sulfate peut être attaqué par une bactérie qui le réduit en sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Les chlorures existent dans la quasi-totalité des eaux à des teneurs variables. L'équation générale réglant la teneur en  $\text{CO}_3^{--}$  et  $\text{HCO}_3^-$  des eaux est en fonction du pH, du taux de production, du  $\text{CO}_2$  dans le sol, de  $\text{Ca}^{2+}$ , de la température et de la force ioniques des eaux.

Des études ont montré qu'il y a une légère augmentation de  $\text{HCO}_3^-$  vers les régions plus chaudes, et dans une même région diminution de  $\text{HCO}_3^-$  lorsque l'altitude augmente. Par ailleurs, en climat aride, l'évaporation importante augmente la minéralisation, accroissant ainsi la force ionique, d'où la possibilité de celle de  $\text{HCO}_3^-$ .

#### **III-2-4-1. Variations spatiales du ( $\text{Cl}^-$ ), ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et ( $\text{HCO}_3^-$ )**

Les valeurs moyennes enregistrées aux ces dix stations de prélèvement durant quatre saisons climatiques pendant deux années (2017 et 2018) montrent qu'il n'y a pas de variation spatiale importante de chlorures et sulfates. Par contre on note des fluctuations des teneurs en bicarbonates en fonction des sites.

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau de ALG8, ALG 4 et ALG3. Ceux-ci peuvent être expliqués par les activités humaines (rejets des eaux usées domestiques, l'abatage et agricoles) au niveau de ces sites d'étude.

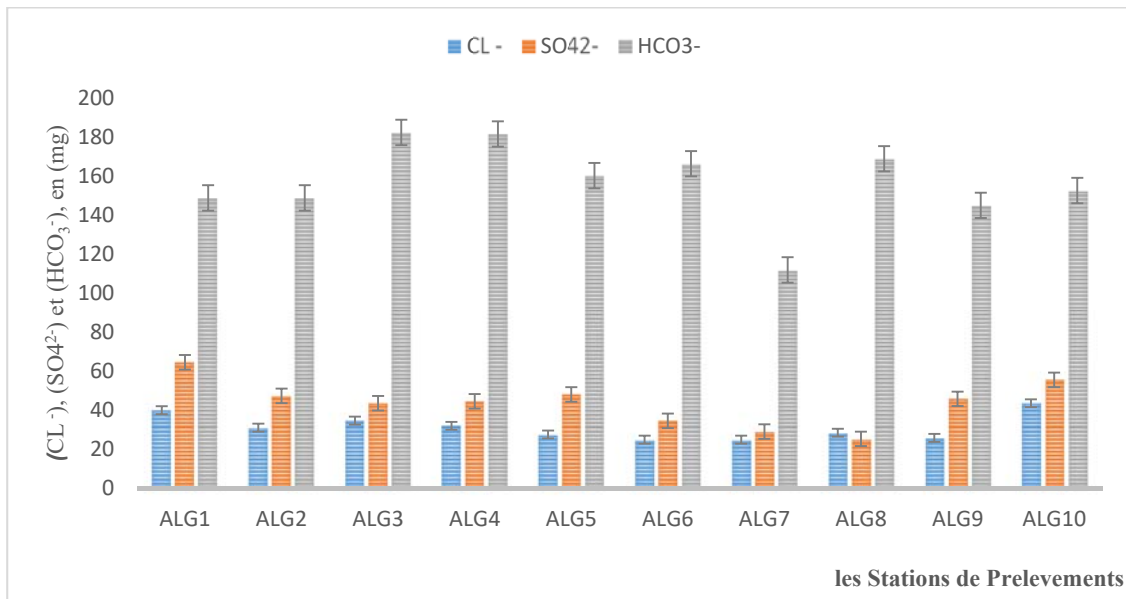


Figure 28 : Variations spatiales du (CL<sup>-</sup>), (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

### III-2-4-2. Variation saisonnières du (CL<sup>-</sup>), (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Les teneurs en sulfates et bicarbonates varient sensiblement en fonction de saisons, ils sont partie des éléments augmentent en période de crue et diminuent aux autres périodes.

L'évolution de ces deux éléments pourrait s'expliquer par la nature lithologique de la région du Trarza (roche calcaire), cette nature favorise la composition des bicarbonates par les eaux de la pluie, ces eaux qui sont une source principale des sulfates. En revanche les teneurs du chlorure est diminuent au crue et augment irrégulièrement aux périodes de l'étiage, ce qu'il peut expliquer par une dilution de ce élément par les eaux de pluie.



Figure 29: Variations saisonnières du (CL<sup>-</sup>), (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

### III-3. Composés Azotés

#### III-3-1. Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) et Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

Ces éléments sont les indications de la pollution grave, les nitrates de formule  $\text{NO}_3^-$  sont des sels d'acide nitrique. Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/L. La présence des nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais), urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement) ou industrielle, sont également les principaux responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques. Ils peuvent être à l'origine de la formation de nitrites et de nitrosamines qui sont responsables de deux phénomènes potentiellement pathologiques : la méthémoglobinémie et un risque de cancer.

L'ion nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) est la principale source d'azote inorganique trouvée dans les eaux naturelles. L'ion nitrite s'oxyde facilement en ion nitrate et se retrouve ainsi rarement en concentration importante dans les eaux naturelles. Les nitrites sont toxiques pour l'organisme humain. Ce sont de puissants oxydants qui ont la capacité de transformer l'hémoglobine en méthémoglobine rendant ainsi le sang incapable de transporter l'oxygène jusqu'aux tissus. De tels effets ont été observés chez de nombreuses espèces animales. La présence en quantité importante de nitrites dégrade la qualité de l'eau. Sont désignées sous le terme ammoniac des formes ionisées (ion ammonium,  $\text{NH}_4^+$ ) et non ionisées ( $\text{NH}_3$ ). L'azote ammoniacal est assez souvent rencontré dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il constitue un des maillons du cycle de l'azote. L'ammoniaque est un gaz soluble dans l'eau, mais suivant les conditions de pH, il se transforme, soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée.

La présence d'azote ammoniacal en quantité relativement importante peut être l'indice d'une pollution par des rejets d'origine humaine ou industrielle (industries chimiques, engrais, azotés, cokeries, fabrique de glace, industries textiles... etc).

#### III-3-1-1. Variations spatiales du ( $\text{NO}_3^-$ ), ( $\text{NO}_2^-$ ) et ( $\text{NH}_4^+$ )

Comme l'on connaît ces éléments sont en générale d'origine indésirable. Durant la période de notre étude les teneurs des nitrates sont reste très faible en comparaison avec la valeur fixée par l'OMS de l'eau potable. Avec une variation spatiale négligeable.

En outre les deux éléments toxiques nitrite et ammonium sont enregistrés des valeurs importantes dépassant les grilles de l’OMS pour le premier élément, ce qui présente des indicateurs de risque sur la santé publique sur les populations buvant les eaux du lac d’Aleg et pour la recharge de la nappe souterraine.

Les valeurs moyennes enregistrées aux toutes les stations durant notre étude montrent que ces éléments augmentent au niveau des stations ALG9, ALG6 et ALG5 qu’elles sont les emplacements des eaux usées (l’urée : l’origine principale d’ammonium), déchets animaux (l’origine principale de nitrite).

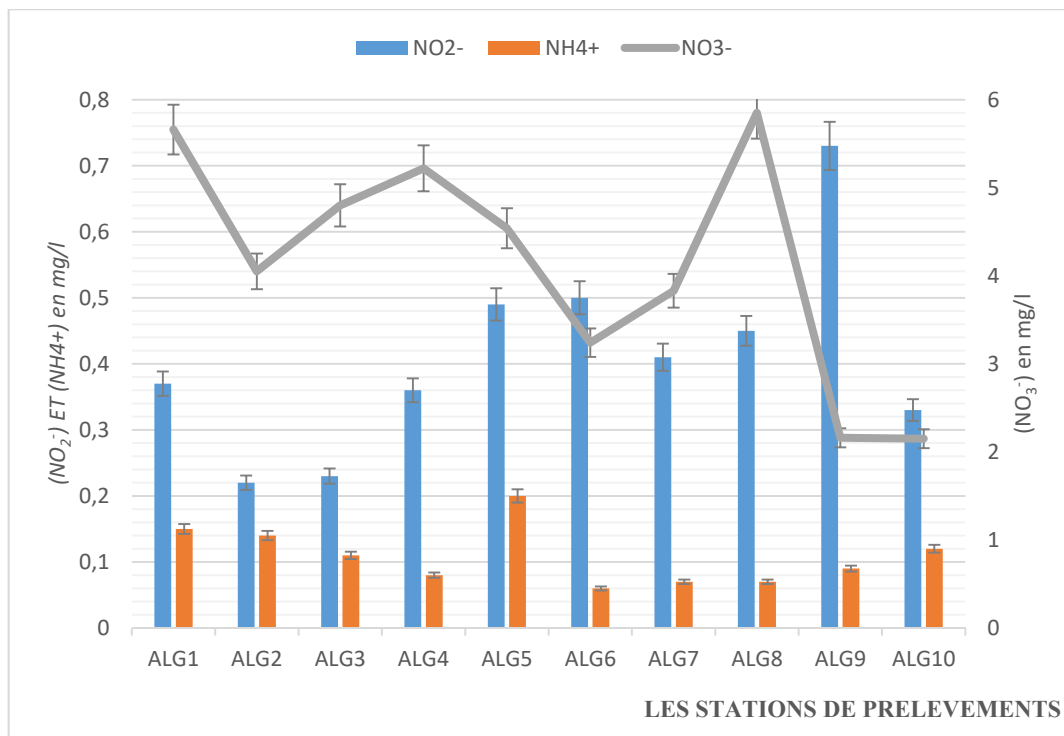


Figure 30 : Variations spatiales du (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

### III-3-1-2. Variations saisonnières du (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Les valeurs moyennes de ces éléments enregistrées durant notre étude, montrent que ces éléments débutent avec des valeurs élevées au période sèche du 2017, des valeurs plus basses au saison humide de même année et enregistrent des pics au période sèche. Après la saison humide du 2018, ces éléments sont réduits au période sèche et remontent au saison humide du 2018, de même année et enregistrent des pics au saison humide 2018.

Cette situation pourrait s’expliquer au saison humide par le phénomène du lessivage du sol chargées au engrais et divers déchets humaines et animaux, en notant que les saisons humides subissent une campagne d’agriculture et des déchargements intensifs des canaux de déversement des eaux usées « **Lkndir** » ce qu’il peut causer l’augmentation de ces éléments.

En outre le redescendre de ces éléments aux autres périodes, due à une parité du phénomène de l'autoépuration qu'elle permet à un écosystème aquatique équilibré de transformer ou d'éliminer les substances (essentiellement organiques) qui lui sont apportées (apports naturels et pollution). montrent que ces éléments débutant avec des valeurs basses au période sèche de 2017, des valeurs plus basses au saison humide de même année.

Les valeurs moyennes de nitrate et ammonium enregistrées durant notre étude montrent que ces éléments varient de façon irrégulière d'une année à l'autre. En outre les teneurs de l'élément toxique nitrite évalué croissent d'une année à l'autre, d'une valeur moyenne de 0,0147 mg/l il devient compris 0,85 mg/l à 2018.

Ce qu'il peut considérer des vrais indicateurs des risques sur la qualité des eaux du lac d'Aleg. En outre l'accumulation de ces espèces peut expliquer la migration des eaux du lac vers la minéralisation.

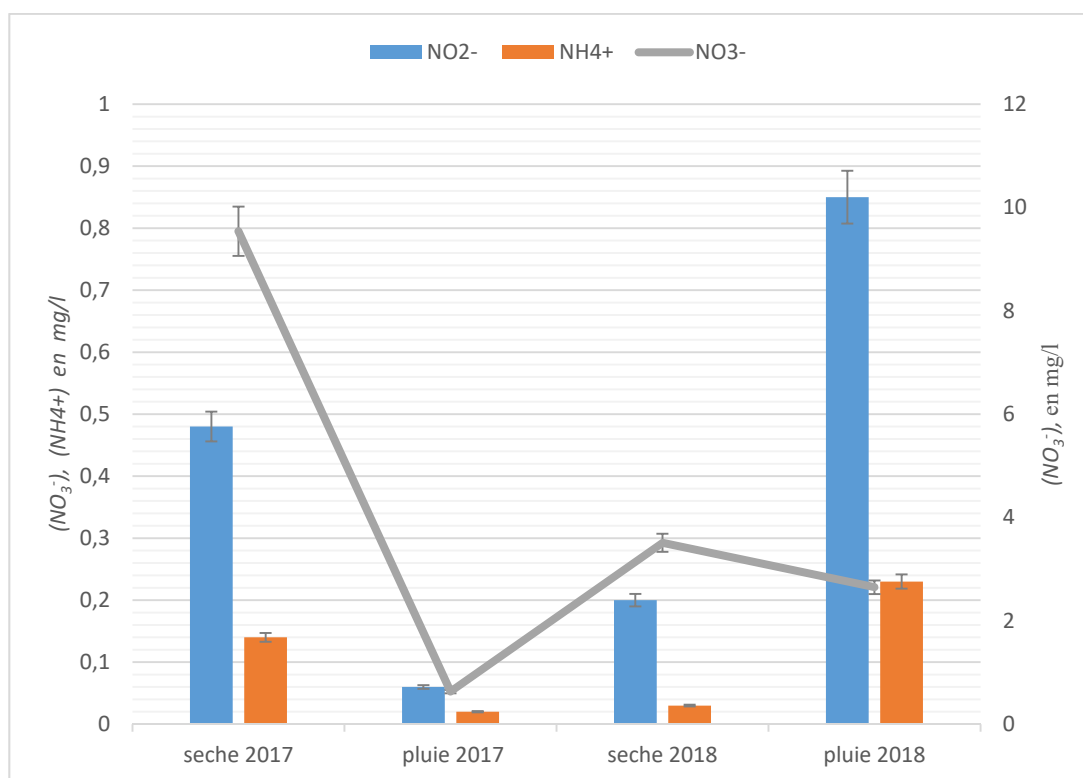


Figure 31: Variations saisonnières du (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

#### III-4. Micropolluants Minéraux

Au total, 4 micropolluants minéraux ont été recherchés (Fe, Cu, Mn et Al) dans les eaux du lac d'Aleg durant la période de 2016-2018.

Tableau 31 : concentration des micropolluants minéraux dans les eaux du lac d'Aleg

Stations	Fe(mg/l)	Cu(mg/l)	Mn(mg/l)	Al(mg/l)
<b>Fevrier 2017(Sec)</b>				
ALG1	0,6	0,48	0,008	0,03
ALG2	1,8	0,3	0,008	0,06
ALG3	0,9	0,34	0,005	0,03
ALG4	2	0,14	0,007	0,06
ALG5	1,4	0,62	0,008	0,03
ALG6	1,2	0,34	0,006	0,13
ALG7	0,8	0,2	0,006	0,02
ALG8	1	0,16	0,011	0,02
ALG9	1,2	0,26	0,007	0,07
ALG10	2,2	0,2	0,008	0,03
<b>September 2017 (saison humide)</b>				
ALG1	0,22	0,68	0,001	0,14
ALG2	0,18	0,58	0	0,03
ALG3	0,14	0,22	0	0,1
ALG4	0,06	0,08	0	0,1
ALG5	0,08	0,04	0	0,04
ALG6	0,11	0,06	0	0,02
ALG7	0,09	0,06	0	0,02
ALG8	0,7	0,06	0	0,03
ALG9	0,06	0,1	0	0,02
ALG10	0,48	1,15	0,007	0,4
<b>Fevrier 2018(Sec)</b>				
ALG1	7,9	14,5	0,002	1,13
ALG2	3,4	10	0,003	0,6
ALG3	3,6	10	0,001	1,4
ALG4	8,8	21,5	0,003	1,9
ALG5	1,8	3,3	0,003	1,6
ALG6	1,1	0,8	0,001	0,14
ALG7	SEC	SEC	SEC	SEC
ALG8	SEC	SEC	SEC	SEC
ALG9	3,5	25	0,001	0,8
ALG10	3	20,5	0,002	0,2
<b>September 2018 (saison humide)</b>				
ALG1	0,01	19,2	0,016	0,49
ALG2	0,78	19,5	0,002	0,19

ALG3	0,02	12	0,005	0,3
ALG4	0	12	0,003	0,27
ALG5	0	5,2	0,005	0,3
ALG6	0,02	10	0,008	0,4
ALG7	0	14	0,011	0,45
ALG8	0	9	0,013	0,45
ALG9	0,01	11	0,018	0,4
ALG10	0,05	9,6	0,016	0,259

Ces micropolluants minéraux généralement trouvées dans les eaux du Lac d'Aleg un des teneurs très faibles respectent les normes de l'OMS pour l'eau potable à l'exception du cuivre et aluminium qui dépassent les normes de OMS.

L'ion fer enregistré leurs grandes valeurs moyennes à la station du ALG1 et ALG 9, les deux stations se trouve à la renter du lac d'Aleg et la présence dominant des populations jettent leurs déchets et urine dans le lac. En autre le magnésium trouve en pique à la station d'agriculture ALG 8 et ALG 10.

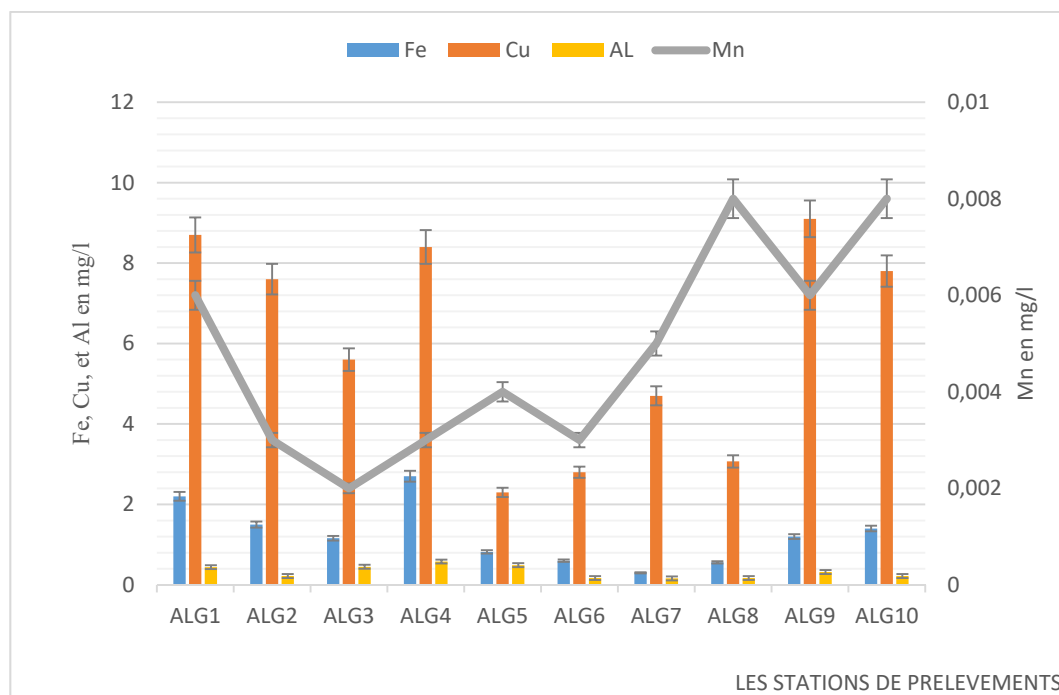


Figure 32 : Variations spatiales du Fe, Cu, Mn et Al.

En autres ces micropolluants sont au l'ordre 1 en périodes sèche et humide ce qu'il peut causer par le lessivage du train chargées déchets humaines et agricoles. Seulement le Fer enregistré leur valeur plus grand au période sec chaud. le Cu enregistré leur valeur plus grand au deux périodes sèche et humide de l'année 2018.



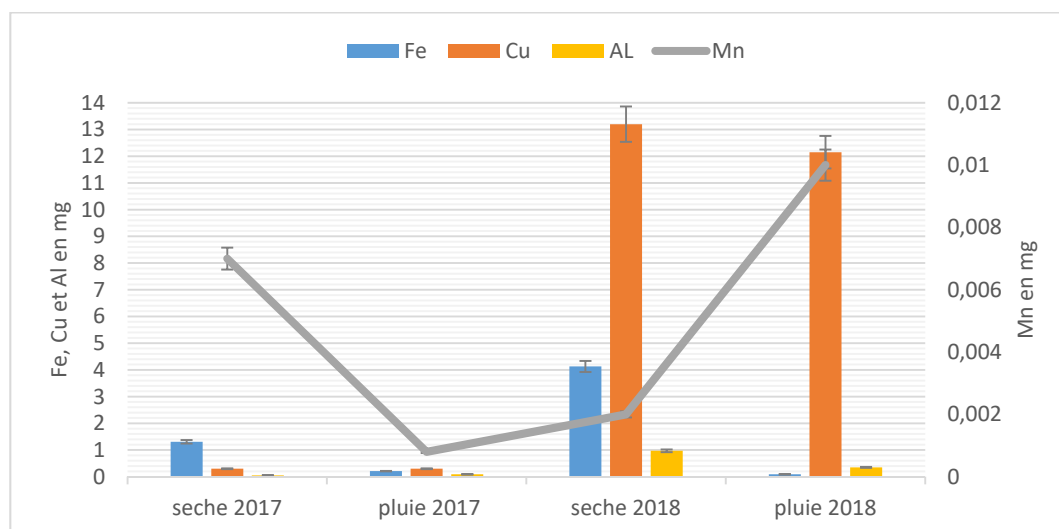


Figure 33 : Variations saisonnières du Fe, Cu, Mn et Al.

#### IV. FACIES HYDROCHIMIQUES DES EAUX DU LAC D'ALC DE MAURITANIE

Afin de mieux comprendre le chimisme des eaux du lac d'Aleg (Aleg, Mauritanie), nous avons fait appel à différentes représentations graphiques tel que le Diagramme de Piper et le Diagramme de Schoeller-Berkaloff. Dans le but de bien identifier les faciès hydro chimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper et à celui de Schoeller-Berkaloff. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel « Diagrammes », conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon).

Les deux graphiques, Schoeller-Berkaloff et Piper sont les représentations des concentrations en ions majeurs les plus courantes. Chacune de ces représentations a ses avantages et ses inconvénients et il convient de rester critique vis à vis de l'interprétation qui est faite, selon que l'on cherche à caractériser un faciès particulier, à comparer différentes eaux entre elles, ou à mettre en évidence la stabilité d'une eau dans le temps (MFEI, 1996 ; OULD MOHAMEDOU, 2010).

##### IV-1. Diagramme de Piper

###### IV-1-1. Principe

La méthode Piper classait les eaux, sur des diagrammes ternaires à partir de leur teneur en Cations [ $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , ( $Na^+$  et  $K^+$ )] et en anions [ $SO_4^{2-}$ , ( $HCO_3^- + CO_3^{2-}$ ), ( $Cl^- + NO_3^-$ )] exprimés en pourcentage (%). Un échantillon d'eau est donc représenté par un point dans le

diagramme triangulaire des cations et un deuxième point dans le diagramme triangulaire des anions. De ces deux points, Piper trace deux droites (chacune d'elles parallèle à l'un des côtés de ces triangles) qui se coupent dans un domaine losangique (MFEI, 1996). Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau concernée, par exemple, **eaux bicarbonatées calciques** ou **eaux carbonatées sodiques et potassiques**.

#### **IV-1-2. Les avantages et les inconvénients du diagramme de Piper**

L'avantage du diagramme de Piper c'est qu'il permet de représenter sur un même graphique de nombreuses analyses autorisant des regroupements par famille présentant des faciès similaires. Ce point peut s'avérer particulièrement intéressant dans le cadre du suivi de la qualité d'une eau dans le temps, pour lequel on dispose de plusieurs analyses physicochimiques, ou dans le cadre d'études régionales de comparaison de divers points.

Le diagramme de Piper est également intéressant pour juger de l'importance relative de précipitations ou dissolution d'éléments majeurs entre deux analyses. Le simple déplacement de position d'un ion parallèlement au côté d'un triangle traduit un enrichissement ou un appauvrissement relatif de l'eau pour l'ion concerné. Le problème majeur de représentation des analyses de l'eau par diagramme de Piper vient du fait que les analyses sont reportées sous forme de pourcentage, ainsi l'effet de dilution (variation de la concentration absolue) n'est pas immédiatement perceptible.

Il convient d'être prudent dans la comparaison des qualités physicochimiques de deux échantillons distincts (OULD MOHAMEDOU, 2010)

#### **IV-1-3. Résultats et interprétation**

Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente (Andreu et al, 2010), ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants, par une approche

descriptive et comparée qui permet de représenter sur un même graphique un grand nombre de stations de suivi autorisant des regroupements par famille présentant des faciès similaires. Les eaux du lac d'Aleg ont une faible minéralisation alors la présentation de ces eaux par Piper va utiliser en coté de la simulation et de la comparaison des eaux spatialement et périodiquement pour savoir les faciès chimique dominants à chaque station et chaque saison climatique. La présentation des résultats d'analyses physicochimiques globale des toutes les stations a tous les périodes de l'étude indique les présences des faciès chimiques différents (Figure 40).

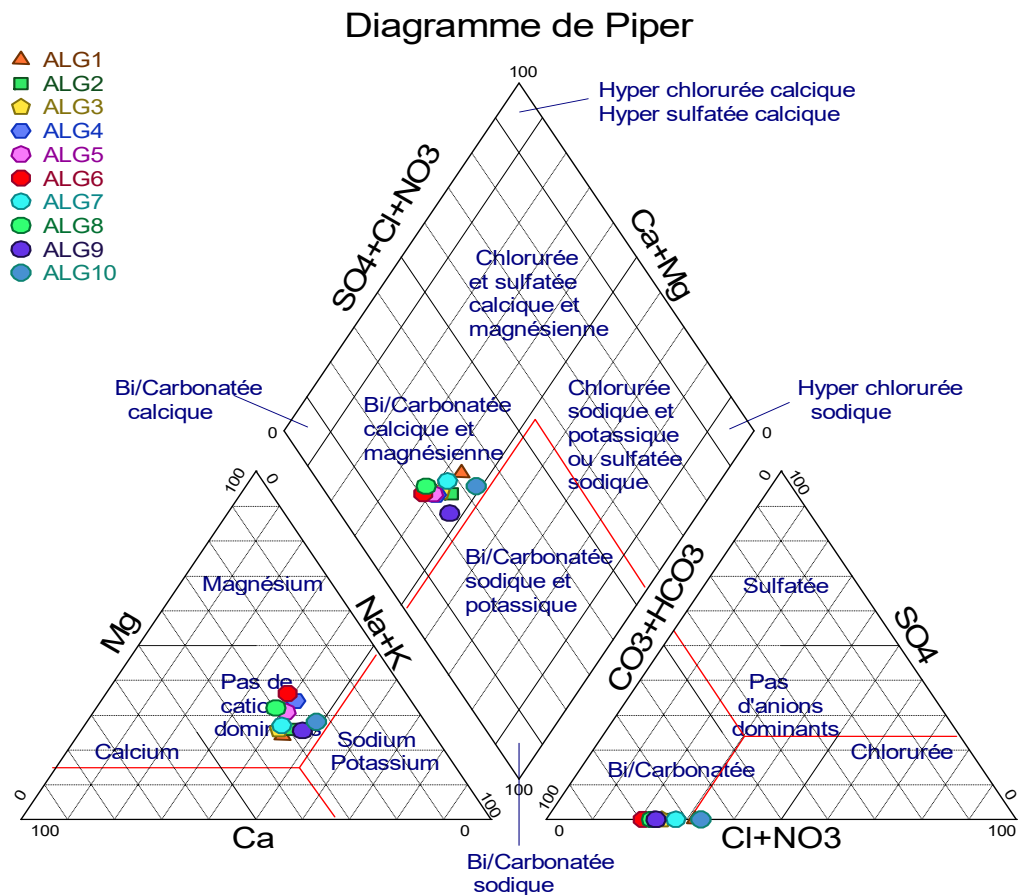


Figure 34 : Diagramme du Piper des analyses globales des eaux du lac d'Aleg.

Pour avoir une idée sur ces faciès, une présentation des résultats moyennes des stations des prélèvements (ALG1, ALG2,... et ALG10) (Figure 35) permis de remarqué que les eaux du lac d'Aleg en général ont :

- Un faciès Bicarbonates calcique et magnésienne pour les eaux aux tous stations du prélèvement, sans cations dominants pour le triangle des cations, tandis que le triangle des anions montre que les anions chlorures et bicarbonates sont dominants.



## Diagramme de Piper Yahya Maham Ould Sidi

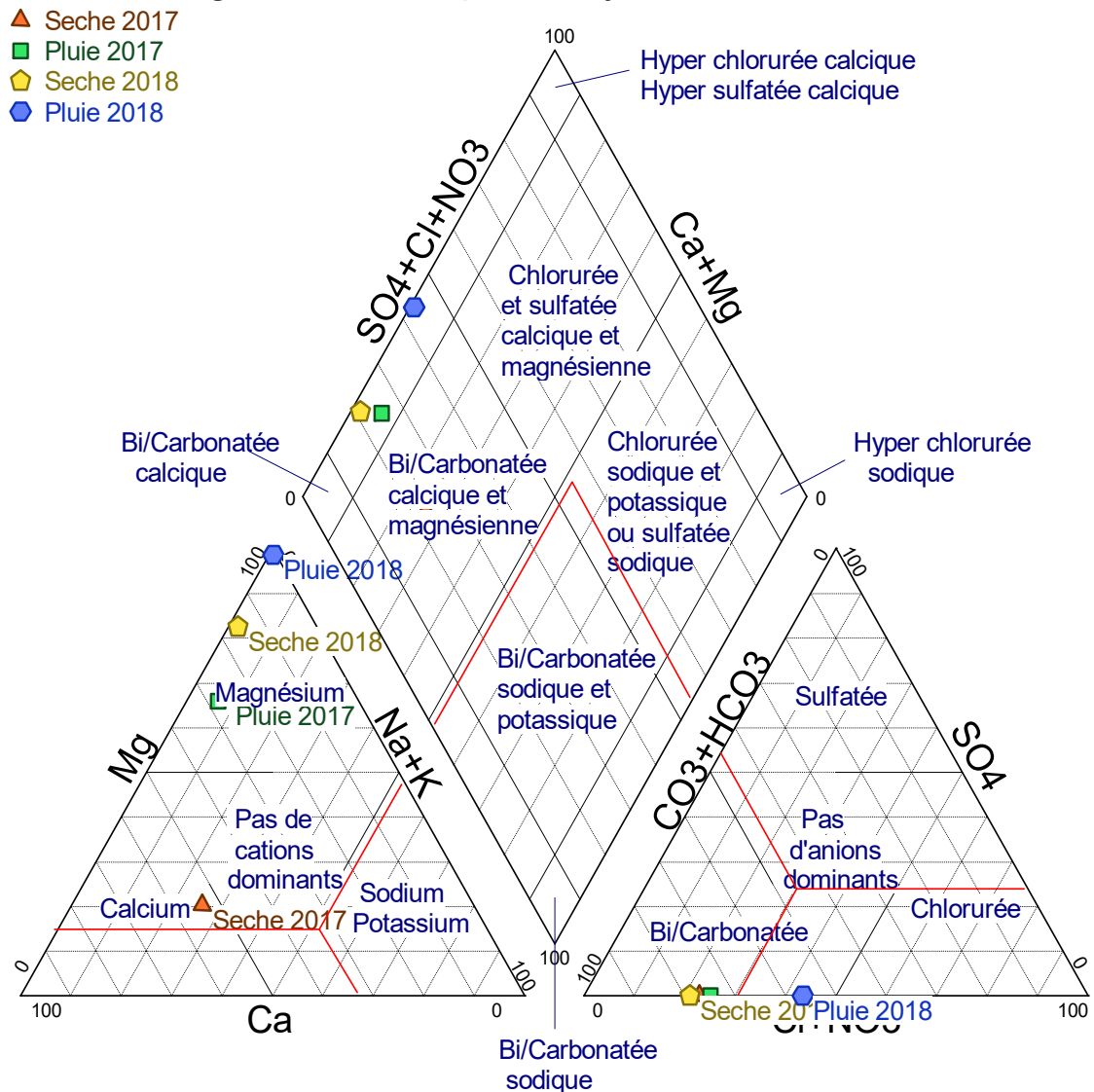


Figure 36 : Diagramme du Piper des moyennes des résultats des périodes d'étude

### IV-2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

#### IV-2-1. Principe

Il se compose de sept échelles verticales équidistantes, dites principales, désignées par les Symboles  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+})$ ,  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $(\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{2-})$  et  $\text{NO}_3^{-}$ . La figuration sur le diagramme semi-logarithmique de la composition chimique d'un échantillon d'eau se fait à l'aide des éléments relevés sur le bulletin de l'analyse. Les teneurs de ces éléments chimiques sont reportés à vue sur les échelles correspondantes,

#### **IV-2-2. Les avantages et les inconvénients du diagramme de Schoeller-Berkaloff**

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet la représentation de plusieurs analyses sur le même graphique. Il y a superposition des droites obtenues si les concentrations sont identiques et décalage relatif des droites les unes au-dessus des autres dans le cas contraire. Un autre avantage de ce type de diagramme de présenter à la fois les concentrations en mg/L et en méq/L. Un inconvénient du diagramme de Schoeller-Berkaloff réside dans le fait que la comparaison de deux eaux peut amener à considérer que les faciès physico-chimiques sont similaires alors que les écarts de concentrations relatives en un ou plusieurs éléments sont significatifs (MEFI, 1996).

#### **IV-2-3. Résultats et interprétation**

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

Les teneurs moyennes des éléments majeurs des eaux surfaces de cinq stations des prélèvements étudiés des eaux du lac d'Aleg (Ville d'Aleg) ont été représentées sur le diagramme de Schoeller-Berkaloff (Figure 37).

Le diagramme des valeurs moyennes de chaque station montre une superposition de lignes relatives des tous les stations, qui signifie qu'il n'y a pas de changement des faciès chimiques. Les concentrations les plus élevées dans les dix stations étudiés sont les bicarbonates pour les anions et la somme des ions calcique et magnésienne pour les cations ce qui explique le faciès Bicarbonates calcique et magnésienne comme faciès globales pour les eaux étudiées du lac d'Aleg.

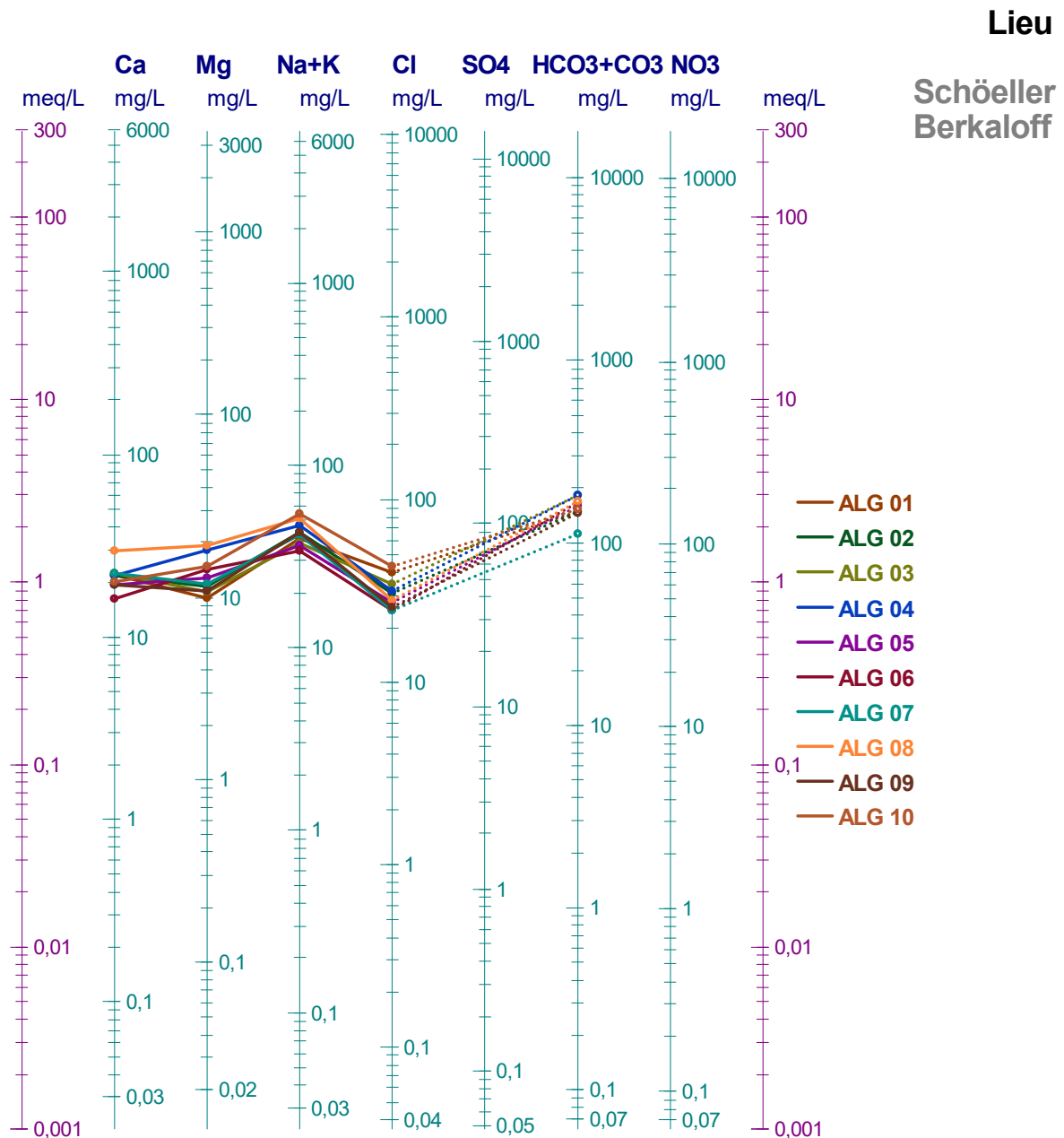


Figure 37: Diagrammes de Schoeller-Berkaloff des eaux étudiées du lac d'Aleg (les moyennes des stations des prélèvements).

En outre, le diagramme du Schoeller-Berkaloff représenté les moyennes de l'eau analysée aux quatre périodes d'étude montre que les concentrations les plus élevées dans les deux périodes secs sont le calcium et le magnésium pour les anions et le l'anhydride carbonique et le bicarbonate pour les cations ce qui explique le faciès Bicarbonates calcique et magnésienne dominant au ces périodes.

Et pour les deux saisons humides présentent par diagramme du Schoeller-Berkaloff on constate que les concentrations les plus élevées dans ces deux périodes sont les bicarbonates pour les

anions et la somme des ions le calcium et magnésium pour les cations ce qui explique le faciès bicarbonatés calcique et magnésienne.

En effet les périodes secs sont plus long que la saison humide ce qui explique la migration de ces eaux vers un faciès bicarbonatés calcique et magnésienne.

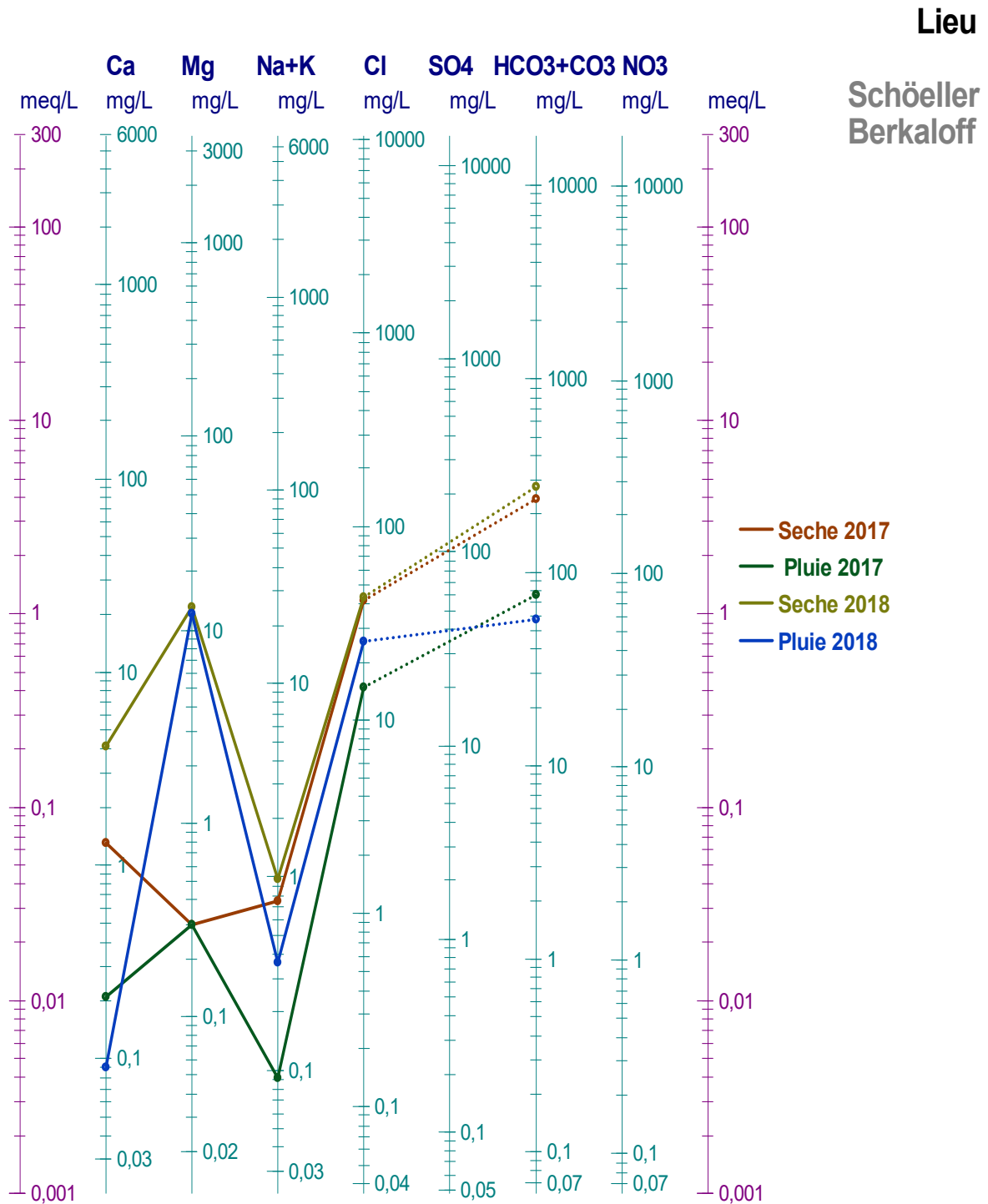


Figure 38 : Diagrammes de Schoeller-Berkaloff des eaux étudiées lac d'Aleg (les moyennes des périodes d'étude).



## VI. ANALYSES COMPARATIVE

### VI-1. Comparaison du lac d'Aleg avec les eaux commerciales en Mauritanie

Les eaux de surface du lac d'Aleg peut être utilisées pour la production des eaux potables pour approvisionnée la ville d'Aleg.

Pour ces raisons on propose de comparer les eaux du lac d'Aleg avec les eaux de sources naturelles et les eaux minérales naturelles commercialisé au Mauritanie.

La comparaison de la concentration moyenne des eaux du lac d'Aleg prélevées au l'année 2017 et 2018 avec 10 types des eaux commerciales sont les plus connue au Mauritanie tel que : Tayba, Es Sava, El-Kawther, maa-Rim, Saha, Tijirit, Akchar, Tasiasset, Kneiba, Essavi..... et le lac etc (Tableau 32). Les résultats de cette tableau montre que :

- ❖ Tous les sels minéraux dans ces eaux commerciale, fleuve Sénégal et lac d'Aleg de Mauritanie sont confirmé les normes de l'OMS de l'eau potable ;
- ❖ Généralement les eaux du Mauritanie ont une minéralisation faible à moyenne ;
- ❖ La richesse en sels est la plus élevée pour les eaux d'Akchar et Saha qui sont de la même source et sont très riche en bicarbonates ;
- ❖ Les teneurs cations tel que le calcium le magnésium, sodium et potassium sont plus faible aux eaux du fleuve Sénégal que toutes les eaux commerciales par contre plus moins élevées au lac d'Aleg par rapport aux toute les eaux commerciales sauf les teneurs de sodium Tayba et Akchar .
- ❖ On note aussi que pour les anions, les eaux du lac d'Aleg sont très riches en sulfates (43,78 mg/l) que les autres eaux, le chlorure et les bicarbonates sont plus élevés aux eaux commerciales qu'eaux du fleuve Sénégal à l'exception des eaux d'Es-savi pour les chlorures et Kneiba pour les bicarbonates. En autre les teneurs des nitrates sont généralement le plus élevée au lac et similaires aux tous ces eaux ;
- ❖ La composition minérale des eaux du lac d'Aleg et les eaux fleuve Sénégal est acceptable en comparaison avec ces eaux qui sont identifiés comme des eaux minérales au pays

Tableau 32 : Teneurs des sels des différentes eaux commercialisées au Mauritanie en comparaison avec les eaux du fleuve Sénégal et les eaux du lac d'Aleg de Mauritanie

	Tayba	Essava	El-Kawther	Maa-Rim	Saha	Tijirite	Tasiast	Kneiba	Es-savi	Akchar	Fleuve-Senegal	Lac D'Aleg
<b>pH</b>	7,88	7,42	6,5	8,16	7,3	7,5	...	7,8	7,4	7,3	6,79	<b>7,42</b>
<b>Calcium</b>	18	20,84	8	30,46	17,6	20	48,1	16,5	13,9	17,6	6,77	<b>21,47</b>
<b>Magnesium</b>	8,4	5,83	5,9	14,09	7,29	8,6	2,92	7,9	3,8	7,29	4,32	<b>13,42</b>
<b>Sodium</b>	30,5	19	20	29	34	11,2	37	31	20,8	34,2	9,8	<b>29,51</b>
<b>Potassium</b>	6,5	3	4,6	3	2	4,5	3	2,6	6,2	2	4,86	<b>13,5</b>
<b>Sulfate</b>	.....	1,497	...	...	15,96	...	32	5	6,2	15,96	30,1	<b>43,78</b>
<b>chlorure</b>	52	85,2	20	21,3	24,9	52	47	25	14,5	24,9	15,18	<b>31,24</b>
<b>Nitrates</b>	...	1,896	1	2,3	3,88	0	2,7	1	..	3,88	1,438	<b>4,15</b>
<b>Bicarbonates</b>	...	73,2	..	..	280,6	..	..	50	66	280,6	61,81	<b>156,5</b>

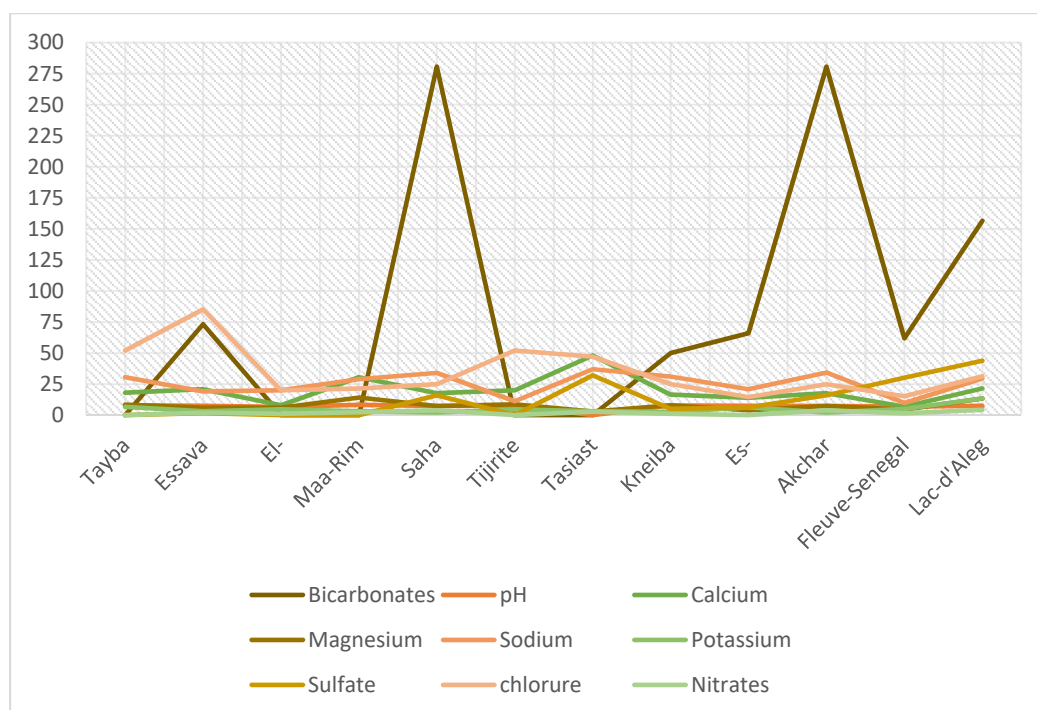


Figure 39 : Teneurs des sels des différentes eaux commercialisées au Mauritanie en comparaison avec les eaux du lac d'Aleg.

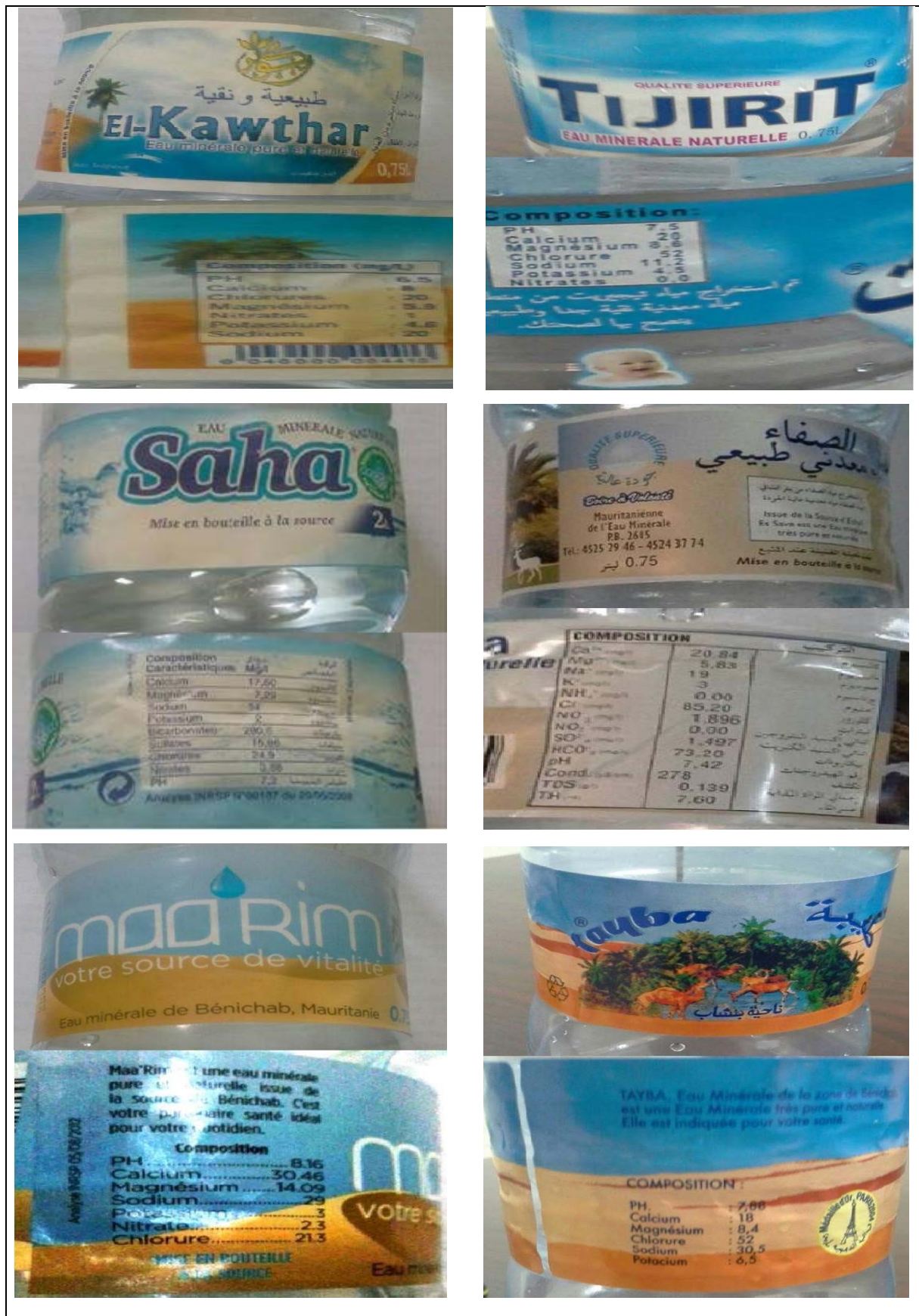


Planche 6 : les eaux commerciales au Mauritanie (El-kawther, Tijiritt, Es-Sava, Saha, Maa-Rim et Tayba).



Planche 7 : les eaux commerciales au Mauritanie (Es-savi, Tasiast, Kneiba et Akchar).

## VI-2. Comparaison les eaux du lac d'Aleg avec les principales rivières en Afrique

Dans la plupart des pays en voie de développement sur tous les pays africains, les eaux de surface subissent une dégradation notable de leur qualité. En effet, les eaux usées des villes sont évacuées d'une façon précaire et sans traitement préalable dans les eaux de surface. Ces rejets contiennent des concentrations importantes de micropolluants organiques, de nutriments et des

éléments traces métalliques souvent à des doses toxiques, et entraînent ainsi une dégradation considérable de la qualité des eaux des Oueds (Derwich et al, 2010).

A ce jour, l'état des rivières et des estuaires africains a été très peu étudiée, alors qu'ils sont le lieu d'une grande évolution démographique et reçoivent volume croissant de déchets, en particulier des eaux usées domestiques (Banque Mondiale, 2013).

Dans cette partie d'étude on va essayer de réaliser une comparaison entre nos résultats d'étude sur les eaux du lac d'Aleg avec les différents cours d'eau (fleuves, rivières et lacs) en Afrique, pour objet classifiée ce lac selon le degré de minéralisation et pollution. Ces cours d'eau sont :

- **Oued Sbou de Fès/Maroc** : Le Sebou est l'un des fleuves les plus importants du Maroc. Il prend naissance dans le massif montagneux du moyen Atlas à 2030 m d'altitude et s'écoule sur 600 km pour finir dans l'océan Atlantique. Son bassin versant, situé au nordouest du Maroc, s'étend sur près de 40 000 Km<sup>2</sup>. Il est limité au nord par le front sud de la chaîne du Rif, au sud par le moyen Atlas, à l'Est par le couloir Fès — Taza, et l'océan Atlantique à l'Ouest. L'agglomération de Fès, est l'un des principaux centres urbains du bassin. Sa situation sur la vallée de l'oued Fès, affluent du Sebou, et aussi sur la large vallée du Sebou était le principal critère de sa création au cours du règne d'Idriss I<sup>er</sup> en 789. Son cadre naturel assurait l'adduction de l'eau dans les différents quartiers de la ville (HAYZOUN, 2014).
- **L'Oued du Seybouse de Guelma/Algérie** : La Seybouse est l'un des Oueds les plus importants de l'Algérie par la longueur de son parcours, le nombre de ses affluents et la superficie de son bassin qui couvre au total une superficie de 6471 m<sup>2</sup>. Il possède trois parties bien différentes : (1) les hautes plaines (Haute Seybouse), (2) le tell méridional (Moyenne Seybouse) et (3) le tell septentrional (Basse Seybouse). Le nom de Seybouse ne s'applique qu'à une partie de son cours. La Seybouse a ses origines les plus éloignées de la mer dans les hautes plaines de Heracta et des Sellaoua qui s'étalent à une altitude de 800 à 1000 m. Il draine des reliefs assez simples avec des écoulements lents (KHADRI, 2009).
- **L'Oued du Ghazala de Fernana/Tunisie** : C'est l'un des effluents de Oued Mjerdah, cours le plus important au Tunisie. Il est situé de la rive gauche de la Mejerdah par l'intermédiaire de l'oued Bouhertma, se trouvant plus à l'ouest. Il coule à proximité du village de Fernana, au revers sud de la chaîne de Khroumirie (sur la route de Jendouba à Aïn-Draham). Le

secteur d'étude est situé à 500 m en amont du pont dressé sur la route indiquée et à 250 m d'altitude (Kraïem, 1986).

- **Le Fleuve Chari de N'Djamena/Tchad :** Le Chari, un des plus importants cours d'eau d'Afrique centrale, prend sa source en République centrafricaine, anciennement Oubangui-Chari. IL joue le rôle de frontière centrafrico-tchadienne sur presque tout son parcours. Après avoir traversé la moitié sud du Tchad du sud-est vers le nord-ouest, et baigné sa capitale N'Djamena, le Chari se jette dans le lac Tchad, Son bassin versant plus de 600 000 km<sup>2</sup>. Tout au long de ce parcours il y a un phénomène de dégradation de la qualité des eaux qui est dû au fait que de nombreuses substances issues des rejets industriels et ménagers ne sont pas biodégradables et/ou ne le sont que dans des conditions très particulières (NGARAM, 2011).
- **Le fleuve Niger de Niamey/Niger :** le fleuve Niger, prend sa source dans les montagnes du Fouta Djallon en Guinée à une altitude de 800 m environ et s'écoule dans une direction Nord-Est. Il est en longueur le troisième fleuve d'Afrique après le Nil et le Congo et le neuvième au monde avec 4 200 km dont 550 km en territoire nigérien. Le bassin du Niger couvre dix pays pour une superficie active de 1 500 000 km<sup>2</sup> Neuf de ces pays sont organisés au sein d'une structure appelée Autorité du Bassin du Niger (ABN). Il s'agit du Bénin, du Burkina Faso, du Cameroun, de la Côte d'Ivoire, de la Guinée, du Mali, du Niger, du Nigeria et du Tchad (ALHOU, 2007).
- **Cours d'eau d'Adiaké/Côte d'Ivoire :** La région d'Adiaké est située dans le Sud-Est de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 5 ° 04 et 5 ° 28 Nord et les longitudes 2 ° 43 et 3 ° 32 Ouest. Elle est limitée à l'Est par le Ghana, à l'Ouest par la région de Bonoua, au Sud par l'Océan Atlantique et se prolonge dans le sud de la région d'Aboisso. L'approvisionnement en eau potable des populations de la région d'Adiaké se fait à partir des eaux souterraines et de surface. Et la région d'Adiaké, ont montré une forte activité anthropique (EBLIN, 1997).
- **Le fleuve Sénégal de Rosso/Mauritanie :** Ce fleuve né dans le massif de Fouta-Djalou en République de Guinée, et se jette dans l'océan Atlantique après quelques 1770 km de parcours. Il est le deuxième grand fleuve d'Afrique de l'ouest après le Niger (4 200 km). Son bassin versant fait 337 000 km<sup>2</sup> et s'étend sur quatre pays (Guinée, Mali, Mauritanie, Sénégal). Ses principaux affluents, le Bafing 750 km, le Bakoye 562 km et la Falémé

625 km. La zone du delta du fleuve se situe à l'Ouest du Trarza au Mauritanie en aval de la vallée du fleuve, à partir de la zone d'élargissement de la basse vallée, juste en amont de la ville de Rosso. Cette ville est la ville la plus dynamique dans la zone et le milieu reçoit des rejets domestiques et rejets industriels (Fatimetou Salma et al, 2016).

- **La rivière de Vina-Nord de Ngaoundéré/Cameroun :** la Vina-Nord prend sa source dans le massif de l'Adamaoua au Ngaou-Djam à 1435 m d'altitude. Son bassin supérieur est composée de Bini et son cours traverse plusieurs zones de marécages dont le lac Bini, gonflé de Mabanga avec pour branche principale Soumsoum qui prend sa source au cœur de la ville de Ngaoundéré (AGUIZA et al, 2014).
- **La rivière Gombe de Kinshasa/Congo :** la rivière Gombe, l'un des affluents du fleuve Congo. Il a d'une grande importance environnementale, en effet ce petit cours d'eau traverse des quartiers de fortes concentrations des populations et charrie à lui seul, des décharges polluantes des eaux ménagères, des eaux-vannes et d'autres déchets domestiques. Cette rivière fait partie intégrante de la région de KINSHASA de la république démocratique du Congo d'Afrique centrale (AKATUMBILA et al, 2016).
- **Le fleuve Sénégal** est un fleuve d'Afrique de l'Ouest au régime tropical, long de 1750 Km (1 750 kilomètres), qui prend sa source en Guinée à 750 mètres d'altitude. Il arrose le Mali, Puis la Mauritanie et le Sénégal, tout en servant de frontière entre ces deux pays, avant de De se jeter dans l'océan Atlantique à Saint-Louis.
- **Le lac d'Aleg de Mauritanie** se situe au sud-ouest de la Mauritanie, à l'extrémité orientale du bassin sénégalo-mauritanien. Il fait partie de la Moughataa d'Aleg, elle-même située dans la Wilaya du Brakna. De par sa richesse hydrique et floristique, Le lac d'Aleg serait une relique de l'ancienne vallée du fleuve Sénégal comme le lac de R'Kiz et le lac de Guiers.

Cette vallée est obstruée aujourd'hui vers le nord par des dunes continentales et reçoit au sud l'oued Ketchi qui alimente le lac à partir d'un bassin versant de 3 800 km<sup>2</sup>. Son fonctionnement étant essentiellement pluvial, sa superficie varie avec l'importance des précipitations. Au cours de son extension maximale il atteint 7 000 ha (6 500 en 1969, 1 400 en 1987)

**Tableau 33 : caractérisation physico-chimique des quelques cours d'eau en Afrique.**

Afrique du Nord	Afrique de l'Ouest	Afrique Centrale
-----------------	--------------------	------------------

	Oued Sbou (Maroc)	Oued du Seybouse (Algérie)	Oued du Ghazala (Tunisie)	Fleuve Chari (Tchad)	fleuve Niger (Niger)	Cours d'Adiaké (Côte d'Ivoire)	Lac d'Aleg de Mauritanie	fleuve Sénégal (Mauritanie)	rivière de Vina-Nord (Cameroun)	rivière Gombe (Congo)
pH	7,83	7,540	8	8,36	7,6	7,43	7,42	7,19	7,06	6,51
T	--	24,900	16	29,9	29,4	29,3	25,73	28,6	26,1	26,15
Turb	--	--	16	149,1	--	--	471,9	166	64,05	39,8
CE (µs/cm)	1310	1690	825	92,5	74	84,3	332,4	77,3	1000	397
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	36,4	149,00	131	--	--	6,8	21,47	6,6	--	--
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	39,4	33 700	34	--	--	2,43	13,42	3,32	--	--
Na <sup>+</sup> (mg/l)	106	182,5	101	--	--	16,9	29,51	7,53	--	--
K <sup>+</sup> (mg/l)	8,23	4,5	4,4	--	--		13,5	3,53	--	--
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	2,09	0,580	--	--	2,7	0,23	0,11	0,38	3,1	0,055
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	62,8	2 593	1,1	46	1,19	19,2	4,15	1,2	5,9	16,59
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	--	3 670	--	--	0,01	--	0,41	0,27	--	0,016
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	--	262 580	207	--	--	2,68	156,5	36,1	122	--
CL <sup>-</sup> (mg/l)	173	302,067	73,2	--	--	19	31,24	27,3	--	--
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	46,7	130,453	230,4	--	--	16	43,78	0,88	--	--

La comparaison des caractérisations de ces cours d'eau en Afrique entre eux montre que les cours d'eau sont simultanés selon les grandes régions géographiques en Afrique, la géographie régionale regroupe les pays africains en grands cinq ensembles géographiques différentes, généralement selon la cohérence de la nature géologie des pays le climat de chaque pays. Les trois cours d'eau d'Afrique Septentrionale (Sbou, Seybouse et Ghazala) ont une forte minéralisation avec des fortes espèces chimiques, Les cours d'eau d'Afrique occidentale (Chari, Niger, Adiaké et Fleuve Sénégal) ont une très faible minéralisation et les cours d'eau d'Afrique centrale (Gombe et vina-nord) aussi ont une minéralisation peut dire forte a moyenne.

En outre on note que ces cours sont généralement pollués par les composés azotiques toxiques tel que l'Ammonium et le nitrate, ce qu'il peut expliquer par les grandes quantités des déchets humaines et industrielles jettent aux ces cours.

Le fleuve Sénégal en comparaison avec tous ces cours est un fleuve d'une qualité acceptable avec des indicateurs de risques de pollution par les composés azotés.



Le lac d'Aleg en comparaison avec tous ces cours est un lac d'une qualité acceptable avec des indicateurs de risques de pollution par les composés azotés.

## **VII- CONCLUSION**

Au terme de ce chapitre sur les caractérisations, variations et portabilité des eaux du lac d'Aleg de Mauritanie localisé à la ville du d'Aleg, Mauritanie nous pouvons conclure que :

Les eaux du lac d'Aleg caractérisés par une minéralisation faible avec un faciès Bicarbonates calcique et magnésienne dominant. La comparaison entre les eaux du lac d'Aleg et les normes internationales de l'eau potable tel que les normes de (l'OMS, 2006), (CEE, 2007) et les grille marocains de classification des eaux du surface montre que le lac d'Aleg classé comme un eau d'excellente a moyenne qualité contaminée par les composées azotiques toxique au niveau toutes les stations d'échantillonnage. Ces eaux pour utiliser comme en eau potable sont besoin de traitement de la catégorie A3, selon les normes européens pour les eaux surface douces utilisé pour productions des eaux potables.

En effet, la qualité des eaux du lac d'Aleg est très influencée par les changements climatiques périodiques, clairement on peut distinguer deux groupes d'eau très différents entre eux, l'un a les périodes secs et l'autre a les périodes hivernales.

Ces eaux peuvent classer comme des eaux d'une minéralisation moyenne et acceptable en comparaison avec les eaux minérale commerciales en Mauritanie et en comparaison avec les eaux surfaces de la région d'Afrique d'ouest. Mais en comparaison avec la norme de l'OMS pour la conductivité (180-1000us/cm) et des eaux des surfaces d'autre région de l'Afrique, Les eaux du lac d'Aleg ont une très faible minéralisation.

## Chapitre 7: Evaluation de la qualité des eaux du lac d'Aleg de Mauritanie pour l'irrigation.

### I. INTRODUCTION

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (El-Asslouj *et al*,2007).

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation. L'effet de la qualité de l'eau d'irrigation sur les cultures est une préoccupation des agronomes et des économistes chargés de la mise en valeur des territoires des zones arides et semi-arides (Monition, 1969).

Le chapitre précédent (chapitre 4) a été consacré à l'étude de la qualité des eaux du lac d'Aleg en vue de production de l'eau potable. On se propose dans le présent chapitre de réaliser une caractérisation des paramètres physicochimiques des eaux brutes du lac d'Aleg pour un objet de prévenir et de résoudre, au niveau du champ du cultivateur les problèmes relatifs à la qualité de ces eaux d'irrigation, en présentant une analyse préventive des problèmes pédologiques et agronomiques potentiels (salinité, perméabilité, toxicité et la tolérance de ces eaux avec les récoltes). Ceci démontre bien qu'une meilleure connaissance de l'utilisation de l'eau nécessite une étude pluridisciplinaire du schéma relationnel : sol-plante-eau-atmosphère. Il va sans dire qu'une étude d'une telle envergure est prenante d'un point de vue temps et exige des moyens humains et matériels considérables qui souvent nous ont fait défaut. Aussi, nous nous sommes limités dans cette étude à déterminer la qualité physico-chimique en référence aux directives « guides » de l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation préconisée par la FAO (Bulletin FAO n° 29, 1976) (voir annexe). Ces directives sont adoptées par de nombreux pays et utilisées dans le cadre de l'agriculture californienne par le service de vulgarisation, la station expérimentale et le corps enseignant de l'université de Californie (Ayers et Westcot 1976). Et comme des normes africaines on utilise les normes Marocain de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Maroc 2002) (voir annexe).

## II. QUALITÉ DES EAUX DU LAC D'ALEG DESTINÉE A L'IRRIGATION

Pour un objet d'évaluer la qualité des eaux du lac d'Aleg, cette zone qui était classifié comme un pôle régional d'agriculture. On a choisi dix stations disposées sur le bord du lac d'Aleg. Ces stations ont été choisies selon leur accessibilité, leur proximité des sources de la pollution. En tenant compte que les jardins et les fermes sont réparties dans la région sur le long du lac. L'étude réalisée au cours de quatre les saisons climatique de deux années 2017-2018, pour un objet de prendre une idée sur les avantages et les inconvénients d'utilisation des eaux du lac comme eau d'irrigation.

Tableau 34 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac destiné à l'irrigation en comparaison avec les Normes internationales de l'eau d'irrigation.

	Norme de l'eau d'irrigation							
	Min	Moy	Max	E-type	FAO, 1979			Maroc,2002
					Pas de Problèmes	Problèmes croissantes	Problèmes graves	Valeurs limites
CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	278,5	332,4	391,5	35,66	< 750	750 - 2000	> 3000	8700
SAR (mg/l) Montmorillonite-Smectite Illite – Vermiculite Kaolinite – Sesquioxydes	1,42	4	17,49	2,71	< 6 <8 <16	6 – 9 8 – 16 16 – 24	> 9 > 16 > 24	--
SARajusté (méq/l) Irrigation de surface Irrigation par aspersion	1,5	1,8	2,6	--	<3 < 3	3.0 - 9 9	> 9	9
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	16,23	21,47	29,65	3,46	--	--	--	--
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	9,96	13,42	19,28	3,16	--	--	--	--
Na <sup>+</sup> (mg/l)	21,25	29,51	39,5	5,32	--	--	--	69
K <sup>+</sup> (mg/l)	10,5	13,5	18	2,43	--	--	--	--
CL- (mg/l) Irrigation de surface Irrigation par aspersion	24,85	31,24	43,5	6,42	< 142 < 106,5	142 – 355 106,5	>355	350 105
T (°C)	25,73	27,08	28,25	0,72	--	--	--	35°C
pH	7,16	7,42	7,61	0,167	6.5 -8.4	--	--	6.5 -8.4
MES Irrigation de surface Irrigation par aspersion	30	760	1420	494,1	--	--	--	2.000 100
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	2 ,15	4,15	5,85	1,32	< 5	5.0 – 30	> 30	50
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	111,8	156,5	182,2	20,58	< 91,5	91.5 – 518	> 518	518
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	29	43,78	64,5	11,78	--	--	--	250

### **III. ÉVALUATION DU PROBLÈME DE PERMÉABILITÉ**

Un problème de perméabilité lié à la qualité de l'eau se pose quand la vitesse de pénétration ou de circulation de l'eau dans et à travers le sol diminuent sous l'effet de certains sels ou de l'absence de sels dans l'eau, au point que la culture n'est plus suffisamment alimentée en eau et que le rendement diminue.

Certains constituants peuvent réduire la perméabilité de sol et la plante ne reçoit plus, alors, la quantité d'eau dont elle a besoin pour sa croissance.

En milieu salé, la conduite de l'irrigation est fortement influencée par la perméabilité du sol souvent très faible pour les solutions percolantes. En effet, dans un sol salé imprégné en NaCl, la perméabilité reste bonne tant que la solution saline percolante présente une charge élevée en électrolytes, charges qui maintiennent les argiles floculées. Si l'eau d'irrigation est chargée en sodium, le nombre d'ions Na<sup>+</sup> combinés avec le sol augmente.

On assiste à une dégradation de structure, avec un gonflement des argiles à l'origine de l'imperméabilité du milieu. Le processus de dessalement et de drainage risque alors d'être complètement stoppé.

#### **III-1. Effet de la salinité sur la perméabilité**

Les problèmes de salinité sont liés aux sels dissous de l'eau d'irrigation. L'accumulation de ces sels diminue la perméabilité du sol. La salinité est habituellement mesurée par la conductivité électrique en siemens, micro siemens ou microhms.

Les valeurs moyennes de la salinité globale des eaux du lac d'Aleg de Mauritanie enregistrent durant notre étude comprises entre 278,5 et 391,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Elles sont inférieures à celle qui correspond dans les directives à la catégorie "Pas de problèmes" et inférieure de valeurs limite de normes marocain de l'eau potable (8700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) : donc aucun problème de perméabilité liée à la salure globale n'est à envisager. En outre, il y a une grande fluctuation spatio-temporelle pour les valeurs de la salinité mais généralement elle augmente aux périodes sèche.

Les risques d'imperméabilisation des sols qu'entraînerait l'irrigation par de telles eaux seraient quasiment faibles à nuls, si les sols sont sablonneux et bien drainants.

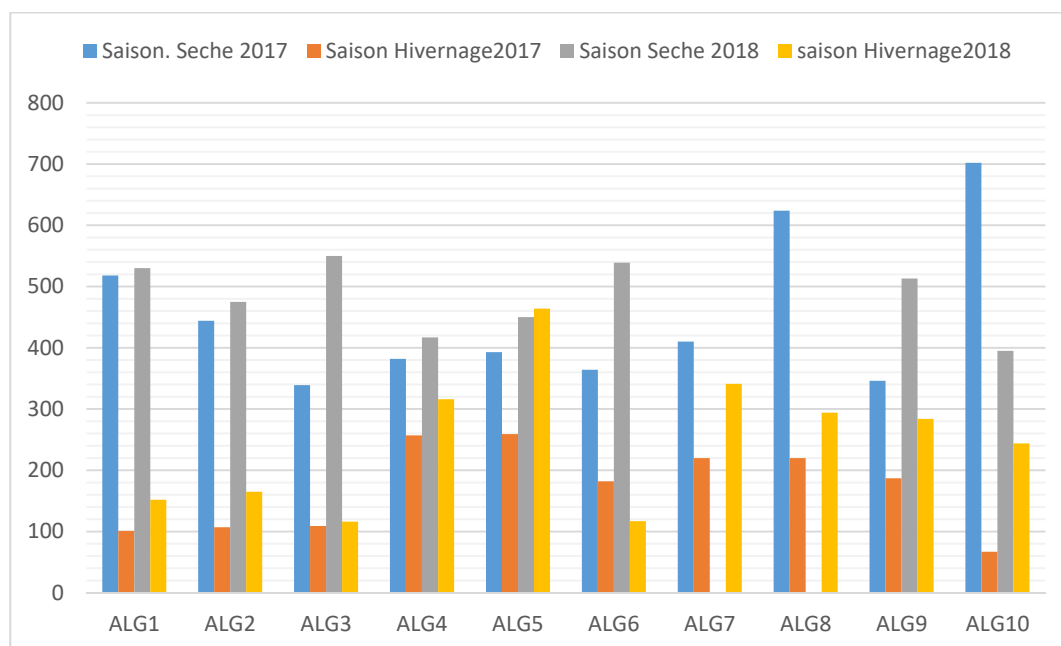


Figure 40 : variation spatio-temporelle de salinité des eaux d’irrigation du lac d’Aleg.

### III-2. Effet du sodium sur la perméabilité

Les problèmes de perméabilité dus à une carence en Ca et Mg ou excès du Na peuvent être évalué par un concept du Sodium Absorption Ratio (SAR). Pour les eaux du lac d’Aleg, le SAR varie entre 1,9-13,5mg/l. Selon les directives de FAO, les eaux du lac d’Aleg subit un risque grave sur la perméabilité de sol de type montmorillonite –Smectite, un risque croissant pour le sol de type illite – Vermiculite et il n’y a pas de risque sur le sol de type Kaolinite – Sesquioxides.

En autre, des problèmes de perméabilité peuvent se pose avec des eaux très pure. Des telles eaux sont corrosives et entraînent les sels solubles de la surface du sol. Les métaux carbonates sont décomposés dispersés et créent des obstacles à la circulation des eaux. Ces problèmes peuvent évaluée par un concept relativement nouveau, Le ‘SAR ajusté’ d’abord définie à partir du taux d’absorption de sodium et du résidu sodo-carbonate.

Les valeurs calculées du SARaj durant les six campagnes, dans les cinq stations varient entre 1,25 et 13,91 méq/l, alors les eaux du lac sont prendre les trois class selon les directives de FAO, la catégorie ‘Pas de problèmes’, ‘ problèmes croissants ’et ‘problème grave ’ et sont dépassent les valeurs limites des normes marocains de l’eau d’irrigation. Le risque des problèmes graves sur la perméabilité enregistrés spécialement aux périodes d’hivernage, ce qu’il peut expliquer par la dilution des ions calcium et magnésium et l’augmentation des ions bicarbonates au l’hivernale.

Mais attention, si le problème de perméabilité ne se pose pas, compte tenu des valeurs du SAR, un risque de salinisation des sols n'est pas à écarter si les sols sont de texture argileuse. Le risque serait encore plus grave si les argiles sont de type gonflant (Montmorillonite).

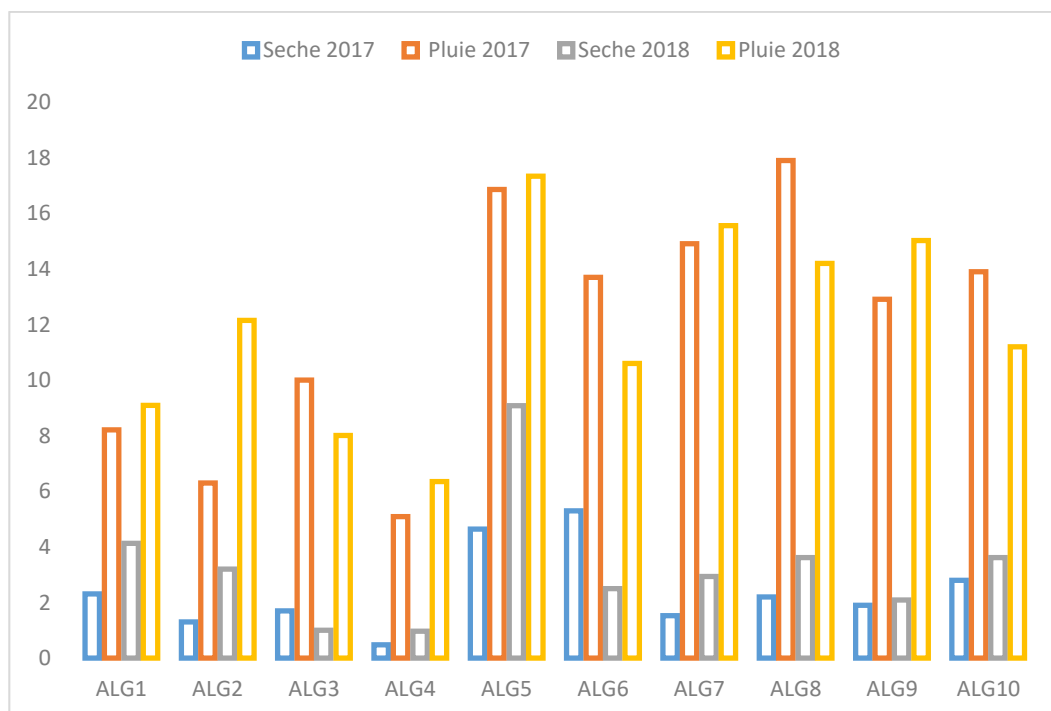


Figure 41: variation spatio-temporelle de SARaj des eaux d'irrigation du lac d'Aleg.

#### IV. ÉVALUATION DU PROBLÈME DE TOXICITÉ

La toxicité pose un problème différent de ceux de la salinité et de la perméabilité car elle se manifeste dans le végétal lui-même comme résultat de l'absorption de certaines substances contenues dans l'eau d'irrigation. Il se pose un problème de toxicité quand certains constituants de l'eau sont absorbés par les cultures et s'accumulent en quantités susceptibles d'entraîner une diminution des rendements.

Les directives de la FAO traitent de la toxicité des ions B, Na et Cl. La toxicité de ces ions est liée à la méthode d'irrigation utilisée. Les effets toxiques de l'eau sont très variables d'une espèce à l'autre et suivant l'ion nocif. L'ingestion se fait soit au niveau des racines soit lorsqu'il s'agit d'aspersion à celui des feuilles.

##### IV-1. Les risques de toxicité spécifique aux ions sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément a pour origine l'altération de la roche et du sol, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol

et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol, ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau (Couture, 2006).

L'emploi d'une eau d'irrigation riche en ions sodium fait que les cultures absorbent le sodium en même temps que l'eau celui-ci se concentre dans les feuilles tandis que l'eau s'échappe par transpiration. Il peut en résulter des dégâts (toxicité) si l'accumulation du sodium atteint une concentration dépassant la tolérance de la culture. Les symptômes caractéristiques en sont la brûlure et le roussissement du feuillage ainsi qu'une nécrose des tissus situés sur le bord des feuilles.

Pour l'évaluation du risque de toxicité du sodium les directives du FAO utilisent les valeurs du SARaj et les normes marocaines de l'eau d'irrigation utilisent la valeur du SAR pour l'irrigation de surface et la quantité du sodium en mg/l pour l'irrigation en aspiration. D'après les résultats trouvés on observe que les valeurs du SARajusté varient entre 1,25 et 17,34 méq/l, se situent les eaux du lac d'Aleg aux trois class selon le SAR ajuste 'Pas de problèmes', 'problèmes croissants' et 'problème grave', en tenant compte que la cette toxicité augmente en période d'hivernage. Le SAR varie entre 1,42 et 13,49 mg/l et dépassé la valeur limite de norme marocain de l'eau d'irrigation, donc l'irrigation par les eaux du lac d'Aleg en méthodes d'irrigation surface causée des problèmes. En outre la teneur du sodium en mg/l varie entre 4 et 38, inférieure à celle de la valeur limite de la norme marocaine (69 mg/l), alors il n'y a pas des problèmes envisagé pour l'utilisation des eaux du lac d'Aleg en irrigation par aspiration.

#### **IV-2. Toxicité de l'ion chlorure**

Les ions chlorures sont peut devient toxique, dans les conditions extrêmes de faible humidité, l'irrigation par eau chargée au chlorure peut entraîner une brûlure du feuillage et une défoliation sur des cultures et il sera difficile d'obtenir une production satisfaisante avec des cultures sensibles. Durant notre étude le chlorure varie entre 5 et 88,75mg/l, cela ajoutée les eaux du lac d'Aleg au class 'Pas de Problèmes' : il y a pas de risque du chlore sur les cultures sensible, selon les directives des FAO. En outre les valeurs du chlorure enregistré sont inférieures à la valeur limite de la norme marocaine de l'eau d'irrigation (350 mg/l).

## **V. EFFETS DIVERS SUR LES CULTURES SENSIBLES**

### **V-1. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )**

L'azote est un nutriment qui stimule la croissance des végétaux. En quantité excessive, il perturbe la production ou retarde la maturation des cultures. L'azote contenu dans l'eau d'irrigation joue le même rôle que celui des engrais et des doses excessives posent des problèmes tout comme les excédents d'engrais.

La production de cultures sensibles à l'azote peut être influencée par des concentrations d'azote supérieures à 5 mg/l (5 kg de N par 1000 m<sup>3</sup> d'eau). Pour de nombreuses cultures graminéennes et céréalières, une croissance végétative excessive peut entraîner la verse. La valeur maximum du nitrate enregistrée durant notre étude est 4,4mg/l. Cette valeur est inférieure à celle qui correspond dans les directives à la catégorie "Pas de problèmes" : donc il n'y a pas de risque d'azote sur la production et la maturation des cultures.

### **V-2. Le pH**

Pour les eaux du lac, les pH de ses eaux sont situés dans la gamme normale (6,5 à 8,4) avec une légère tendance à l'acidification observée au l'hivernage du 2015, probablement due à une nitrification (minéralisation des matières organiques accrue en cette période estivale).

### **V-3. Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )**

Le taux de bicarbonate élevée dans l'eau d'irrigation causée des problèmes pour la perméabilité du sol et en plus laisser un dépôt blancs sur les fruits ou sur les feuilles, et qui ne sont pas entraînés par les arrosages suivants. Ce dépôt nuit à la qualité commerciale et au goût des fruits. D'après les directives de FAO, il y a problème avec les bicarbonates quand leur teneur dépasse 91,5 mg/l. Pour le lac d'Aleg, les taux de bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) sont compris entre 17,9-146,4 mg/l et classent les eaux dans la catégorie "problème croissant =PC" : qui se manifeste par un dépôt blanc sur les fruits ou sur les feuilles, et qui diminue la qualité commerciale et au goût des fruits. Alors l'irrigation par aspersion est à déconseiller.

## **VI. APTITUDES DES EAUX DU FLEUVE SÉNÉGAL A L'IRRIGATION**

Dans la présente étude, on a fait l'estimation des quelques paramètres de salinité en rapport avec l'usage agricole pour six campagnes saisonnières. L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus nous permettent de prévoir et évaluer les risques probables sur la nature des sols et de



la végétation quant à l'utilisation de ces eaux pour l'irrigation. La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du sodium et des chlorures par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. Sous cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes (Todd ,1980). Riverside et Wilcox sont développées des diagrammes très reconnu pour classer les eaux destinées à l'irrigation selon la salinité et la teneur du sodium et pour évaluer l'aptitude des eaux à l'irrigation en fonction des indices croisés( C.E/SAR ; C.E/ Na%). Le choix de ces deux méthodes est étroitement lié aux paramètres auxquels les deux méthodes font appel (sodium, calcium, magnésium, potassium, conductivité électrique).

### VI-1. Diagramme du Riverside

D'après Riverside le risque de salinisation des sols peut être apprécié par la conductivité électrique et celui de l'alcalinisation des sols par le SAR (Richards, 1954).

En tenant compte de ces deux paramètres : CE<sub>25°C</sub> et du SAR Richards a proposé un diagramme de classification comportant 16 classes correspondant au couple risques salinsrisques alcalins.

Cette classification a été très utilisée et l'est encore de nos jours. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation. Cependant, elle ne peut pas servir pour estimer un risque de salinisation ou de sodisation.

**Tableau 35** : couple risques salins-risques alcalins.

<b>Indice croisé SAR/conductivité</b>	<b>Indication</b>
C1-S1	- eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées et des sols
C1-S2	- eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées - le sol doit être bien drainé et lessivé
C1S3	- le sol doit être bien préparé, bien drainé et lessivé, ajout de matières organiques - la teneur relative en Na peut être améliorée par l'ajonction de Gypse

C1-S4	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau difficilement utilisable dans les sols peu perméables</li><li>- le sol doit être bien préparé, très bien drainé et lessivé, ajout de matières organiques</li><li>- la teneur relative en Na peut être améliorée par l'ajonction de Gypse</li></ul>
C2-S1	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel</li></ul>
C2-S2	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel</li><li>- sol grossier ou organique à bonne perméabilité</li></ul>
C2-S3	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau convenant aux plantes qui présentent une certaine tolérance au sel</li><li>- sol grossier et bien préparé (bon drainage, bon lessivage, addition de matières organiques)</li><li>- l'ajonction périodique de Gypse peut être bénéfique</li></ul>
C2-S4	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau ne convient généralement pas pour l'irrigation</li></ul>
C3-S1	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel</li><li>- sol bien aménagé (bon drainage)</li><li>- contrôle périodique de l'évolution de la salinité</li></ul>
C3-S2	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel</li><li>- sol grossier ou organique à bonne perméabilité, bon drainage</li><li>- contrôle périodique de l'évolution de la salinité</li><li>- l'adjonction périodique de Gypse peut être bénéfique</li></ul>
C3-S3	<ul style="list-style-type: none"><li>- espèces tolérantes au sel</li><li>- sol très perméable et bien drainé</li></ul>
C3-S4	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau ne convient pas à l'irrigation</li></ul>
C4-S1	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales</li><li>- peut être utilisée si les espèces ont une bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé</li></ul>
C4-S2	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales</li><li>- peut être utilisée si les espèces ont une très bonne tolérance à la salinité et le sol est particulièrement bien drainé</li></ul>
C4-S3	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau ne convient pas à l'irrigation</li></ul>
C4-S4	<ul style="list-style-type: none"><li>- eau ne convient pas à l'irrigation</li></ul>

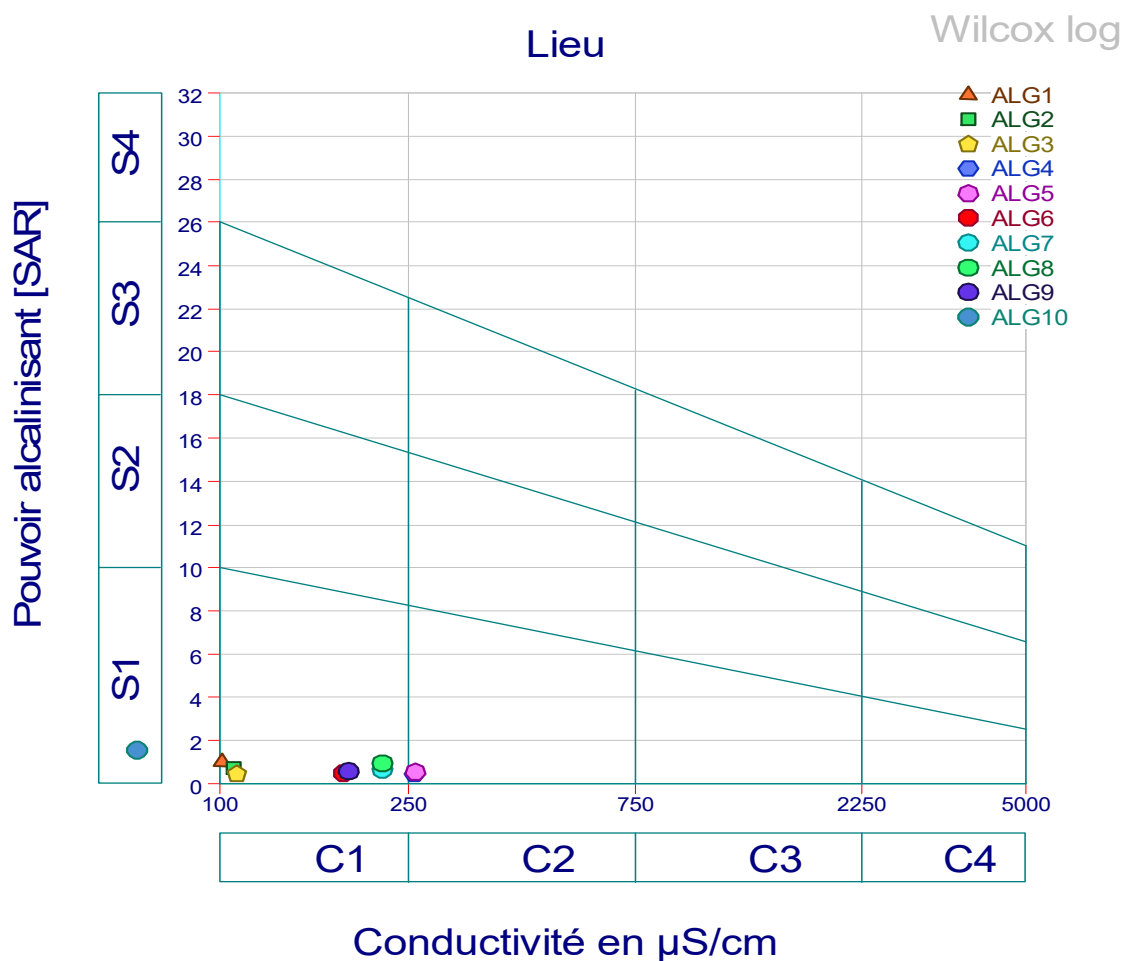


Figure 42 : Projection des eaux du lac d'Aleg dans le diagramme de Riverside.

En tenant compte de cette classification et après avoir reporté tous les points d'eau des différentes campagnes sur le diagramme de Richards, selon indice croisé SAR/conductivité, on a pu dégager la présence des deux classes suivantes :

**C1 S1** : Eau de bonne qualité, utilisable pour la plupart des espèces cultivées et des sols.

**C2 S1** : Qualité moyenne à bonne, utilisable pour la plupart des espèces cultivées. le sol doit être bien drainé et lessivé. A utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitiers).

## VI-2. Diagramme Wilcox

Généralement, les plantes supportent mal les eaux saturées en sodium. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau qui est exprimée en pourcentage, est définie par la relation :

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

Cette classification définit cinq classes d'eau :

- ✓ excellente,
- ✓ bonne,
- ✓ admissible,
- ✓ médiocre,
- ✓ mauvaise (Derradji, 2004).

Cette démarche et après la présentation de tous les points d'eau montré que les eaux du lac d'Aleg trouvent dans la classe "excellente" (voir Figure 49) selon indice croisé Na%/conductivité.

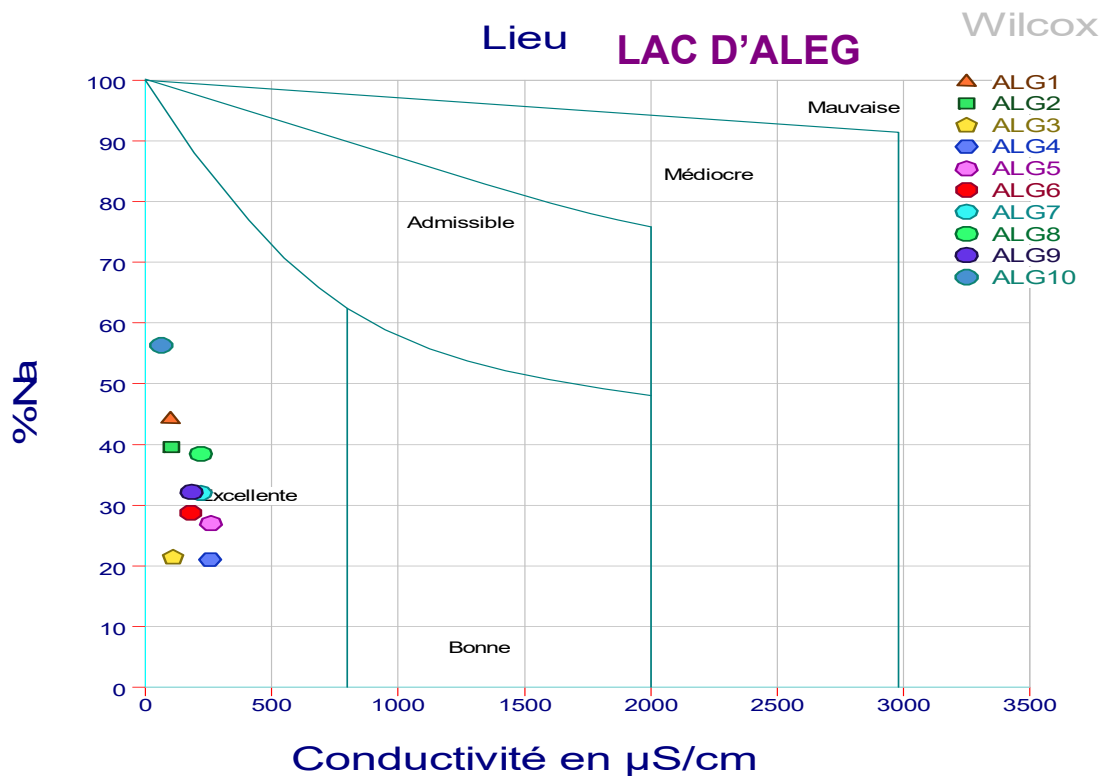


Figure 43 : Projection des eaux du Lac d'Aleg dans le digramme de Wilcox.

## VII.TOLERANCE DES RÉCOLTES A LA QUALITÉ DES EAUX DU LAC D'ALEG

Pour surmonter le problème de la salinité au niveau de la ferme, plus d'importance doit être donnée aux approches suivantes :

-Choisir des cultures tolérantes à la salinité de l'eau de l'irrigation. le FAO prépare des directives pour aider les agriculteurs à choisir le système de culture le plus approprié en fonction

de la salinité de l'eau et de la tolérance des cultures en sels. Avec une salinité inférieure à 3 dS/m et une bonne gestion, la plupart des fruits et des légumes peuvent être produits. Lorsque la salinité augmente, le choix des cultures devient difficile et, excepté certains légumes, le choix est la plupart du temps limité aux fourrages verts.

- Choisir des cultures tolérantes au sel ayant la capacité d'absorber des quantités élevées de sels sans subir d'effets toxiques particuliers (cultures extractrices de sels). En cas d'irrigation avec une eau de salinité élevée, dans les zones à pluviométrie limitée et lessivage naturel favorable, des cultures extractrices de sels peuvent aider à réduire l'accumulation de sels dans le sol et permettre ainsi une réutilisation durable à long terme. Les cultures recommandées sont le sudax, le sorgho, le chiendent pied de poule et l'orge.

Pour les eaux du Lac d'Aleg sont de très faible salinité. Le tableau 36, présenté les plantes toléré et no toléré avec les eaux du lac d'Aleg.

**Tableau 36** : Tolérance des plantes avec les eaux du lac d'Aleg.

	Tolérance à la salinité des eaux d'irrigation en us/cm, de quelques plantes cultivées (adapté de FAO, 1985)	Tolérance des plantes avec les eaux du c (salinité maximum enregistré 700 µs/cm)
Citrus, Pommes, Pêche, Raisins, Fraise, Pommes deterre, Poivrons, Carottes, Oignons, Haricot, Maïs	<2000	les eaux du lac d'Aleg son bien toléré avec ces types des plantes qui sont généralement sensible aux sels.
Figues, Olives, Brocoli, Tomates, Concombre, Cantaloup, Pastèques, Epinards, Vesce commune, Sorgho du Soudan, Luzerne	2000-3000	Ces plantes sont besoins d'une eau plus salée que les eaux du lac d'Aleg, mais il n'y a pas de risque causé due à leur irrigation par ces eaux.
Sorgho, Arachide, Riz, Betteraves, Féтуque	3000-4000	Ces cinq des plantes sont supporté des sels moyennement forte, alors les eaux du lac d'Aleg est une très faible salinité en comparaison avec la pouvoir supportable des sels de ces plants.
Soja, Palmier dattier, Phalaris aquatique, Trèfle, Artichauts	4000-5000	Ces plantes sont supportées les sels au degré très forte minéralisation, alors les eaux du lac d'Aleg ne sont pas très adaptées pour l'irrigation de ces plantes.

Carthame, Blé, Betterave sucrière, Chiendent pied de poule, Sudax (sorgho hybride),	5000-7000	Ces plantes sont supportées les sels au degré très forte minéralisation, alors les eaux du lac d'Aleg ne sont pas très adaptées pour l'irrigation de ces plantes
Coton, Orge, Agropyre	>7000	Les eaux du lac d'Aleg sont déconseillées pour l'irrigation de ces plantes

## VI. CONCLUSION

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux du lac d'Aleg, utilisées à des fins d'irrigation dans des exploitations agricoles, comparés aux valeurs guides (FAO), les normes marocain de l'eau d'irrigation et exploité par les méthodes de Riverside et Wilcox nous conduit à conclure que les eaux du lac d'Aleg classés dans la catégorie '*Pas de problème*' particulièrement en ce qui concerne la risque de salinité et leur effet sur la perméabilité. Mais cette perméabilité attaqué par le sodium sur tout en période d'hivernage et spécialement pour les sols de types montmorillonite –Smectite et de type illite – Vermiculite.

Les ions nitrates d'azote et chlorures sont respectent les normes marocain et ajoutent les eaux du lac au class '*Pas de problème*' selon les directives de FAO. En autre ces eaux sont subit un chimisme sodique à dominance d'ions carbonates. Les eaux du lac d'Aleg classés par Wilcox en classe '*excellente*' et appartiennent aux classes C1S1, C2S1 selon Riverside c'est-à dire une eau à faible salinité, qualité moyenne à bonne et utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitiers) et déconseillé pour l'irrigation en aspiration .

Les eaux du lac d'Aleg sont généralement convenables pour l'irrigation, mais nécessitent un contrôle de qualité exigé et actualisé par les autorités concernées

## **CHAPITRE 7 :**

# **Application de l'indice de qualité de l'eau (WQI) pour l'évaluation de la qualité des eaux du lac d'Aleg en Mauritanie.**

## I. RESUME

Dans le présent travail, l'étude de la qualité des eaux du lac d'Aleg a été effectuée par l'application de l'approche WQI. Des collectes saisonnières des échantillons ont été réalisées durant une période de 6 mois au cours de l'année 2017. Vingt-sept paramètres ont été évalués. Les suivies et les analyses physicochimiques ont permis de déterminer l'indice WQI. Les résultats obtenus montrent que les eaux brutes issues du lac d'Aleg sont classées dans la catégorie "Insuitable" (indésirable). La qualité globale des eaux est fortement influencée par l'alternance des saisons de l'année. L'analyse des corrélations a montré une parfaite corrélation entre le WQI et la turbidité de l'eau ( $r=0.999$ ). Ceci a permis de spécifier la turbidité an tan que facteur de détérioration de la qualité des eaux du lac.

## II. L'indice de qualité de l'eau (WQI)

La méthode proposée par Tiwari et Mishra [11] a été appliquée pour l'évaluation de l'indice de qualité de l'eau (WQI). Les normes standards ( $S_i$ ) sont celles recommandées par l'OMS. Le tableau récapitule les poids relatifs ( $W_i$ ) calculés par l'équation.

Calcul de l'indice de qualité de l'eau :

$$WQI = \sum_{i=0}^n (q_i * w_i) \quad (1)$$

- $q_i$  : Water quality rating (estimation de la qualité d'eau)

$$q_i = \left[ \frac{C_i - V_i}{S_i - V_i} \right] * 100 \quad (2)$$

$C_i$  : Valeur obtenu pour chaque paramètre

$S_i$  : Norme de l'OMS

$V_i$  : valeur idéale de chaque paramètre.  $V_{pH}=7$  et  $V_{DO}=14.6\text{mg/l}$ .

Pour les autres paramètres  $V_i$  vaut 0 et donc

$$q_i = \frac{C_i}{S_i} * 100 \quad (3)$$

$W_i$  : le poids unitaire (unit weight) est calculé en appliquant les équations (4) et (5).

$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad (4)$$



K est la constante de proportionnalité, déterminé par la formule suivante :

$$K = \frac{1}{\sum_{i=0}^n \frac{1}{S_i}} \quad (5)$$

L'unité du poids  $W_i$  ainsi que les normes de l'OMS, accordées à chaque paramètre, sont données dans le tableau(1).

Selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau (WQI), la qualité de l'eau est classée selon le tableau 28.

Tableau 28: Les classifications des valeurs de l'indice de qualité de l'eau (WQI)

WQI	0-25	26-50	51-75	76-100	>100
Water quality	Excellent	Good	Poor	Very poor	Unsuitable

## II.1. Caractérisation générale

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau 3. En effet, le pH enregistre des valeurs moyennes de 7.42 et 7.46.

La température de l'eau évolue selon les conditions climatiques du site d'échantillonnage. La conductivité électrique montre des valeurs moyennes de 452.2  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , en saison sèche et 169.58  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en saison de pluie. L'effet de dilutions est remarqué sur les valeurs obtenues. La turbidité évolue en fonction des variations saisonnières, les valeurs maximales sont dans l'ordre de 912 NTU. Les bicarbonates montrent une teneur maximale de 341.6 mg/l durant la saison sèche. La dureté montre un niveau acceptable dans la période d'étude, le TH varie entre 7.5 et 5.7 °F.

L'alcalinité montre une valeur maximale durant la saison sèche. Les teneurs en chlorures, en sulfates, en sodium et en potassium indiquent des valeurs acceptables. On note aussi des faibles niveaux pour les éléments azotés, les nitrates, nitrites et ammonium enregistrent respectivement des valeurs maximales de 15, 1.6 et 0.4 mg/l.

L'oxydabilité enregistre des valeurs maximales durant la période des pluies 22.4 mg/l d'O<sub>2</sub>. Les éléments traces métalliques restent en dessous des limites exigées par l'OMS .

Tableau 29 : les Résultats obtenus pour les l'analyses physico-chimique de l'eau du lac pour les deux saisons

		PH	T	CE	Turbidité	HCO3-	Ca2+	Mg2+	TH	Cl-	SO2-4	NO-3	Oxydabilite	NH4+	NO2-	TAC	Al	Fe Total	Cu	Na+	K+	Pb	Cd	Mn
		(°C)	µs/cm	NTU	mg/l	mg/l	mg/l	°F	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l
Saison sèche	Max	7.62	24.00	702.00	771.00	341.60	54.50	45.20	12.20	102.95	61.00	15.00	1.22	0.40	1.60	27.50	0.13	2.20	0.62	51.00	35.00	1.52	0.17	0.01
	Min	7.02	20.00	339.00	141.00	189.10	16.03	19.44	5.20	17.75	9.00	3.80	0.19	-	0.05	10.50	0.02	0.60	0.14	25.00	20.00	0.32	0.04	0.01
	Moy	7.42	23.28	452.20	466.60	240.65	35.75	29.16	7.50	41.54	28.30	9.54	0.51	0.14	0.48	18.78	0.05	1.32	0.30	32.00	24.40	0.91	0.08	0.01
	Ecartype	0.21	1.22	124.01	212.63	56.16	10.58	9.47	2.21	27.55	20.57	3.77	0.30	0.16	0.48	5.24	0.03	0.53	0.15	9.06	5.10	0.33	0.05	0.00
Saison de pluie	Min	7.15	30.10	67.00	331.00	36.60	10.42	5.83	2.20	7.10	1.00	0.20	8.76	-	0.01	2.50	0.01	0.06	0.04	12.00	9.00	0.29	0.04	-
	Max	7.65	30.30	259.00	912.00	115.90	32.86	17.49	9.60	28.40	41.00	2.00	22.40	0.22	0.18	9.00	0.40	0.70	1.15	26.00	18.00	1.43	0.14	0.01
	Moy	7.46	30.23	169.58	657.67	76.76	21.56	12.15	5.78	15.38	14.92	0.71	15.94	0.04	0.07	5.79	0.09	0.24	0.35	16.83	12.50	0.85	0.07	0.00
	Ecartype	0.19	0.07	69.90	202.75	29.21	7.71	3.93	2.11	5.99	14.89	0.50	4.91	0.07	0.05	2.39	0.12	0.21	0.38	5.30	3.13	0.32	0.03	0.00

Tableau 30 : Statistique descriptive de L'indice de qualité de l'eau (WQI)

Saison	Min	Moy	Max	SD
Période sèche	668.41	2151.86	3541.40	970.78
Période humide	1584.67	3123.36	4272.72	934.32

## II.2. Evaluation de la variabilité spatiotemporelle de l'indice WQI

L'application des équations (1) sur les données analytiques a permis la détermination des tendances spatiotemporelles de l'indice de qualité de l'eau (WQI) (Figure 44).

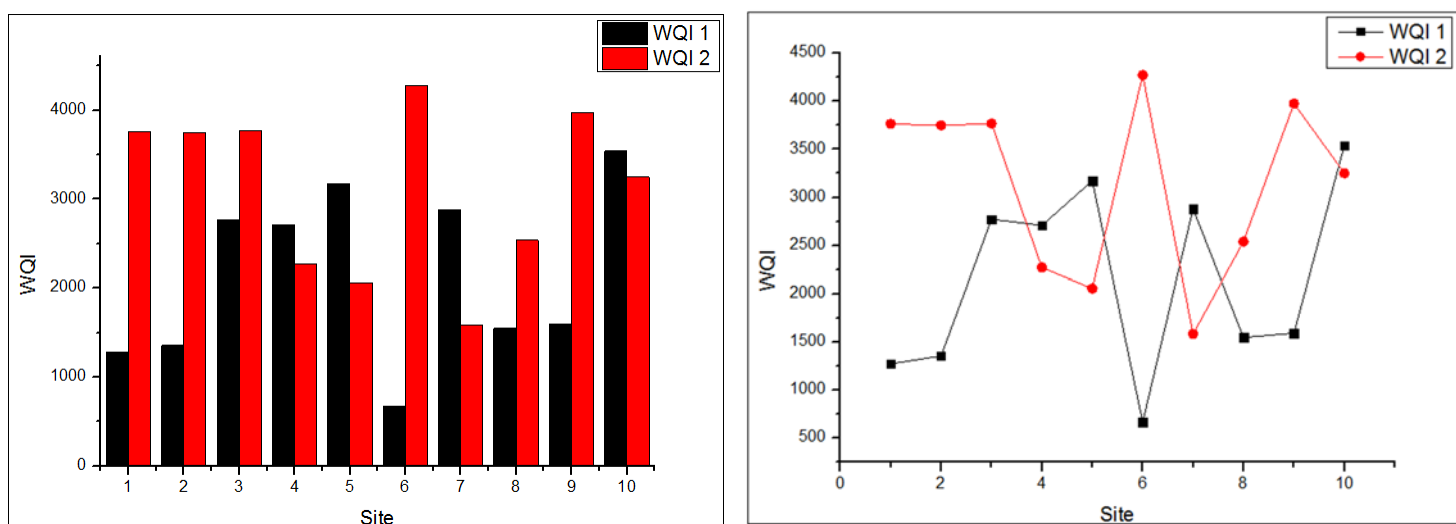


Figure 44 : Evolution du WQI (WQI 1 : Saison sèche ; WQI 2 : Saison de pluie)

Les résultats obtenus montrent que pour la saison sèche, les valeurs de WQI sont comprises entre 668-3541, alors que pour la saison pluie, les valeurs oscillent entre 1584-4272. En effet, on constate que le site Alg10 enregistre des valeurs maximales durant la saison de pluie. Cependant, le site ALG 6 présente les valeurs maximales au cours de la saison sèche. On peut noter que, d'une manière générale, les valeurs obtenues pour le WQI sont très élevées. Ceci peut être interprété dans le cadre de l'étude de l'évolution de la turbidité. Les deux valeurs minimales sont obtenues dans les sites ALG 6 (saison de pluies) et ALG 7 (saison sèche). Les valeurs obtenues pour le WQI sont très élevées (supérieur à 100). La qualité des eaux du lac d'Aleg sont classées dans la catégorie Unsuitable (Tableau 30).

Le calcul de l'indice WQI montre un changement significatif de la qualité globale de l'eau au cours de la saison de pluie.

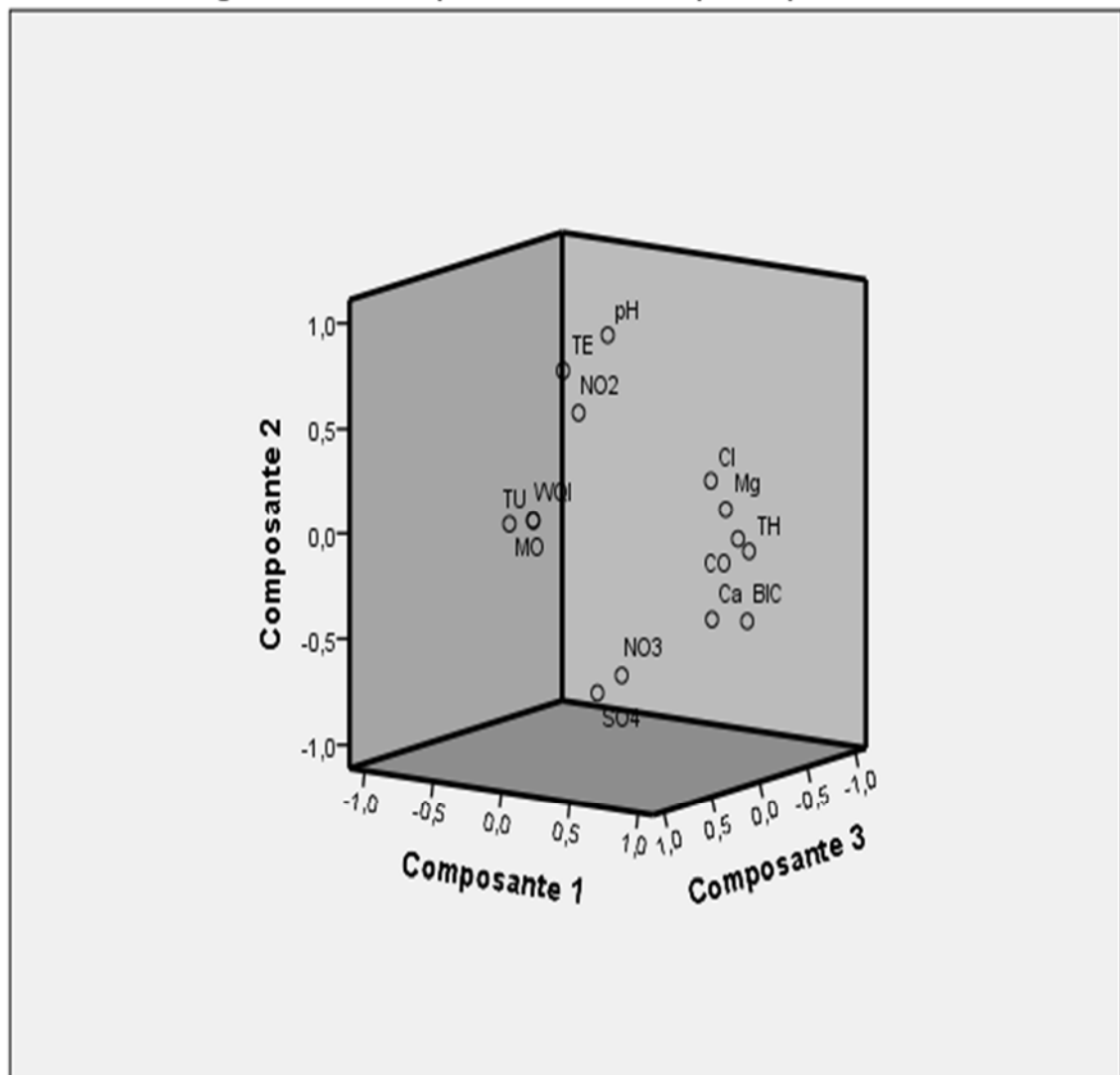
### III. Analyse statistique

Une évaluation statistique a été réalisée pour l'interprétation des résultats obtenus, et afin de mettre en évidence les corrélations entre les différents paramètres. Les tests sont réalisés par les logiciels Origine 8.5 et SPSS 20.

#### III.1. Analyse en composante principale (ACP)

L'ACP est une technique très utilisée pour l'interprétation des différents paramètres influençant la qualité des ressources en eau. En se basant sur le graphique des valeurs propres (Figure 45), il est possible d'extraire les cinq premières composantes qui représentent 93.74% de la variance totale (Tableau 31). La projection, en trois dimensions, des trois premières composantes représentant 81.5% de la variance totale (Figure 45).

Diagramme de composantes dans l'espace après rotation



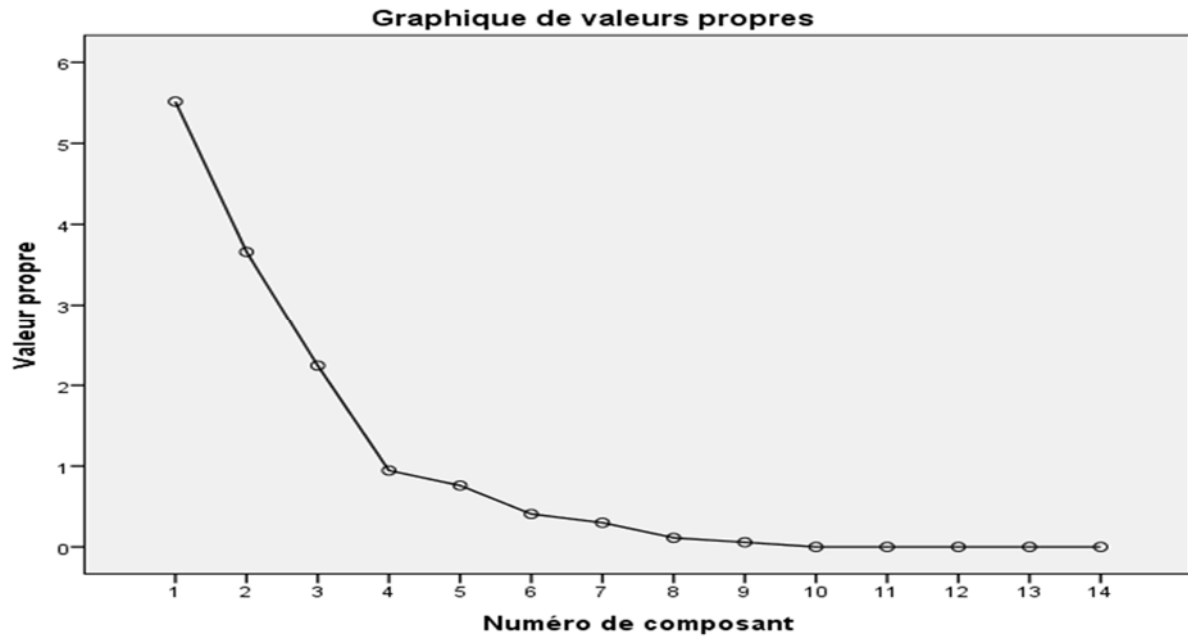


Figure 45 : graphique des valeurs propres et diagramme des composantes

Tableau 31 : valeurs propres

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulés
1	5.516	39.399	39.399
2	3.660	26.141	65.540
3	2.243	16.025	81.565
4	.945	6.752	88.317
5	.760	5.427	93.743
6	.407	2.907	96.651
7	.299	2.139	98.789
8	.112	.801	99.590
9	.057	.410	100.000
10	4.618E-16	3.299E-15	100.000
11	1.479E-16	1.057E-15	100.000
12	4.598E-17	3.284E-16	100.000
13	-2.437E-16	-1.740E-15	100.000
14	-3.185E-16	-2.275E-15	100.000

La composante 1 comprend la conductivité électrique, les bicarbonates, le calcium, le magnésium, la dureté, les chlorures et les nitrites (Tableau 31).

Le pH, la température, les sulfates et les nitrates sont corrélés avec la composante 2. Cependant, la turbidité et la matière oxydable sont comprises dans la composante 3.

Tableau 32 : Corrélations entre les trois premières composantes et les variables

	<b>Composante</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>pH</b>	.113	.930	.161
<b>TE</b>	-.157	.747	.243
<b>CE</b>	.961	.024	.011
<b>TU</b>	.099	.154	.919
<b>BIC</b>	.840	-.418	-.258
<b>Ca</b>	.814	-.363	.074
<b>Mg</b>	.908	.168	.063
<b>TH</b>	.963	-.051	-.101
<b>Cl</b>	.871	.318	.167
<b>SO4</b>	-.206	-.850	-.186
<b>NO3</b>	.250	-.663	.210
<b>MO</b>	-.220	.077	.713
<b>NO2</b>	-.616	.383	-.575
<b>WQI</b>	.097	.157	.919

Tableau33 : Matrice de corrélation

	pH	TE	CE	TU	BIC	Ca	Mg	TH	Cl	SO4	NO3	MO	NO2	WQI	
Corrélation	pH	1.000													
	TE	.784	1.000												
	CO	.097	-.221	1.000											
	TU	.287	.288	.170	1.000										
	BIC	-.331	-.542	.809	-.182	1.000									
	Ca	-.212	-.269	.699	.078	.804	1.000								
	Mg	.284	.083	.852	.119	.595	.660	1.000							
	TH	.059	-.175	.881	-.045	.855	.886	.836	1.000						
	Cl	.344	.015	.915	.334	.595	.531	.784	.776	1.000					
	SO4	-.868	-.527	-.166	-.236	.230	.145	-.342	-.150	-.460	1.000				
	NO3	-.374	-.275	.101	.033	.405	.494	.232	.264	-.147	.371	1.000			
	MO	.118	.158	-.257	.470	-.428	-.086	-.160	-.181	-.037	-.296	-.052	1.000		
	NO2	.198	.203	-.566	-.438	-.491	-.594	-.620	-.530	-.497	-.042	-.604	-.306	1.000	
	WQI	.290	.290	.168	1.000	-.185	.076	.117	-.047	.333	-.239	.030	.470	-.435	1.000

### **III.2. Analyse de corrélation**

Le tableau 6 résume les paramètres qui ont été pris en considération. Les coefficients de corrélation de Pearson montrent la cohérence des résultats obtenus. Le tableau montre des bonnes corrélations positives entre le WQI et la turbidité (0.999). Le pH montre une corrélation négative avec le sulfate (-0.868). Cependant, la température est corrélée négativement avec les bicarbonates (-0.542) et les sulfates (-0.527). La conductivité électrique présente des corrélations significatives avec les bicarbonates(0.809), le calcium (0.699), le magnésium (0.852), les chlorures (0.915) et les nitrites (-0.566). Les nitrates et les nitrites sont corrélés négativement (-0.604). Ces analyses de corrélations, le WQI est contrôlé par les fluctuations des valeurs de la turbidité.

### **III.3. Conclusion**

Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail ont permis de mettre en évidence la variation saisonnière de l'indice WQI. Les valeurs obtenues sont comprises entre 668 et 3541 pour la saison sèche. Cependant ces valeurs varient de 1584 à 4272 la saison humide.

Ces résultats permettent de classer les eaux dans la catégorie (Unsuitable) . l'ACP montre qu'il est possible d'extraire les cinq premières composantes qui représentent 93.74% de la variance totale. La projection, en trois dimensions, des trois premières composantes représentent 81.5% de la variance totale. L'analyse des corrélations a montré une parfaite corrélation entre les WQI et la turbidité de l'eau.



# **CHAPITRE 8 :**

## **Résultats Modélisation**

## I. méthodes d'interpolations

Les résultats de plusieurs méthodes d'analyses spatiales ont été comparés :

### IDW

#### Pondération inverse de la distance (IDW)

La Pondération Inverse à la Distance (IDW) est l'une des méthodes d'interpolations utilisées dans le domaine de la science du sol (Bhunja et al., 2018; Robinson and Metternicht, 2006; Seyedmohammadi et al., 2016). Les estimations par la technique IDW sont faites en fonction des emplacements connus à proximité (formule (1)). Les poids assignés aux points d'interpolation sont déterminés par l'inverse de la distance à partir du point d'interpolation.

$$Z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (1) \quad \text{avec}$$

$Z(x_0)$  est la valeur interpolée ;  $n$  représente le nombre total des échantillons ;  $x_i$  est la valeur mesurée,  $h_{ij}$  est la distance de séparation entre la valeur interpolée et la valeur mesurée ;  $\beta$  indique la puissance de pondération ( $\beta = 2$ ).

### OK

#### Krigeage ordinaire (OK)

La méthode de Krigeage Ordinaire est l'une des techniques d'interpolation qui aussi fréquemment utilisées (Mousavifard et al., 2013; Poshtmasari et al., 2012).

Cette technique permet de réaliser une estimation pour une zone située autour d'un point échantillonné (Pang et al., 2011; Seyedmohammadi et al., 2016; Tripathi et al., 2015). L'estimateur de Krigeage Ordinaire est exprimé comme suit:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i - h)]^2 \quad (2)$$

Où  $N(h)$  est le nombre total de paires de données séparées par une distance  $h$ ;  $Z$  représente la valeur mesurée pour les propriétés du sol; et  $x$  est la position des échantillons de sol.

Pour comparer les méthodes d'interpolation, en termes de précision et de performance, les valeurs interpolées seront extraites sur les 100 sites d'échantillonnage, puis comparées avec les valeurs réelles à l'aide de trois indicateurs de performance :

Erreur quadratique moyenne (RMSE) : la racine carrée de la moyenne arithmétique des carrés des écarts entre les valeurs mesurées et celles interpolées (formule 3).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2} \quad (3)$$

L'erreur absolue moyenne (MAE) : la moyenne arithmétique des valeurs absolues des écarts entre les valeurs mesurées et celles interpolées (formule 4).

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |y_i - y_i'| \quad (4)$$

Coefficient de corrélation (R) : la normalisation de la covariance par le produit des écart-type des variables.

$$R = \sqrt{1 - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2 \right]}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2}} \quad (5)$$

Où :  $y_i$  indique la valeur mesurée;  $y_i'$  la valeur prédite,  $\bar{y}_i$  la moyenne de la valeur mesurée et  $n$  le nombre total d'observations.

## I. Les Résultats

**Table 1** résume les statistiques descriptives des données expérimentales. On note une valeur moyenne de l'ordre de 0,34 ms / cm. Cependant, les valeurs mesurées de la CE montrent une faible variabilité dans l'espace. Les statistiques descriptives de l'ensemble de données relatives au pH du sol sont résumées dans le tableau 43.

Le pH du sol variait de 6,7 à 7,56 avec une valeur moyenne de  $7,34 \pm 0,16$ . L'asymétrie (-1,61), le kurtosis (4,39), la distribution de fréquence (Fig.52) et le tracé QQ normal (Fig. 53, Fig.54 et Fig.55) indiquaient la distribution normale.

Tableau 34. Statistiques descriptives des données utilisées

	Min	Max	averag e	SD*	CV*	Modal value	Kurtosis	Skewness
EC (ms/cm)	0,14	1,61	0,34	0,23	0,7	235	22,28	4,28
TDS (mg/l)	0,07	0,8	0,17	0,12	0,7	117,5	22,28	4,28
pH	6,7	7,56	7,34	0,16	0,02	7,44	4,39	-1,61

\*SD: Standard Deviation ; \*CV: Coefficient of Variation

La zone d'Aleg mauritanien compte parmi les zones les plus touchées dans les années 70. Une grande élimination des mammifères due à la pression de la chasse et à la sécheresse L'écosystème du lac d'Aleg se caractérise par une biodiversité riche mais faiblement valorisée et soumise à des pressions nombreuses.

Les différentes formations végétales comprennent principalement des *Balanites aegyptiaca*, des *Boscia senegalensis*, des *Mauera crassifolia*, des *Capparis decidua* et des *Ziziphus mauritiana* autour de la cuvette du lac, et dans les sols plus sablonneux, on trouve des *Acacia tortilis*, des *Leptadenia pyrotechnica*, et des *Acacia Sénégal*. On rencontre parfois dans les tamourts des reliques de forêts à base d'*Acacia nilotica*, *Ziziphus mauritiana*, *Anogeisus leocarpus* et quelques pieds isolés de baobab).

Ces formations végétales constituent les lieux d'approvisionnement de la population en nourriture sauvage d'origine végétale et en plantes médicinales mais également en bois de chauffe et bois d'oeuvre.

La cueillette des produits forestiers (jujubes, fruit du palmier doum, gomme arabique, gousses d'*Acacia nilotica*, tubercules et fruits de nénuphars, diverses graines, gommes et écorces de Tamat...) fait l'objet d'un petit commerce et par conséquent, sont une source de revenus pour les femmes et les enfants.

Les produits forestiers ligneux (bois d'énergie et bois de service) constituent la principale source d'énergie pour la plupart des ménages ruraux et une composante essentielle dans la construction des logements et des clôtures (tiges de *Calotropis* et d'*Acacias*). Ils constituent également une source complémentaire importante de revenus pour les populations les plus pauvres

qui alimentent le grand nombre de petits restaurants d'Aleg en bois et charbon de bois pour la préparation notamment des méchouis.

La faune (petits mammifères) et la flore (espèces herbacées et aquatiques, ligneux) de la zone du lac restent assez diversifiées au point de vue systématique, et ce, malgré les effets combinés de la sécheresse et des actions néfastes de l'homme sur les ressources naturelles (notamment la coupe abusive des arbres) qui ont eu pour effet la disparition de plusieurs formations forestières, la disparition ou la régression de plusieurs espèces ligneuses, et l'éradication de plusieurs espèces animales sauvages.

Sur le plan ornithologique, le lac d'Aleg joue un rôle indéniable car il sert de zone de passage et d'hivernage pour les oiseaux migrateurs paléarctiques afro-tropicaux ; sarcelles, oies, canards, cigognes, poules d'eau et spatules. Leur diversité est cependant

menacée en raison de nombreuses agressions qu'ils subissent (chasse, piétinement des plantes qui leur servent d'habitat et leur procurent de la nourriture).

L'évaluation de la capacité de prévision des méthodes d'interpolation a été mise en œuvre par le calcul des indicateurs de performance de la modélisation (Institut de recherche sur les ressources en terres, NARC, Islamabad et al., 2018) (tableau 43).

En effet, la méthode OK montre des performances faibles, avec une erreur RMSE proche de 72 et une corrélation R qui reste inférieure à 0,8 pour la CE et avec une erreur RMSE proche de 0,14 et une corrélation R qui reste inférieure à 0,96 pour le pH .

La méthode IDW donne des résultats similaires en ce qui concerne le coefficient de corrélation. Néanmoins, la méthode IDW montre une meilleure qualité de prédiction de la conductivité électrique du sol, avec un RMSE de 0,28, un MAE de 0,01 et un coefficient de corrélation de 0,75 pour la CE d'autre part pour le pH RMSE de 0,0015, un MAE de 0,0002 et un coefficient de corrélation de 0,08 (Tableau. 44).

Tableau 35. Parameters for Evaluating Interpolation Performance

Soil parameter	Interpolation method	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
EC	OK	0,79	72,54	1,04
	IDW	0,75	0,28	0,01
pH	OK	0,96	0,14	0,0006
	IDW	0,08	0,0015	0,0002
TDS	OK	0,79	36,27	0,52
	IDW	0,75	0,14	0,0003

On peut dire que la méthode IDW est plus appropriée pour RMSE et MAE que la méthode OK qui semble bonne pour le coefficient R.

### III. Dégradation du bassin versant du lac d'Aleg

Photos aériennes de 1954. Les critères d'identification classiques utilisés sont le ton, la texture et la structure ainsi que la taille, la forme et le contexte des objets. La caractérisation actuelle de ces unités et objets se base sur l'image HRVIR(Xi) de 2000, notamment une classification non dirigée (figure 51) à 12 classes sur les trois canaux du bleu vert, du rouge et du PIR. Bien qu'en saison sèche (décembre), l'année 2000 correspond à une année très humide qui donne un aperçu de l'extension optimale de la végétation par rapport aux autres dates disponibles.

Les mêmes traitements ont été appliqués à l'image de 1992 pour permettre une comparaison et mettre en évidence l'évolution de ces espaces.

Ceci étant, les résultats cartographiques ainsi obtenus demeurent relatifs. La cartographie permet de mettre en évidence la répartition qualitative de la végétation dans ces espaces et son évolution et elle est notamment utile pour localiser les phénomènes de dégradation quand ils sont exacerbés. Il est en revanche illusoire à ce stade de vouloir quantifier les phénomènes.

La notion de signature spectrale qui sous-tend la plupart des traitements d'images utilisés, bien que très utile, n'est pas parfaite et les confusions entre objets sont impossibles à éliminer totalement. Les variations locales des caractéristiques physiques et bio-chimiques d'objets (humidité, état sanitaire des végétaux, éclaircissement, etc.) entraînent nécessairement des variations spatiales du rapport signal-objet. Ceci étant, même si une validation statistique ne peut être réalisée, nous estimons à l'analyse visuelle des changements et leur confrontation avec les observations de terrain qui les ont confirmées, que la marge d'erreur d'identification reste malgré tout acceptable.

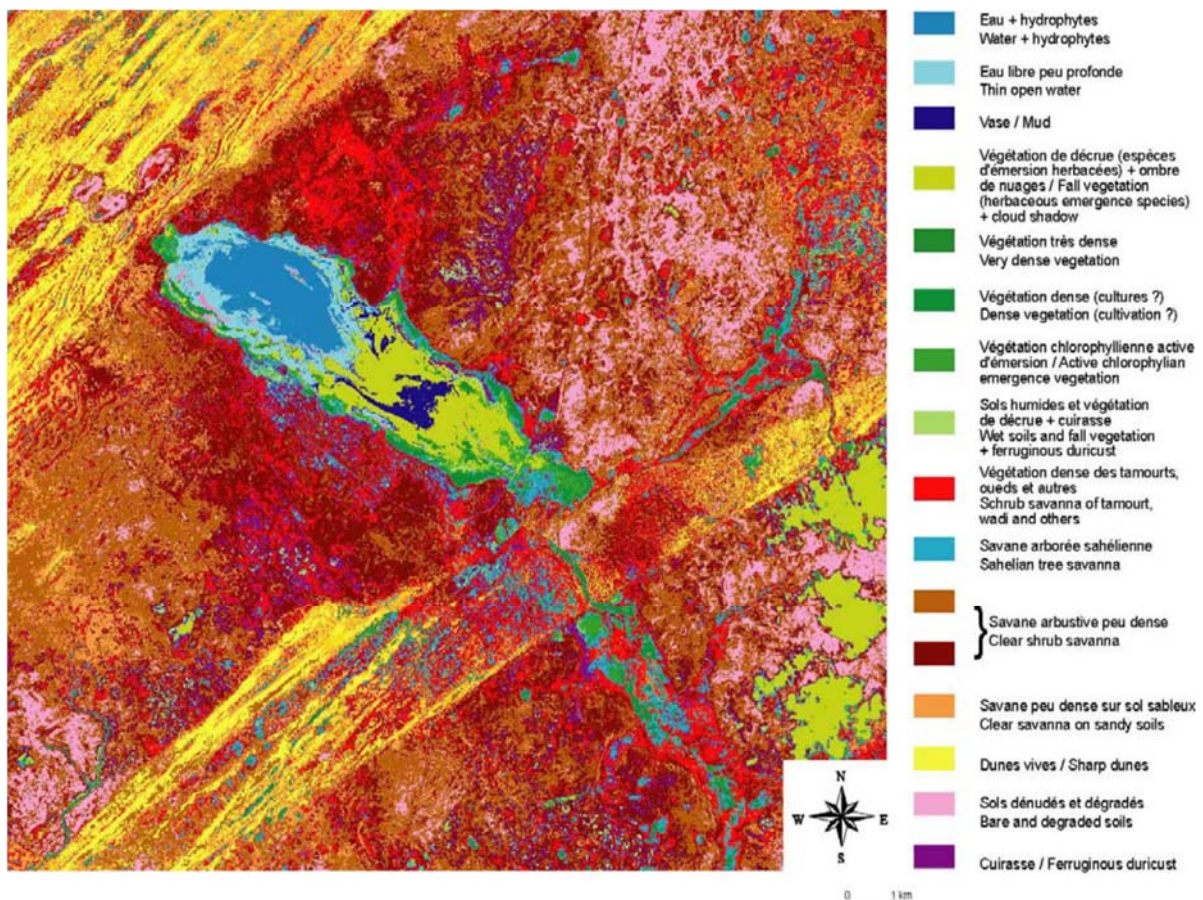


Figure 46 : Classification non dirigée sur les canaux 1 (BV), 3 (PIR) et 2 (R) de l'image HRVIR(Xi) du 12-12-2000. dated 12-12-2000.

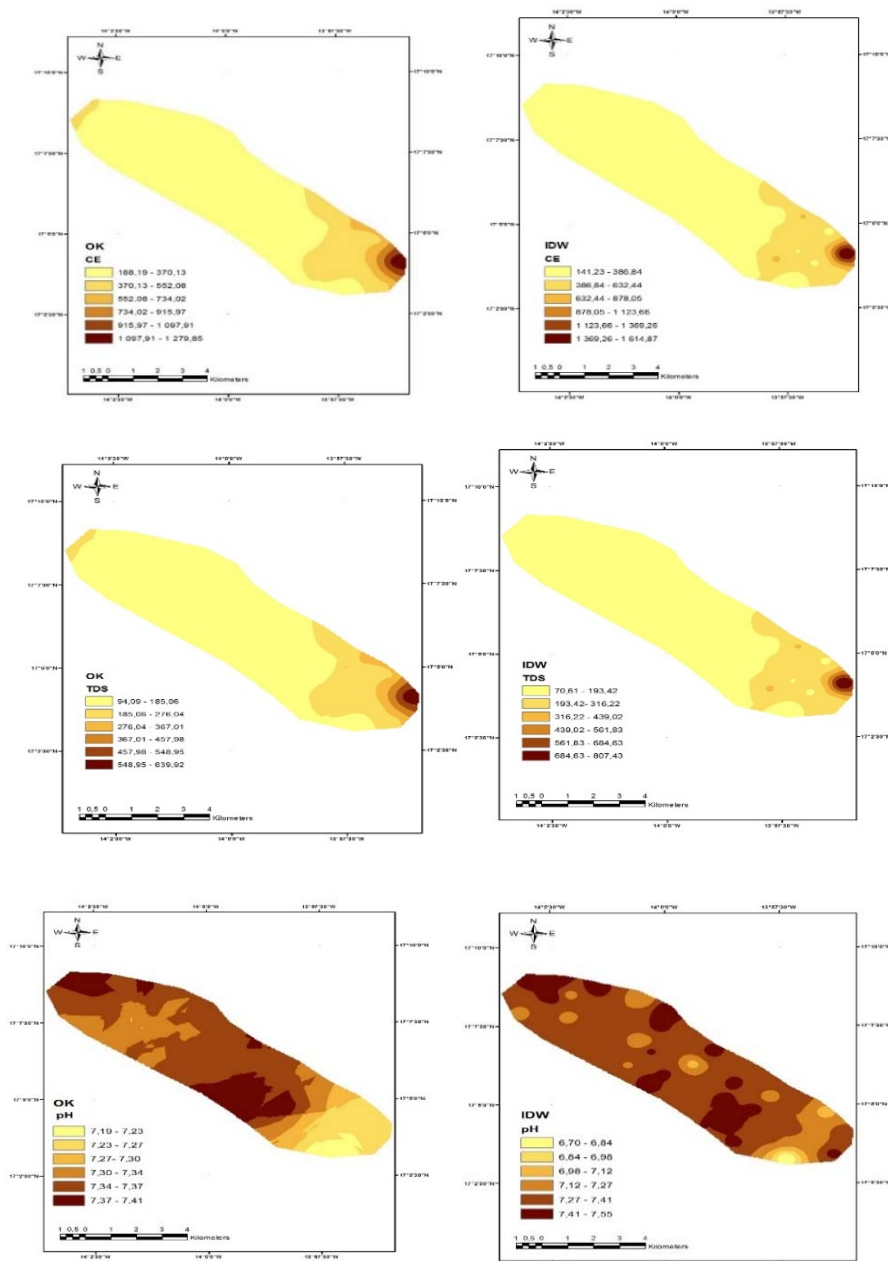


Figure 47 : Carte de répartition spatiale d'CE (mS / cm), pH et la TDS du sol élaborée par la méthode IDW et OK

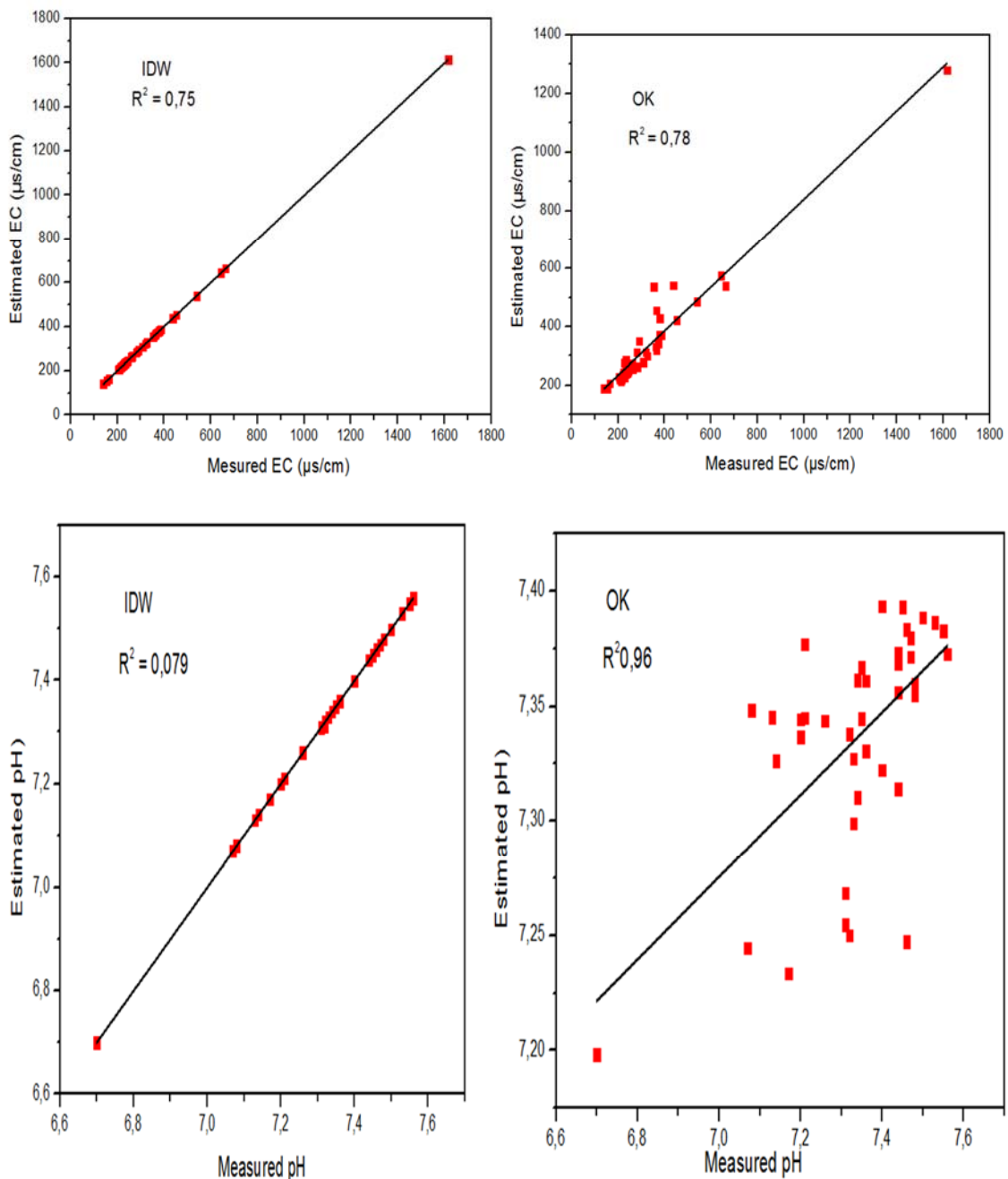
En comparant les résultats obtenus par ce travail avec ceux d'autres études, on peut citer (Abidine et al., 2018; Emadi et Baghernejad, 2014; Poshtmasari et al., 2012) qui ont souligné que la méthode IDW permet de prédire correctement conductivité et pH du sol pour RMSE et MAE. Cependant, (Taïbi et al., 2007) a choisi la méthode OK comme meilleure technique d'interpolation pour la salinité et le pH du sol pour le coefficient R (Bhunja et al., 2018)..

Les statistiques descriptives de l'ensemble de données relatives à la conductivité électrique (ECe) sont résumées dans le tableau 1. EC variait de 0,14 à 1,61 avec une valeur moyenne de

0,34 ± 0,23. Skewness (4.28) kurtosis (22.28) (Varouchakis et Hristopulos, 2013), Les statistiques descriptives de l'ensemble de données relatif au pH du sol sont résumées dans le tableau 44.

Le pH du sol variait de 6,7 à 7,56 avec une valeur moyenne de 7,51 ± 0,49. L'asymétrie (-0,075), le kurtosis (-0,83), la distribution de fréquence (Figure 2) et le tracé QQ normal (Figure 53) indiquaient la distribution normale des données.

La méthode OK a été justifiée par Mohammad et al., 2010, qui ont étudié la distribution spatiale des propriétés du sol en appliquant des techniques d'interpolation telles que IDW et OK





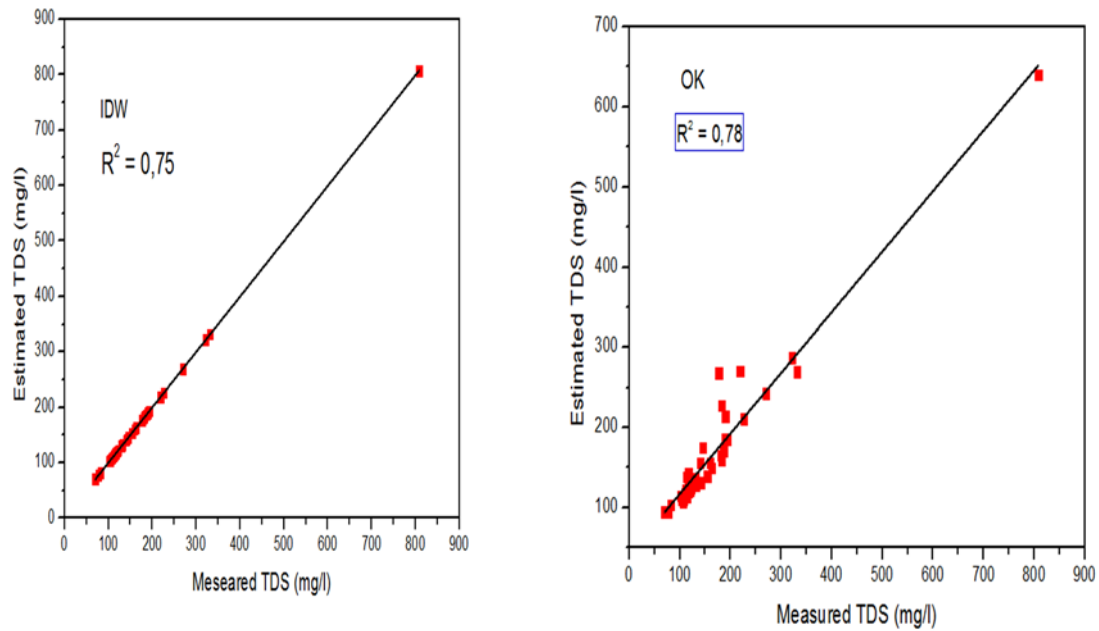


Figure 48 : Nuage de points représentant les valeurs mesurées en fonction des valeurs de la conductivité électrique (CE), pH et du TDS prédites par différentes méthodes.

#### IV. CONCLUSION

Cette étude a révélé la variabilité spatiale de la CE disponible dans le sol et du pH du bassin versant du lac D'Aleg dans la région de Brakna, au sud-ouest de la Mauritanie.

Les résultats de cette recherche indiquent que la géostatistique est une méthode plus appropriée pour l'estimation des propriétés du sol que d'autres méthodes d'interpolation. La comparaison entre les différentes méthodes a montré que le krigeage était la meilleure méthode pour estimer le pH et la conductivité électrique.

Sur la base de la variabilité spatiale de la carte, la conductivité électrique est plus élevée dans le sud-est du lac (zone semi-aride) que dans les zones nord-ouest.

Presque toutes les zones agricoles de la zone sont confrontées à de nombreux problèmes liés à la salinité et la réduction et le contrôle de la salinité des sols constituent l'un des principaux défis de l'agriculture du lac Aleg dans la région de Brakna.

Il est suggéré que, dans les études futures, d'autres méthodes d'interpolation telles que le co-krigeage et les propriétés du sol, telles que Na et SAR, soient utilisées afin de préparer des cartes de précision

## **Conclusion générale**

L'évaluation intégrée des écosystèmes oriente les décideurs en leur montrant l'importance de considérer les aspects de gestion et de bonne gouvernance, en plus des questions relatives aux services des écosystèmes et du bien-être humain. Elle permet, de plus, de mieux comprendre les liens qui existent entre pauvreté et environnement. L'évaluation économique permet de comptabiliser, dans une unité commune, des services fournis par les écosystèmes et qui n'ont pas toujours de valeur commerciale et qui, compte tenu de leur valeur intrinsèque, seront désormais pris en compte au moment des décisions relatives à des actions de développement. Des arbitrages seront réalisés par les décideurs et des compromis recherchés. Dans le cadre de l'écosystème du lac d'Aleg, l'estimation économique a reposé sur des hypothèses et des extrapolations faute de données précises et de moyens plus sophistiqués pour la réaliser mais elle a le mérite de donner une idée concrète de la contribution des services écosystémiques au bien-être de la population et permettre de la prendre en compte lors des choix à faire en matière de développement.

En ce qui concerne les principaux services procurés par l'écosystème du lac d'Aleg, il est nécessaire de réfléchir à la problématique posée, dans sa globalité, lors des décisions qui seront prises en matière de valorisation ou de planification locale.

En effet, si l'on examine la question des ressources en eau qui sont vitales pour la région, il est indispensable de veiller à mieux maîtriser le fonctionnement hydrologique du lac et ses modalités de remplissage ainsi que celle de la nappe souterraine. Par ailleurs, il est nécessaire de considérer également l'impact des barrages et autres ouvrages hydrauliques construits en amont sur les différents affluents, notamment sur l'Oued Ketchi, qui ont certes réduit les pressions sur le lac en offrant d'autres sources d'approvisionnement mais ont également diminué l'apport en eau au lac, le mettant ainsi en péril. Le manque de concertation entre les différentes parties concernées et l'absence de données statistiques concernant les débits ne permettent pas d'effectuer de manière scientifique les arbitrages nécessaires entre les nombreux intérêts concurrentiels et ce, afin d'asseoir une gouvernance de l'eau durable. Il serait judicieux de revoir le plan d'investissement 2005-2015, en cours, dont l'objectif est l'extension du réseau AEP à tous les quartiers de la ville d'Aleg et aux localités périphériques de plus de 500 habitants, dans un cadre global tenant compte de cette problématique. Le

projet AGIRE (Aménagement et Gestion Intégrée des Ressources en Eau) vise entre autre à développer la concertation entre les divers acteurs, par la création de structures locales (comités régionaux de l'eau), afin d'améliorer la gouvernance de l'eau. De même, la « réactivation » du modèle Aqualég, financé par l'Union européenne à la fin des années 90, permettrait de réaliser des bilans hydrologiques du lac d'Aleg sur la base de simulations qui apporteraient une aide à la décision substantielle.

Sur le plan des terres arables, la zone du lac d'Aleg dispose d'un potentiel cultivable de 10 000 ha dont seulement une partie est mise en valeur chaque année. Le mode d'exploitation reste traditionnel et l'agriculture est essentiellement de subsistance. Les rendements sont généralement faibles, avec de faibles moyens techniques et matériels. Par ailleurs, la région a un taux de pauvreté parmi les plus élevés du pays, et une croissance démographique importante due notamment à la sédentarisation des populations nomades, qui augmente la pression sur les ressources naturelles. Les autorités gouvernementales doivent faire face au choix difficile, entre répondre aux besoins immédiats (demande croissante) et tenir compte des besoins de préserver l'environnement à une échéance moins courte, sachant que la dégradation et la surexploitation de ce dernier accentue la pauvreté selon un cercle vicieux. Les actions à synergie positive doivent être privilégiées, c'est-à-dire celles qui conservent ou mettent en valeur un service écosystémique tout en améliorant un autre. A titre d'exemple, l'agroforesterie pourrait satisfaire les besoins humains de nourriture et de combustibles, aider à la récupération des sols et contribuer à la conservation de la biodiversité. De même, l'introduction de semences améliorées, résistantes au changement climatique, nécessitant peu d'intrants tels que l'eau et les engrais chimiques serait à envisager. La ville d'Aleg mettant en place une gestion des déchets ménagers, il serait peut-être judicieux d'explorer la faisabilité d'un projet de production de compost à partir des déchets organiques qui permettrait d'accroître les rendements des cultures, actuellement faibles, et créerait au demeurant des emplois supplémentaires. Le recours à des engrais chimiques pourrait être limité voire évité et les nuisances (pollutions) et inconvénients qui lui sont liés (onéreux, dépendance extérieure, etc.).

En matière d'élevage, la zone du lac d'Aleg a atteint un point de saturation. Il semble nécessaire de passer à un système d'exploitation intensif plutôt qu'extensif et de valoriser certaines filières porteuses et encore sous-exploitées telles les filières avicole, production laitière et de viande. Il serait également intéressant d'explorer la mise en place de projets

d'embouche bovine qui permettraient d'atténuer les impacts négatifs de l'élevage extensif et offriraient des sources de revenus alternatives aux femmes par exemple.

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux du lac d'Aleg, utilisées à des fins d'irrigation dans des exploitations agricoles, comparés aux valeurs guides (FAO), les normes marocain de l'eau d'irrigation et exploité par les méthodes de Riverside et Wilcox nous conduit à conclure que les eaux du lac d'Aleg classés dans la catégorie '*Pas de problème*' particulièrement en ce qui concerne la risque de salinité et leur effet sur la perméabilité. Mais cette perméabilité attaqué par le sodium sur tout en période d'hivernage et spécialement pour les sols de types montmorillonite –Smectite et de type illite – Vermiculite.

Les ions nitrates d'azote et chlorures sont respectent les normes marocain et ajautent les eaux du lac au class '*Pas de problème*' selon les directives de FAO. En autre ces eaux sont subit un chimisme sodique à dominance d'ions carbonates. Les eaux du lac d'Aleg classés par Wilcox en classe '*excellente*' et appartiennent aux classes C1S1, C2S1 selon Riverside c'est-à dire une eau à faible salinité, qualité moyenne à bonne et utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitiers) et déconseillé pour l'irrigation en aspiration

Les eaux du lac d'Aleg sont généralement convenables pour l'irrigation, mais nécessitent un contrôle de qualité exigé et actualisé par les autorités concernées

### **Recommandations :**

- Pour une meilleure prise de décision visant une gestion rationnelle des ressources naturelles axée sur la lutte contre la pauvreté, veiller à prendre en compte les services qui n'ont pas de valeur commerciale
- Assurer la participation effective de tous les acteurs principaux
- Reconnaître les limites d'une évaluation quantitative et que certaines décisions doivent être prises avec une certaine subjectivité
- Prendre en compte les notions d'équité et de vulnérabilité dans la détermination des bénéfices et des coûts

Les ressources en eau renouvelable souterraine de la Mauritanie sont estimées à 0,3 km<sup>3</sup>/an, mais elles se caractérisent par d'importantes disparités géographiques. Les prélèvements d'eau sont en 2000 estimés à 88 % pour l'agriculture, 9 % pour les usages domestiques et 3 % pour l'industrie. La connaissance des eaux souterraines a été améliorée par plusieurs études hydrogéologiques en particulier pour l'approvisionnement en eau potable des principales villes et les estimations sur la disponibilité de la ressource. Les eaux souterraines en Mauritanie sont trouvées à quatre provinces hydrogéologiques, s'identifient d'Est à l'Ouest :

Au bassin du Taoudenni ; Au Socle précambrien et la dorsale Regeuibatte ; La chaîne Mauritanie ; Au Bassin Côtier sénégal-mauritanien. Les principales nappes mauritaniennes sont : nappe Trarza, Nappe du Boulenoir, nappe Benichab, nappe Aleg-Kaedi.

Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail ont permis de mettre en évidence la variation saisonnière de l'indice WQI. Les valeurs obtenues sont comprises entre 668 et 3541 pour la saison sèche. Cependant ces valeurs varient de 1584 à 4272 la saison de pluie.

Ces résultats permettent de classer les eaux dans la catégorie (Unsuitable). L'ACP montre qu'il est possible d'extraire les cinq premières composantes qui représentent 93.74% de la variance totale. La projection, en trois dimensions, des trois premières composantes représente 81.5% de la variance totale. L'analyse des corrélations a montré une parfaite corrélation entre les WQI et la turbidité de l'eau.

Cette étude a révélé la variabilité spatiale de la CE disponible dans le sol et du pH du bassin versant du lac D'Aleg dans la région de Brakna, au sud-ouest de la Mauritanie.

Les résultats de cette recherche indiquent que la géostatistique est une méthode plus appropriée pour l'estimation des propriétés du sol que d'autres méthodes d'interpolation. La comparaison entre les différentes méthodes a montré que le krigeage était la meilleure méthode pour estimer le pH et la CE.

Sur la base de la variabilité spatiale de la carte, la conductivité électrique est plus élevée dans le sud-est du lac (zone semi-aride) que dans les zones nord-ouest.

Presque toutes les zones agricoles de la zone sont confrontées à de nombreux problèmes liés à la salinité et la réduction et le contrôle de la salinité des sols constituent l'un des principaux défis de l'agriculture du lac Aleg dans la région de Brakna. Il est suggéré que, dans les études futures.

## Références bibliographique

- **Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA). (1997)**, L'étude de Faisabilité du Projet de développement du Système D'irrigation agricole dans le haut Delta du fleuve Sénégal, Rapport Principal, pp.13, 112.
- **Ahmed Salem Mohamed. (2011)**, Approches géochimique et hydrodynamique de la recharge de la nappe du Trarza, Sud-Ouest de la Mauritanie. Thèse de doctorat, Université paris-sud, école doctorale : MIPE, laboratoire : IDES, discipline : sciences de la terre.
- **AKATUMBILA .L, MABIALA. M, LUBINI. A, PWEMA. K, MUSIBONO. E. A .(2016)**, Contribution to the evaluation of physico-chemical quality of water: the case of the gombe urban river of kinshasa-city in democratic republic of congo Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°26, Juin 2016, pp. 7-29.
- **ALHOU Bassirou. (2007)**, Thèse Impact des rejets de la ville de Niamey (Niger) sur la qualité des eaux du fleuve Niger facultés universitaires Notre-Dame de la paix Namur faculté des sciences département de biologie.
- **Andreu J.M., García-Sánchez E., Pulido-Bosch A., Jorreto S., Francés I., (2010)**,Influence of Triassic deposits on water quality of some karstic aquifers to the south of Alicante (Spain), *Estudios Geológicos*, 66(1), pp 131-138.
- **Arifi. (1992)**, évolution du secteur des pesticides au Maroc, direction de la protection des végétaux (Département de l'agriculture). Colloque sur les pesticides et leurs utilisations 2426 Septembre 1992. El-Jadida Maroc.
- **AUDE NUSCIA TAÏBI et coll. (2005)**, Diagnostic de la dynamique des ressources hydriques de surface et des processus «désertification» du lac d'Aleg et de son bassin versant (Brakna, Mauritanie) par télédétection satellite multi date, *Télédétection*, vol. 5, n° (1-2-3), p.123-13.
- **Ayers RS et Westcot DW, (1976)** ; La qualité de l'eau en agriculture. Bull. FAO N° 29 Rome 81p.
- **Banque Mondiale. (2012)**, Rapport Final sur l'Appui à l'élaboration de la Stratégie de Développement du Secteur Rural de la Mauritanie.
- **Banque Mondiale. (2014)** ; Rapport Final sur l'Appui à l'élaboration de la Stratégie de Développement du Secteur Rural de la Mauritanie.

- Baudu M., (1995)**, Pollution urbaine par temps de pluie: qualité et traitement des rejets, Recueil des interventions, Université d'été- ENSIL- Limoges, 20, pp 1-20.
- **Bear J. et Verriuyt A., 1987.** Modelling groundwater flow and pollution, Ed. D. Reidel, Dordrecht, 414 p.
  - **Beatriz H., Rafael P., Marisol V., Enrique B., Jose M and Luis F., (2000)**, Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (pisuerga river, Spain) by principal component analysis. *Wat. Res. Vol. (34), 3, 807-816.*
  - **BENYAKHLEF M., NAJI S., BELGHYTI D., EL GUAMRI Y. et HASSOUNI.(2007)**, Caractérisation des rejets liquides d'une conserverie des poissons. *Bull. Soc.Pharm.*, 146: 225-234.
  - **Bocoum M. (2004)**, Méthodes d'analyses des sols. Document de travail. Institut National de Pédologie, Dakar-Sénégal. 55p.
  - **Boschet A.F., (2002)**- Ressources en eau et santé en Europe. *Journal Européen d'Hydrologie, P:1, 33, et 39.*
  - **Caruba. R ET Dars. R., (1991) :** Géologie de la Mauritanie, livre géologique spécifique (Mauritanie), 321p.
  - **Chemfinder, (2004)**-Propriétés physico-chimiques des matières actives. <URL <http://www.chemfinder.com>
  - **Couture I. (2006)**, Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ Montérégie-Est AGRIVISION 2003-2004. 8p.
  - **Couture I. (2006)**, Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation Colloque sur l'irrigation l'eau, source de qualité et de rendement 10 février 2006, Hôtel Mortagne, Boucherville.
  - **CRAAQ. (2003)**, Guide de production des annuelles en caissettes 313p.
  - **DeRegt B. (1990) ;** L'irrigation et la culture du riz au Suriname. Revue le Courrier n°24 Nov. décembre pp 94-95.
  - **Derradji F. (2004) ;** Aptitude des eaux de la vallée de la Seybouse à l'irrigation (Nord-Est algérien). *Revue Sécheresse N° 4, Vol 15, pp: 353-60.*
  - **Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O., Belghity D. (2010)**, Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut sebou en aval de sa confluence avec oued fes. *Larhyss journal* 8 (2010) 101-112.

- **Desbordes A., (2000)**, Pollutions des eaux souterraines en Picardie. Mém. Maîtrise BG, Fc. Sciences, Amiens, 50 p.
  - **Diagrammes (Université d'Avignon)** ([http://www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/Fichiers/Simler/Setup\\_Diagrammes.exe](http://www.terre-et-eau.univ-avignon.fr/Fichiers/Simler/Setup_Diagrammes.exe))
  - **DIALLO A.D. (2012)** ; Etude de la qualité de l'eau de la vallée du fleuve Sénégal utilisée en irrigation dans la plaine de M'Pourié à Rosso (Mauritanie). *ScienceLib Editions Mersenne : Volume 4, N ° 120608 ISSN 2111-4706*.
  - **DUVAIL S. (2002)**, Modifications récentes de l'hydro système deltaïque Mauritanien et Politiques de gestion de l'eau dans le contexte de l'après-barrage Mémoire de DEA, Université Louis Pasteur, UFR de Géographie, Dakar; 141p.
  - **Duvail S. et Hamerlynck O., (2003)**, Hydraulic modeling as a tool for the joint management of a restored wetland: sharing the benefits of managed flood releases from the Diama dam reservoir- *Hydrology and Earth System Sciences, 7, 1, pp. 136-146*.
  - **Duvail S., Bergkamp G., Baba M.L., Acreman M. et Hamerlynck O., (2002)**, Modélisation hydraulique et gestion sociale de l'eau « Gestion Intégrée des Ressources Naturelles dans les Zones Inondables Tropicales »- IRD, Paris, pp. 815-834.
  - **EBLIN Sampah Georges, SOMBO Abé Parfait, SORO Gbombélé Marc, AKA Natchia, KAMBIRÉ Olo, ISORO Nagnin Eblin et al. J. Appl. Biosci. (2014)**, Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiake, Cote d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences 75:6259– 627*.
  - **Eby OULD MOHAMEDOU (2010)**, Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau de mer et des eaux saumâtres traitées par des membranes organiques d'osmose inverse et autopsies après leurs usages: (Cas des unités de dessalement sur le littoral en Mauritanie) thèse de Doctorat, Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences Kenitra, 160 pages.
  - **Eckenfelder W.W., (1982)**, Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, technique et documentation, LAVOISIERR Paris. Édition, Dounod, p. 1384.
  - **El Asslouj J ; e Kholtei S ; El Amrani N et Hilali A. (2007)**, Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. *Afrique SCIENCE 03(1) (2007) 109 – 122*.
  - **Elycheikh Samba. (2013)**, Exploitation minière en Mauritanie et protection de l'environnement, cas de la SNIM, Master en Géologie, Université Mohamed V-Rabat, Souissi.
- Emmanuel AGUIZA ABAI, Auguste OMBOLO, Martin Benoît NGASSOUM et**



- Augustin MBAWALA. (2014)**, Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des cours d'eau de Ngaoundéré, au Cameroun, *Afrique SCIENCE 10(4) (2014) 135 – 145*.
- **Everts J.W., Mbaye D, Barry.O et Mullié C.W (1998)**, Effets de la lutte antiacridienne sur l'environnement- FAO, Projet Locustox, tome III, P: 217.
  - **Fall Moctar. (2006)**, Elevage en Mauritanie : Etat des lieux et perspectives du soussecteur contraintes, atouts et stratégies. Atelier à mi-parcours de la Ministre du Développement Rural du Mauritanie.
  - **FAO. (1976)**, Food Alimentation Organisation : La qualité de l'eau en agriculture. Bull. d'irrigation et drainage n°29. Rome.
  - **Fatimetou Salma M.M.O.S, M. Najy, O. El Rhaouat, N.A Said, M. Bouna, B. A. Dick, Chamekh Mbarek, K. Elkharrim, and Driss Belghyti. (2016)**, Hydrochimy of the High Delta of the Senegal River (Rosso, Mauritania). *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 18 No. 4 Dec. 2016, pp. 1132-1138.
  - **Groupe de la Banque Africaine de Développement., (2014)**, projet de construction du pont de Rosso (résumé de l'étude d'impact environnemental et social (EIES)).
  - **H.G. Peterson. (1999)**. Water quality and Micro-irrigation for horticulture. Agriculture et Agroalimentaire Canada.
  - **Haefele S.M., Johnson E.D., Diallo S., Wopereis M.C.S. ET Janin I., (2000a)**, improved soil fertility and weed management is profitable for irrigated farms in sahelian West Africa *Field Crops Research*, 66, pp. 101-113
  - **Haefele S.M., Wopereis M.C.S., Donovan C. et Maubuisson J., (2001b)**, Improving the productivity and profitability of irrigated rice production in Mauritania- *European Journal of Agronomy*, 14, pp. 181-196.
  - **Hanane HAYZOUN. (2014)**, Thèse pour obtenir le grade de Docteur en Chimie Spécialité : Chimie de l'environnement Caractérisation et quantification de la charge polluante anthropique et industrielle dans le bassin du Sebou École doctorale mer et sciences- toulon (france) et Centre d'études doctorales sciences et technologie » - fès (maroc).
  - **Hbib OULD SIDI ALI. (2006)** : Premières prospections des milieux aquatiques souterrains de Mauritanie: étude hydro biologique dès la rive droite du fleuve Sénégal. Mémoire de DESA de Gestion, Protection et Valorisation des ressources en Eau, Université Cadi Ayya d, Faculté des sciences.

- Horning H M. (1973)**, Rôle de l'aménagement rationnel de l'eau d'irrigation au niveau des exploitations. Séminaire régional FAO/PNUD Damas. 7-13 décembre 1971. pp 10-21.
- <http://fr.ami.mr/Depeche-14056.html>
  - <http://inbo-news.org/robao/TdrOMVS7.pdf>
  - <http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/sar/irrigation/sar-risque-pour-eau-irrigation.htm>
  - [http://www.persee.fr/doc/linly\\_0366-1326\\_1986\\_num\\_55\\_3\\_10751](http://www.persee.fr/doc/linly_0366-1326_1986_num_55_3_10751) □  
<https://www.google.fr/maps/>
  - **Hunter J. Rey L et Scott D (1980)**- L'action de prévention et de lutte contre les maladies dans le cadre des grands travaux hydrauliques.
  - **IPEDA Abdelsalam. (2015)**, Evaluations de la Salubrité Microbiologique et Physicochimique et de la pollution des Eaux de la Nappe Murzuq (SABHA - LIBYE). Thèse de Doctorat, l'université Ibn Tofail, Maroc.
  - **Jackson J. E., (1991)**, User's Guide to Principal Components. Wiley, New York.
  - **Kane.A., (1985)**- Qualité des eaux et des sols dans le bas delta du fleuve Sénégal Communication personnelle.
  - **Kankou Mohamed Ould Sid'Ahmed. (2004)**, Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie. Thèse de Doctorat, l'université de Limoges, option Chimie et Microbiologie de l'Eau, France.
  - **KHADRI Samira. (2009)**, Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néo facteurs de pollution. université badji Mokhtar Annaba faculté des sciences de la terre mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister, option: géosciences.
  - **Kraïem Mustapha. (1986)**, Contribution à l'étude hydrobiologies de trois cours d'eau du nord-ouest de la Tunisie. Présentation, physico-chimie et aperçu faunistique. In: Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon, 55<sup>e</sup> année, n°3. pp. 96-104.
- Lahtela V., (2003)**, Managing the Senegal River: National and local Development Dilemma- *Water Resources Development*, 19, 2, pp. 279-293.
- Leroux, M. (1991)**, La spécificité climatique des montagnes sahariennes. *Revue de géographie alpine*, 79 (1), 23-42.

- **Leservoisié O., (1998)**, Mutations dans la vallée du fleuve Senegal (Mauritanie): affaiblissement des relations de complémentarité en milieu rural- *Urbanisation du Monde Rural*, 33, pp. 127-137.
- **Maawiate A., (1997)**, Contribution à l'étude de l'impact de l'irrigation sur la qualité des eaux et des sols dans le Delta du fleuve Sénégal, Cas du périmètre de M'Pourié (Mauritanie), Mémoire de troisième cycle en Génie Rural, Option : Irrigation, IAV II, Rabat, Maroc, 14, 258p.
- **MEF. (1998)**, Critères de qualité de l'eau de surface au Québec, Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, 387 p.
- **Meglener R., (1992)**, Examining large databases: a chemo-metric approach using Principal Component Analysis. *Mar. Chem.* 39,217-237.
- **Michel P., Barousseau J.P., Richard J.F. et Sall M., (1992)**, L'après barrage dans la vallée du fleuve Senegal (modifications hydrodynamiques et sédimentologies, conséquences sur le milieu et les aménagements hydro-agricoles)- Résultats des travaux du projet CAMPUS 1989-1992, 152 p.
- **Ministère de l'Economie des Finances et de l'industrie (1996)**, Représentation graphique des résultats d'analyses eau minérale, Note technique n° 8, 15 pages.
- **Mint Mohamed Salem K., N'diaye AD, Kankou, M.O.S.A.O., (2011)**, Etude de l'évolution spatio-temporelle de la qualité physicochimique de l'Eau de la Rive droite du fleuve Sénégal. *Science Lib*, 3, 111002, 12
- **MONOTON L. (1969)** ; Données sur l'utilisation des eaux selon leur qualité chimique. Rapport BRGM inédit 69 SGL 122 HYD.
- **N'Diaye A.b, Mint Mohamed Salem K, El Kory M.B, Kankou M.O.S.O et Michel Bauduc. (2013)**, L'évolution Spatiotemporelle De la qualité physicochimique de l'Eau de la Rive droite du fleuve Sénégal .*Larhyss Journal*, 12, 71-83.
- **OMVS., (2006)**, Rapport annuel sur l'Etat de l'Environnement et des ressources Naturelles du bassin du fleuve Sénégal.  
**Oukhouya M. (1999)**, Etude de la valorisation agricole de deux composts d'ordures ménagères. Mémoire de troisième cycle, option sciences du sol, I.A.V HASSANII.  
**OULD CHEIKH Mohamed EL Kory. (2013)**, Physico – chimie des eaux souterraines de certaines régions de la Mauritanie (Trarza, Brakna et Tagant). Thèse de doctorat, université Mohammed v – Agdal, faculté des sciences rabat, discipline : chimie.

- **Ould Mohamed El Moustapha A., (2001)**, Etude de la pollution automobile due aux gaz d'échappement à Nouakchott. Détermination de la teneur en plomb par complexométrie Mémoire de DEA, Université de Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, P: 39.
- **Ould Mohamedou A., Babiero L., Furian S. et Caruba R. (2004)**, L'érosion du sol en Fonction du système pédologique dans le Parc National de Diawling, Mauritanie, Sécheresse (Montrouge), 12, 186p.
- **OULD ZEIN, B. (2012)**, Etude sur les Eléments Sociolinguistiques pour une Réflexion Didactique à Propos de la Situation en Mauritanie. Université de Nouakchott.
- **OULD ZEIN, B. et QUEFFÉLEC, A. (1997)**, Le français en Mauritanie., Vanves, EDICEF-AUPELF, 191 p.
- **PANA. (2004)**, Le programme d'action aux fins d'adaptation aux changements climatiques- Ministre du Développement Rural et de l'Environnement.
- **Rapport du Groupe de Banque Mondial. (2013)**, Sur l'état de l'environnement en Afrique.
- **Richards L. A. (1954)**, Diagnosis and improvement of saline and alkali Soils. Agric. Handbook 60, USDA, Washington D.C, p160.
- **Rodier Jean (1996)**, L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eau résiduaires, eau de mer, Paris.
- **Semega B.M. (1995)**, Interactions physico-chimiques des eaux de la nappe côtière du Trarza(Mauritanie) à Idini et le long du littoral sud. Thèse d'Université, Nice, n° 232.
- **Sidi Ould aloueimine (2006)** Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision Thèse de Doctorat, l'université de limoges, option Chimie et Microbiologie de l'Eau, France.
- **Sivakumar, M. V. K., & Hatfield, J. L. (1990)** - Spatial variability of rainfall at an experimental station in Niger, West Africa. Theoretical and Applied Climatology, 42 (1), 33-39.
- **Teil J.M., Blanchard M. et Chevreuil M., (2003)**- Atmosphérique déposition of organochlorines (PCBs et pesticides) in nothern France- Chemosphere, 55, pp. 501-514.
- **Todd K. (1980)**, Groundwater hydrology. Second edition. New York : John Wiley & Sons, 510 p.
- **Toupet, C., Laclavere, G., & Monod, T. (1977)**, Atlas de la république islamique de Mauritanie (Vol. 3). Jeune Afrique.

- Abidine, M.M.O., El Aboudi, A., Kebd, A., Aloueimine, B.B., Dallahi, Y., Soulé, A., Vadel, A., 2018. Modeling the Spatial Variability of the Electrical Conductivity of the Soil Using Different Spatial Interpolation Methods: Case of the Dawling National Park in Mauritania. *Geogr. Tech.* 13, 1–11. [https://doi.org/10.21163/GT\\_2018.132.01](https://doi.org/10.21163/GT_2018.132.01)
- Aloueimine, B.B., Kankou, M.O., Belghyti, D., 2017. An indexing approach for the assessment of heavy metals in drinking water produced by mauritanian water treatment plant. *Sci. Study Res. Chem. Chem. Eng. Biotechnol. Food Ind.* 18, 319–328.
- Barbiéro, L., Mohamedou, A.O., Caruba, R., 1998. Influence de la maturation des sols de mangrove sur la déflation éolienne et la formation des dunes argileuses dans le delta du fleuve Sénégal. *Comptes Rendus Académie Sci.-Ser. IIA-Earth Planet. Sci.* 327, 115–120.
- Barbiéro, L., Mohamedou, A.O., Laperrousaz, C., Furian, S., Cunnac, S., 2004. Polyphasic origin of salinity in the Senegal delta and middle valley. *CATENA* 58, 101–124. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2004.03.003>
- Bhunia, G.S., Shit, P.K., Maiti, R., 2018. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 17, 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.02.001>
- BOUHATA, R., KALLA, M., 2014. MAPPING OF ENVIRONMENTAL VULNERABILITY OF DESERTIFICATION BY ADAPTATION OF THE MEDALUS METHOD IN THE ENDOREIC AREA OF GADAINA (EASTERN ALGERIA). *Geogr. Tech.* 9.
- Castrignanò, A., Buttafuoco, G., Puddu, R., 2008. Multi-scale assessment of the risk of soil salinization in an area of south-eastern Sardinia (Italy). *Precis. Agric.* 9, 17–31. <https://doi.org/10.1007/s11119-008-9054-4>
- Delavar, M.A., Safari, Y., 2016. Spatial distribution of heavy metals in soils and plants in Zinc Town, northwest Iran. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 13, 297–306. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0868-0>
- ELGHADI, A.V., BALLOUCHE, A., MOGUEDET, G., 2005. Elghadi av, ballouche a, moguedet g. diagnostic de la dynamique des ressources hydriques de surface et des processus de «désertification» du lac d'aleg et de son bassin versant (brakna, mauritanie) par télédétection multidata. 2005;
- Elhag, M., 2016. Evaluation of Different Soil Salinity Mapping Using Remote Sensing Techniques in Arid Ecosystems, Saudi Arabia. *J. Sens.* 2016, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/7596175>

- Emadi, M., Baghernejad, M., 2014. Comparison of spatial interpolation techniques for mapping soil pH and salinity in agricultural coastal areas, northern Iran. *Arch. Agron. Soil Sci.* 60, 1315–1327. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.880837>
- Gorji, T., Sertel, E., Tanik, A., 2017. Interpolation Approaches for Characterizing Spatial Variability of Soil Properties in Tuz Lake Basin of Turkey. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 95, 062010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/6/062010>
- Hani, A., Abari, S.A.H., 2011. Determination-of-Cd-Zn-K-pH-TNV-Organic-Material-and-Electrical-Conductivity-EC-Distribution-in-Agricultural-Soils-using-Geostatistics-and-GIS-Case-Study-South--Western-of-Natanz--Iran. *Int. J. Agric. Biosyst. Eng.* 5, 852–855.
- J. P. Montoroi, 1997. Conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol, Application a un sol sulfate acide sale de Basse-Casamance (SenBgal) *Étude et Gestion des Sols*, 4, 4, 1997, 279–298.
- Johnston, K., 2004. *ArcGIS 9: using ArcGIS geostatistical analyst*. Esri Press.
- Land Resources Research Institute, NARC, Islamabad, Nabi, G., Ahmed, H., Land Resources Research Institute, NARC, Islamabad, Ali, I., Land Resources Research Institute, NARC, Islamabad, 2018. Spatial Distribution of pH in the Soil Profiles of Representative Soil Series from Rice Producing Area, District Sheikhpura. *Soil Environ.* 37. <https://doi.org/10.25252/SE/18/51329>
- Mohammad, Z.-M., TAGHIZADEH-MEHRJARDI, R., Akbarzadeh, A., 2010a. Evaluation of geostatistical techniques for mapping spatial distribution of soil pH, salinity and plant cover affected by environmental factors in Southern Iran. *Not. Sci. Biol.* 2, 92–103.
- Mohammad, Z.-M., TAGHIZADEH-MEHRJARDI, R., Akbarzadeh, A., 2010b. Evaluation of geostatistical techniques for mapping spatial distribution of soil pH, salinity and plant cover affected by environmental factors in Southern Iran. *Not. Sci. Biol.* 2, 92–103.
- Naser, H.M., Sultana, S., Mahmud, N.U., Gomes, R., Noor, S., 2011. Heavy metal levels in vegetables with growth stage and plant species variations. *Bangladesh J. Agric. Res.* 36, 563–574.
- Nezami, M.T., Alipour, Z.T., 2012. Preparing of the soil salinity map using geostatistics method in the Qazvin Plain. *J. Soil Sci. Environ. Manag.* 3, 36–41.
- Nouaceur, Z., 2009. Évolution des précipitations depuis plus d'un demi-siècle en Mauritanie. *Geogr. Tech.* 361–366.

- Pang, S., Li, T.-X., Zhang, X.-F., Wang, Y.-D., Yu, H.-Y., 2011. Spatial variability of cropland lead and its influencing factors: A case study in Shuangliu county, Sichuan province, China. *Geoderma* 162, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.01.002>
- Poshtmasari, H.K., Sarvestani, Z.T., Kamkar, B., Shataei, S., Sadeghi, S., 2012. Comparison of interpolation methods for estimating pH and EC in agricultural fields of Golestan province (north of Iran). *Int. J. Agric. Crop Sci.* 4, 157–167.
- Robinson, T.P., Metternicht, G., 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Comput. Electron. Agric.* 50, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.07.003>
- Seyedmohammadi, J., Esmaeelnejad, L., Shabanpour, M., 2016. Spatial variation modelling of groundwater electrical conductivity using geostatistics and GIS. *Model. Earth Syst. Environ.* 2, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0226-3>
- Taïbi, A.N., Barry, M. el H., Jolivel, M., Ballouche, A., Baba, M.L.O., Moguedet, G., 2007. Enjeux et impacts des barrages de Diama (Mauritanie) et Arzal (France) : des contextes socio-économiques et environnementaux différents pour de mêmes conséquences. *Norois* 51–66. <https://doi.org/10.4000/norois.1536>
- Taïbi, A.N., Barry, M.H., Sanghor, M.W., Ballouche, A., Moguedet, G., n.d. le bas delta du fleuve senegal face au risque de degradation et conflits d’usage dans un contexte des restaurations des ecosistemés et des activites. 2012.
- Tripathi, R., Nayak, A.K., Shahid, M., Raja, R., Panda, B.B., Mohanty, S., Kumar, A., Lal, B., Gautam, P., Sahoo, R.N., 2015. Characterizing spatial variability of soil properties in salt affected coastal India using geostatistics and kriging. *Arab. J. Geosci.* 8, 10693–10703. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2003-4>
- Usowicz, B., Lipiec, J., 2017. Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. *Soil Tillage Res.* 174, 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.015>
- Varouchakis, ε. A., Hristopulos, D.T., 2013. Comparison of stochastic and deterministic methods for mapping groundwater level spatial variability in sparsely monitored basins. *Environ. Monit. Assess.* 185, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2527-y>
- Wang, S., Huang, G.H., Lin, Q.G., Li, Z., Zhang, H., Fan, Y.R., 2014. Comparison of interpolation methods for estimating spatial distribution of precipitation in Ontario, Canada: Comparison of interpolation methods for precipitation distribution. *Int. J. Climatol.* 34, 3745–3751. <https://doi.org/10.1002/joc.3941>

- Yao, R., Yang, J., 2010. Quantitative evaluation of soil salinity and its spatial distribution using electromagnetic induction method. *Agric. Water Manag.* 97, 1961–1970. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.02.001>
- Zehtabian, G.R., Mohammad Asgari, H., Tahmoures, M., 2012. Assessment of spatial structure of groundwater quality variables based on the geostatistical simulation. *Desert* 17, 215–224.



**Annexe 1 : Données climatiques de l'Office National de Météorologie (ONM)**

Tableau 1 : Hauteur de pluie

STATION	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>NOUAKCHOTT</b>	25,8	184,2	64,9	15,5	55,6	189,7	192,9	103,2	64,1	183,1	98,2	115,7	80,8
<b>NEMA</b>	245,7	167,5	235,4	223,7	202,8	228,5	305,1	151,5	224,8	114,7	176,8	138,9	222,0
<b>AIOUN</b>	210,9	231,2	324,6	273,4	341,9	234,1	384,4	183,2	283,7	209,4	169,0	308,7	230,9
<b>KIFFA</b>	363,5	547,0	400,6	264,8	355,4	399,1	488,0	175,6	280,0	302,8	191,5	230,5	185,0
<b>ALEG</b>	268,9	453,7	363,7	276,7	314,5	383,7	525,1	107,2	313,2	253,3	169,7	253,3	365,9
<b>ROSSO</b>	226,0	441,7	336,9	211,6	178,6	410,6	477,8	210,0	287,0	335,5	77,3	354,0	216,3
<b>BOUTILIMIT</b>	79,2	268,6	263,2	130,2	167,7	159,5	283,0	41,8	224,6	136,1	120,7	266,6	197,2
<b>ATAR</b>	53,8	67,2	86,4	43,8	54,4	115,1	78,0	79,8	19,1	58,0	28,7	42,2	65,0
<b>NOUADHIBOU</b>	92,3	52,6	24,3	9,5	3,7	6,2	96,0	3,5	9,8	14,5	1,1	13,6	19,0
<b>TIDJIKJA</b>	59,2	226,0	95,5	102,2	92,8	80,7	163,5	107,9	128,7	129,3	54,2	47,7	163,0
<b>SELIBABY</b>	691,0	530,9	427,9	392,0	365,0	630,1	225,0	119,0	554,2	396,0	412,0	334,5	365,0
<b>ZOUERATE</b>	92,6	81,9	46,3	11,2	51,7	123,6	60,7	18,9	33,9	58,2	28,6	160,3	11,0
<b>BIR MOGHREIN</b>	24,2	80,2	42,9	11,4	64,5	134,5	27,3	79,8	29,0	0,0	1,0	222,7	101,3
<b>AKJOUJT</b>	44,2	105,6	99,2	32,0	78,2	57,2	139,8	104,8	84,8	125,4	9,7	125,9	25,0
<b>National</b>	177,4	245,8	209,7	142,7	166,2	225,2	246,2	106,2	181,2	165,5	109,9	186,8	160,5

Tableau 2 : Nombre de jours de pluie

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>NOUAKCHOTT</b>	7	17	13	7	9	13	27	10	11	19	13	9	9
<b>NEMA</b>	19	26	22	21	23	26	28	8	16	19	18	20	18
<b>AIOUN</b>	24	35	26	25	26	30	32	24	28	29	21	23	18
<b>KIFFA</b>	27	38	25	25	24	27	32	18	24	25	18	22	17
<b>ALEG</b>	28	39	24	23	27	33	36	12	24	18	16	24	28
<b>ROSSO</b>	13	31	25	17	28	23	25	17	21	25	8	28	18
<b>BOUTILIMIT</b>	15	20	13	11	20	15	14	7	18	14	16	14	16
<b>ATAR</b>	17	11	10	7	8	10	8	6	12	8	11	10	11
<b>NOUADHIBOU</b>	8	8	7	5	4	4	5	3	5	4	1	4	5
<b>TIDJIKJA</b>	14	22	17	10	10	19	10	6	9	8	7	12	9
<b>SELIBABY</b>	31	29	29	31	30	31	29	19	29	30	31	30	30

<b>ZOUERATE</b>	12	14	14	4	13	9	8	4	12	9	10	11	9
<b>BIR MOGHREIN</b>	3	10	10	1	10	10							
<b>AKJOUJT</b>	8	13	12	9	10	9	11	5	9	11	10	9	12
<b>National</b>	18	24	18	14	17	19	20	11	17	17	14	17	15

Tableau 3 : Evolution des températures minimales et maximales

		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>NOUAKCHOTT</b>	min.	20,5	21,2	20,4	20,1	21,5	20,3	21,3	19,8	20,7	20,6	20,3	21,4	21,6
	max.	33,3	33,6	33,9	33,4	33,9	32,8	34,0	33,4	32,7	34,0	33,3	33,7	33,4
<b>NEMA</b>	min.	25,4	25,3	24,9	25,0	25,0	25,1	26,2	25,3	24,7	25,0	22,1		
	max.	37,6	37,3	37,0	36,6	37,1	37,4	38,6	37,7	36,3	38,3	36,2		
<b>AIOUN</b>	min.	24,3	24,9	24,1	24,5	24,4	24,7	25,7	25,3	24,0	24,2	24,4	24,7	26,7
	max.	37,4	37,0	36,4	36,7	36,6	36,8	37,6	37,3	25,7	37,0	36,5	36,7	37,9
<b>KIFFA</b>	min.	24,0	23,9	23,2	22,0	23,6	23,6	24,3	24,1	23,3	24,2	23,6		
	max.	38,2	37,8	37,6	37,8	37,7	37,8	39,3	38,9	35,6	37,4	37,1		
<b>ALEG</b>	min.	24,8	25,0	24,8	24,9	25,3	24,6	25,5	24,7	25,0	24,5	24,9		
	max.	37,7	37,0	37,4	37,4	37,4	36,9	37,9	37,1	36,9	37,5	37,8		
<b>ROSSO</b>	min.	20,7	20,9	20,6	20,8	21,7	21,9	22,8	21,9	21,9	22,2	21,6	22,2	22,0
	max.	38,0	37,6	37,9	37,1	36,4	36,2	37,1	36,0	35,4	36,3	36,4	35,9	36,5
<b>BOUTILIMIT</b>	min.	22,5	22,9	22,4	23,0	23,3	22,3	23,9	22,7	23,0	23,7	22,7	22,7	23,2
	max.	35,8	35,2	35,8	36,0	36,0	35,3	36,4	36,2	35,7	36,9	37,8	35,2	37,1
<b>ATAR</b>	min.	23,0	24,2	23,4	23,2	23,5	...	24,2	23,8	21,6	23,2	22,2		
	max.	35,7	36,7	36,3	35,4	35,9	...	37,2	35,4	34,0	36,5	35,6		
<b>NOUADHIBOU</b>	min.	18,0	17,9	18,4	17,9	18,6	18,4	19,4	18,4	18,5	19,0	18,1	18,8	18,7

	max.	28,0	28,2	28,6	28,1	28,8	28,3	28,8	28,0	28,4	29,1	27,9	28,5	28,2
<b>TIDJIKJA</b>	min.	22,4	22,7	22,2	22,6	22,6	20,9	21,9	21,4	22,6	21,5	21,9	23,1	21,9
	max.	36,4	36,0	36,0	36,1	36,0	36,0	37,4	36,2	36,0	35,6	35,2	36,1	35,7
<b>ZOUERATE</b>	min.	19,4	20,6	20,4	18,7	19,7	19,9	21,3	19,8	20,4	20,3	19,6	20,4	20,2
	max.	32,2	32,3	30,2	32,5	32,2	32,9	34,2	33,4	33,4	33,7	33,0	32,4	34,4
<b>AKJOUJT</b>	min.	22,0	23,0	23,3	22,0	...	...	21,9	22,6	22,1	23,6	23,6	21,3	
	max.	35,7	36,7	36,6	35,5	...	...	37,5	36,3	34,5	37,0	36,4	34,4	
<b>National</b>	min.	22,3	22,9	21,8	22,1	22,7	22,2	19,4	18,4	18,5	19,0	18,1	18,8	18,7
	max.	35,6	35,8	35,8	35,2	35,3	35,0	39,3	38,9	36,9	38,3	37,8	36,7	37,9

Tableau 4 : Humidité relative minimale (en %)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<b>NOUAKCHOTT</b>	34,1	35,8	35,0	31,0	32,0	37,0	37,0	32,7	32,0	31,0	32,0	30,3	39,9
<b>NEMA</b>	20,0	26,0	29,0	26,0	22,0	19,0	20,0	17,0	21,0	19,0	17,0		
<b>AIOUN</b>	17,0	21,0	20,0	20,0	20,0	21,0	19,0	17,5	22,0	21,0	20,1	24,0	12,1
<b>KIFFA</b>	26,0	32,0	34,0	30,0	29,0	26,0	24,0	25,0	22,0	21,0	18,0		
<b>ALEG</b>	22,0	26,0	24,0	23,0	26,0	23,0	27,0	22,0	26,0	25,0	24,0		
<b>ROSSO</b>	26,0	29,0	28,0	23,0	31,0	23,0	25,0	26,0	27,0	28,0	25,0	19,0	20,0
<b>BOUTILIMIT</b>	22,0	21,0	21,0	21,0	19,0	25,0	23,0	19,0	20,0	19,0	30,0	18,0	17,0
<b>ATAR</b>	25,0	29,0	26,0	24,0	26,0	...	28,0	19,0	19,7	17,0	17,9		
<b>NOUADHIBOU</b>	46,0	47,0	46,0	41,0	38,0	46,0	50,0	44,0	41,0	43,0	48,0	47,0	51,0
<b>TIDJIKJA</b>	18,0	22,0	19,0	17,0	17,0	17,0	20,0	20,0	19,0	16,0	16,0	16,0	18,0
<b>SELIBABY</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>ZOUERATE</b>	20,0	22,0	23,0	20,0	22,0	22,0	20,0	18,0	19,0	17,0	16,0	19,0	20,0
<b>BIRMOGHREIN</b>	...	41,0	41,0	35,0	38,0	39,0	37,0	44,0	40,0	41,0	42,0		

AKJOUJT	23,0	24,0	23,0	24,0	...	...	22,0	26,0	20,0	19,0	26,0		
National	24,8	26,9	28,1	25,9	26,7	27,1	27,5	25,4	25,7	24,8	25,5	24,8	25,4

Tableau 5: Humidité relative maximale (en %)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
NOUAKCHOTT	79,8	80,3	77,0	74,0	75,0	80,6	82,2	75,3	70,9	75,5	78,8	94,7	83,4
NEMA	46,3	53,3	54,9	48,7	45,0	38,3	37,0	35,0	39,0	39,0	31,0	xxxx	xxxx
AIOUN	39,1	43,8	43,6	40,9	43,3	44,6	40,0	37,1	39,8	43,4	42,0	48,5	25,3
KIFFA	52,4	59,3	60,0	54,8	53,5	54,2	57,0	60,0	48,0	39,0	38,0	xxxx	xxxx
ALEG	49,9	53,8	52,1	48,5	49,2	49,3	51,0	45,0	50,0	40,0	48,0	xxxx	xxxx
ROSSO	71,9	71,8	69,5	44,4	64,1	42,6	55,0	60,0	54,0	64,0	53,0	42,0	41,0
BOUTILIMIT	55,6	56,3	54,7	52,0	50,5	59,7	58,0	52,0	53,0	50,0	49,0	47,0	46,0
ATAR	54,1	54,7	54,6	50,7	50,9	...	62,0	49,0	59,0	48,0	50,0	xxxx	xxxx
NOUADHIBOU	88,0	87,5	88,5	86,5	86,1	87,3	90,0	86,0	82,0	86,0	89,0	86,0	87,0
TIDJIKJA	42,2	48,3	45,5	41,7	41,6	42,2	46,0	43,0	41,0	38,0	38,0	37,0	46,0
SELIBABY	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx
ZOUERATE	56,3	56,3	59,3	55,8	57,0	61,4	58,0	54,0	53,0	53,0	54,0	52,0	51,0
BIR MOGHREIN	...	75,9	75,5	71,4	72,3	73,1	72,0	70,0	70,0	71,0	73,0		
AKJOUJT	48,8	45,1	42,4	43,8	...	...	59,0	46,0	45,0	47,0	33,0		
National	57,0	59,2	59,8	55,8	57,4	57,6	59,0	55,5	55,0	53,9	53,7	58,2	54,2

**Annexe2 : Rapport D'UN ENQUETER DE L'INSPECTION SANITAIRE (Aleg, Mauritanie)**

Prépare par :

**-Yahya Maham Ould Sidi**Laboratoire Geo-Bio diversité Patrimoine National (LGBPN) institut Scientifique  
Université Mohammed V, Rabat-Maroc.**-Brahim Ahmed DICK**

Unité de recherche Eau- Pollution-Environnement/FST/U. Nouakchott. Moderne/Mauritanie.

Pour l'amélioration de la qualité des eaux du lac d'Aleg, on fait une enquête sanitaire pour cela, nous avons rendu une visite au site d'étude pour contrôler l'état sanitaire et la santé environnementale de la population du site d'étude. Notre arrivée a commencé par des visites de contact avec la Direction Régionale de la Santé et Affaires Sociales (DRASS), le Médecin chef du Centre de santé à Aleg et le Médecin chef du centre Hospitalière d'Aleg et les services d'Hygiène et sante environnementales.

## I. Etat sanitaire de la population la région de Brakna

### I.1. Consultation de la population la région de Brakna de deux dernières années 2017-2018 par tranche d'âge :

Population	0-4 ans	4-15 ans	Adultes	Total
Année				
2017	4646	4059	9418	18123
2018	7234	5715	13648	26597

### I.2. Proposition des consultations de la population la région de Brakna par tranche d'âge et par an :

Année	0- 4 ans	4-15 ans	Adultes
2017	25.63%	22.40%	51.97%
2018	27.20%	21.49%	51.31%

### I.3. Motifs des consultations de la population de la zone du Brakna en 2017

Tanche d'âge	0-4	4-15	Adultes	Total	Proportion %
Cas Affectation					
Paludisme présumé	1193	1074	2965	5232	28.87%
Paludisme grave	21	33	215	269	1.48%
Diarrhée	2261	2057	4481	8799	48.55%
Dysenterie	1072	852	1722	3646	20.12%
Malnutrition	97	41	35	173	0.95%

Typhoïde	2	2	0	4	0.022%
----------	---	---	---	---	--------

## I.3.1. Classification des affections par importance en 2017 pour la population du Brakna

N°	Affections	Proportions
1	Diarrhée	48.55%
2	Paludisme présumé	28.87%
3	Dysenterie	20.12%
4	Paludisme grave	1.48%
5	Malnutrition	0.95%
6	Typhoïde	0.022%

**Remarque :** cette classification nous permet de citer les causes à effets suivantes :

- Pollution des eaux brute du lac.
- Contamination alimentaire. - Intoxication alimentaire
- Intoxication par Ingestion
- Intoxication par contact

## I.4. Motifs des consultations de la population de la zone du Brakan en 2017

## I.4.1. Classification des affections par importance en 2018

N°	Affections	Proportions
1	Diarrhée	49.37%
2	Paludisme présumé	30.35%
3	Dysenterie	16.87%
4	Paludisme grave	2.34%
5	Malnutrition	1.06%
6	Typhoïde	0.053%

**Remarque :** cette classification nous permet de citer les causes à effets suivantes :

- Pollution des eaux brute du lac.
- Contamination alimentaire.
- Intoxication alimentaire
- Intoxication par contact
- Intoxication par Ingestion

### I.5. Classification des cas de maladies principales au Brakna durant 2017-2018

N°	Affections	Nombre de cas
1	Diarrhée	21921
2	Paludisme présumé	13304
3	Dysenterie	8132
4	Paludisme grave	891
5	Malnutrition	454
6	Typhoïde	18

## II. Etat sanitaire de la population la zone d'Aleg

### II.1. Consultation de deux dernières années 2017-2018 par tranche d'âge

Population	0-4ans	4-15ans	Adultes	Total
Année				
2017	1875	1023	2746	5644
2018	1853	1025	2829	5707

### II.2. Proposition des consultations de la zone d'Aleg par tranche d'âge et par an

Année	0-4ans	4-15ans	Adultes
2017	33.22%	18.12%	48.65%
2018	32.47%	17.96%	49.57%

### II.3. Motifs des consultations de la population civile de la zone d'Aleg en 2017

Tanche d'âge	0-4 ans	4-15ans	Adultes	Total	Proportion%
Cas Affectation					
Paludisme présumé	538	396	1313	2247	39.81%
Paludisme grave	3	1	5	9	0.17%

diarrhée	1141	416	996	2553	45.23%
Dysenterie	182	208	432	822	14.56%
Malnutrition	9	0	0	9	0.16%
Typhoïde	2	2	0	4	0.070%

### II.3.1. Classification des affections par importance en 2017 pour la population de la zone d'Aleg

N°	Affections	Proportions%
1	Diarrhée	45.23%
2	Paludisme présumé	39.81%
3	Dysenterie	14.56%
4	Paludisme grave	0.17%
5	Malnutrition	0.16%
6	Typhoïde	0.070%

**Remarque :** cette classification nous permet de citer les causes à effets suivantes :

- Pollution des eaux brute du lac
- Contamination alimentaire. -  
Intoxication alimentaire -  
Intoxication par contact.

### II.4. Motifs des consultations de la population civile de la zone d'Aleg en 2017

Tanche d'âge	0-4ans	4-15 ans	Adultes	Total	Proportion%
<b>Cas Affectation</b>					
Paludisme présumé	605	430	1254	2289	40.11%
Paludisme grave	0	0	6	6	0.105%



Diarrhée	1045	437	1198	2680	46.96%
Dysenterie	169	156	371	696	12.19%
Malnutrition	34	2	0	36	0.63%
Typhoïde	0	0	0	0	0.00%

#### II.4.1. Classification des affections par importance en 2017 pour la population de la zone d'Aleg

N°	Affections	Proportions
1	Diarrhée	46.96%
2	Paludisme présumé	40.11%
3	Dysenterie	12.19%
4	Malnutrition	0.63%
5	Paludisme grave	0.105%
6	Typhoïde	0.00%

**Remarque :** cette classification nous permet de citer les causes à effets suivantes :

- Pollution des eaux brute du lac.
- Contamination alimentaire.
- Intoxication alimentaire
- Intoxication par ingestion
- Intoxication par contact

#### II.5. Classification des cas de maladies principales à Aleg durant 2017-2018

N°	Affections	Nombre de cas
1	Diarrhée	5233
2	Paludisme présumé	4536
3	Dysenterie	1518
4	Malnutrition	45
5	Paludisme grave	15
6	Typhoïde	4

**III-Recommandations :** Devant ces causes à effets on recommande les articles suivants :

- Faire des stations de traitements de l'eau pour améliorer la qualité des eaux.
- Sensibiliser la population sur les conductions d'hygiène.

- Sensibiliser la population sur la nécessité de l'utilisation de l'eau javel pour désinfecter l'eau.

### **Annexe 3: Les Coordonnées en GPS des stations des sols prélevées du lac d'Aleg.**

### **Annexe 3: Les résultats physico-chimiques**

Les résultats physico-chimique de mon étude sur les eaux du lac d'Aleg localisé à la ville d'Aleg durant la période de les deux ans 2017-2018 (27 Paramètres) sont représentent dans le tableau suivant..

#### **1- Les paramètres physiques**

**Tableau 1 : Les valeurs du pH**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1 s/ seche	pv2 s / pluie	pv3 S / seche	pv4 s/ pluie	Moyenne
Mechraa	Aleg 1	7,2	7,15	6,95	7,57	7,22
Akreraye	Aleg 2	7,14	7,2	6,93	7,35	7,16
Mechraa veived	Aleg 3	7,3	7,29	7,43	7,25	7,32
Dwalek	Aleg 4	7,52	7,5	7,82	7,61	7,61
Mechraa elbel	Aleg 5	7,42	7,48	7,03	7,2	7,28
Enegabe	Aleg 6	7,55	7,55	7,14	7,56	7,45
Mechraa Levreiwatt1	Aleg 7	7,51	7,63	sec	7,61	7,58
Mechraa Levreiwatt2	Aleg 8	7,56	7,6	sec	7,58	7,58
Mechraa Lehjare	Aleg 9	7,6	7,64	7,25	7,58	7,52
Avreiraye	Aleg 10	7,62	7,65	7,08	7,79	7,54
Moyenne		7,44	7,47	7,20	7,51	7,43

**Tableau 2: les valeurs de la température T en °C**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1 s seche	pv2 s pluie	pv3 S seche	pv4 s pluie	Moyenne
Mechraa	Aleg1	23	30,3	21	28,6	25,73
Akreraye	Aleg2	23	30,2	23	28,8	26,25

Mechraa veived	Aleg3	23,5	30,3	25	28,1	26,73
Dwalek	Aleg4	24	30,3	26,7	28,7	27,43
Mechraa elbel	Aleg5	24	30,2	27,1	28,8	27,53
Enegabe	Aleg6	24	30,2	24,3	28,6	26,78
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	23	30,1	sec	28,7	27,27
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	23,6	30,3	sec	28,8	27,57
Mechraa Lehjare	Aleg9	24	30,2	25,9	28,9	27,25
Avreiraye	Aleg10	23,7	30,2	30,3	28,8	28,25
		23,5272727	30,2181818	25,4125	28,6818182	27,0931818

**Tableau 3:** les valeurs de la conductivité électrique (CE) en mS/cm

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	518	101	530	152	325,25
Akrraye	Aleg2	444	107	475	165	297,75
Mechraa veived	Aleg3	339	109	550	116	278,50
Dwalek	Aleg4	382	257	417	316	343,00
Mechraa elbel	Aleg5	393	259	450	464	391,50
Enegabe	Aleg6	364	182	539	117	300,50
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	410	220	sec	341	323,67
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	624	220	sec	294	379,33
Mechraa Lehjare	Aleg9	346	187	513	284	332,50
Avreiraye	Aleg10	702	67	395	244	352,00
moy		452,2	170,9	483,625	249,3	332,40

35,66

**Tableau 4 :** les Valeurs de Sels totaux dissous TDS en mg/l.

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne

Mechraa	Aleg1	259	50,5	265	76	162,63
Akreraye	Aleg2	222	53,5	237	82,5	148,75
Mechraa veived	Aleg3	169,5	54,5	275	58	139,25
Dwalek	Aleg4	191	128,5	208	158	171,38
Mechraa elbel	Aleg5	196,5	129,5	225	232	195,75
Enegabe	Aleg6	182	91	269	58,5	150,13
Mechraa Levriwatt1	Aleg7	205	110	sec	170,5	161,83
Mechraa Levriwatt2	Aleg8	312	110	sec	147	189,67
Mechraa Lehjare	Aleg9	173	93,5	256	142	166,13
Avreiraye	Aleg10	351	33,5	197	122	175,88
<b>moy</b>		<b>226,1</b>	<b>85,45</b>	<b>241,5</b>	<b>124,65</b>	<b>166,14</b>

**Tableau 5 : Les Valeurs de (MES) en mg/l.**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyen
Mechraa	Aleg1	0,18	0,12	4	0,16	1,12
Akreraye	Aleg2	0,5	0,13	0,17	0,04	0,21
Mechraa veived	Aleg3	0,12	1,78	1,5	0,03	0,86
Dwalek	Aleg4	0,27	0,21	1,22	0,32	0,51
Mechraa elbel	Aleg5	0,22	0,04	0,03	0,1	0,10
Enegabe	Aleg6	0,2	0,21	0,01	0,011	0,11
Mechraa Levriwatt1	Aleg7	0,04	0,03	SEC	0,01	0,03
Mechraa Levriwatt2	Aleg8	0,07	0,08	SEC	0,006	0,05
Mechraa Lehjare	Aleg9	0,016	0,06	5,61	0,001	1,42
Avreiraye	Aleg10	0,23	0,04	1,01	0,001	0,32

Moy		0,765	0,734	0,747	0,787	0,76
-----	--	-------	-------	-------	-------	------

**Tableau 6 : Les Valeurs de Turbidité en NTU.**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	276	800	370	269	428,75
Akreraye	Aleg2	293	800	262	458	453,25
Mechraa veived	Aleg3	603	800	270	366	509,75
Dwalek	Aleg4	589	478	375	495	484,25
Mechraa elbel	Aleg5	690	430	278	471	467,25
Enegabe	Aleg6	141	912	205	518	444,00
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	626	331	Sec	450	469,00
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	335	544	Sec	347	408,67
Mechraa Lehjare	Aleg9	342	857	325	186	427,50
Avreiraye	Aleg10	771	697	497	541	626,50
moy		466,6	664,9	322,75	410,1	471,89

**Tableau 7 : Les Valeurs de Residue sec (RS) en mg/l.**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3		pv4
Mechraa	Aleg1	0,73	0,03	0,02		0,02
Akreraye	Aleg2	0,09	0,01	0,02		0,02
Mechraa veived	Aleg3	0,2	0,01	0,01		0,01
Dwalek	Aleg4	0,16	0,01	0,02		0,02
Mechraa elbel	Aleg5	0,92	0,02	0,03		0,03
Enegabe	Aleg6	0,99	0,04	0,01		0,01
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	0,81	0,01	SEC		0
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	1,44	0,01	SEC		0
Mechraa Lehjare	Aleg9	1,73	0	0,02		0,02

Avreiraye	Aleg10	0,2	0	0,01		0,01
<b>Moy</b>		<b>0,765</b>	<b>0,734</b>	<b>0,747</b>		

## 2- Les paramètres physico-Chimique

**Tableau 8 : Les Valeurs de TH en F°**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	8,006	5,2	8	1,8	5,75
Akreraye	Aleg2	8,6	4,6	6,4	0	4,90
Mechraa veived	Aleg3	5,2	8,2	8,2	2	5,90
Dwalek	Aleg4	6,4	8	9,6	4	7,00
Mechraa elbel	Aleg5	6,004	9,6	10,6	2,6	7,20
Enegabe	Aleg6	5,4	4,6	11,4	2,2	5,90
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	7,2	4,8	0	2,4	3,60
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	12,2	5,6	0	1,6	4,85
Mechraa Lehjare	Aleg9	6,2	5,4	9,8	2,4	5,95
Avreiraye	Aleg10	9,8	2,2	8	2	5,50
<b>Moy</b>		<b>7,501</b>	<b>5,82</b>	<b>7,2</b>	<b>2,1</b>	<b>5,66</b>

**Tableau 9: les valeurs du calcium (Ca<sup>2+</sup>) en mg/l**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyen
Mechraa	Aleg1	40,08	14,4	28,05	5,6	22,03
Akreraye	Aleg2	46,49	18,43	12,02	10,4	21,84
Mechraa veived	Aleg3	28,05	32,86	20,84	7,2	22,24
Dwalek	Aleg4	34,47	32,8	12,02	7,2	21,62
Mechraa elbel	Aleg5	33,67	16,8	18,43	8,01	19,23
Enegabe	Aleg6	16,03	18,43	22,44	8,01	16,23

Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	33,67	24,84	Sec	8,81	22,44
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	54,5	28,05	Sec	6,4	29,65
Mechraa Lehjare	Aleg9	29,66	18,43	22,44	7,2	19,43
Avreiraye	Aleg10	40,88	10,42	21,6	7,2	20,03
<b>Moy</b>		<b>35,75</b>	<b>21,546</b>	<b>19,73</b>	<b>7,603</b>	<b>21,47</b>

**Tableau10** : les valeurs du magnésium (Mg<sup>2+</sup>) en mg/l

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyen
Mechraa	Aleg1	26,244	10,2	2,43	0,97	9,96
Akrraye	Aleg2	30,618	5,83	8,26	1,45	11,54
Mechraa veived	Aleg3	21,87	13,6	7,29	0,4	10,79
Dwalek	Aleg4	34,506	16,52	16,03	5,3	18,09
Mechraa elbel	Aleg5	19,44	16,03	14,58	1,4	12,86
Enegabe	Aleg6	24,786	17,49	14,09	0,4	14,19
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	23,328	11,66	sec	0,48	11,82
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	44,712	13,12	sec	0	19,28
Mechraa Lehjare	Aleg9	20,898	11,17	10,2	1,45	10,93
Avreiraye	Aleg10	45,198	6,8	6,3	0,48	14,69
<b>Moy</b>		<b>29,16</b>	<b>12,242</b>	<b>9,8975</b>	<b>1,233</b>	<b>13,42</b>

**Tableau 11** : les valeurs du Chlorure (Cl<sup>-</sup>) en mg/L

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	35,5	10,65	95,8	17,75	39,93
Akrraye	Aleg2	28,4	10,65	60,35	24,85	31,06
Mechraa veived	Aleg3	31,95	17,75	60,35	28,4	34,61
Dwalek	Aleg4	17,75	28,4	49,7	31,95	31,95

Mechraa elbel	Aleg5	24,85	14,2	46,15	24,85	27,51
Enegabe	Aleg6	24,85	10,65	42,6	21,3	24,85
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	46,15	17,75	0	35,5	24,85
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	78,1	17,75	0	17,75	28,40
Mechraa Lehjare	Aleg9	24,85	14,2	42,6	21,3	25,74
Avreiraye	Aleg10	102,95	7,1	31,945	31,95	43,49
moy		41,535	14,91	42,9495	25,56	31,24

**Tableau 12:** Les valeurs de Potassium K<sup>+</sup> en mg/L

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	24	14	6	7	12,75
Akreraye	Aleg2	22	12	8	8	12,5
Mechraa veived	Aleg3	20	9	7	6	10,5
Dwalek	Aleg4	20	9	10	9	12
Mechraa elbel	Aleg5	20	9	6	7	10,5
Enegabe	Aleg6	25	15	4	6	12,5
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	26	15	Sec	7	16
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	31	18	Sec	5	18
Mechraa Lehjare	Aleg9	21	12	6	8	11,75
Avreiraye	Aleg10	35	10	8	7	15
moy		24,4	12,3	6,875	7	13,15

**Tableau 13 :** les valeurs de Sodium Na<sup>+</sup> en mg/l

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	32	20	25	30	26,75
Akreraye	Aleg2	29	14	38	40	30,25
Mechraa veived	Aleg3	25	12	36	35	27,00
Dwalek	Aleg4	26	13	48	52	34,75



Mechraa elbel	Aleg5	26	13	30	35	26,00
Enegabe	Aleg6	27	13	20	25	21,25
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	31	15	Sec	30	25,33
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	46	25	Sec	28	33,00
Mechraa Lehjare	Aleg9	27	13	40	45	31,25
Avreiraye	Aleg10	51	26	41	40	39,50
moy		32	16,4	34,75	36	29,51

**Tableau 14** : Les Valeurs de (TAC) en mg/l.

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	257,5	40	140	30	116,88
Akrraye	Aleg2	207,5	30	170	60	116,88
Mechraa veived	Aleg3	157,5	75	310	35	144,38
Dwalek	Aleg4	105	80	290	55	132,50
Mechraa elbel	Aleg5	185	80	200	40	126,25
Enegabe	Aleg6	155	70	250	50	131,25
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	165	55	Sec	40	86,67
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	275	90	Sec	35	133,33
Mechraa Lehjare	Aleg9	150	35	235	35	113,75
Avreiraye	Aleg10	220	25	195	40	120,00
Moy		0,765	0,734	0,747	42	122,19

**Tableau 15** : les valeurs du Bi-carbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en mg/l

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyen
Mechraa	Aleg1	320,25	54,9	176,9	42,7	148,69
Akrraye	Aleg2	259,25	42,7	213,5	79,3	148,69
Mechraa veived	Aleg3	198,25	97,6	384,3	48,8	182,24

Dwalek	Aleg4	189,1	103,7	359,9	73,2	181,48
Mechraa elbel	Aleg5	231,8	103,7	250,1	54,9	160,13
Enegabe	Aleg6	195,2	91,5	311,1	67,1	166,23
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	207,4	73,2	Sec	54,9	111,83
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	341,6	115,9	Sec	48,8	168,77
Mechraa Lehjare	Aleg9	189,1	48,8	292,9	48,8	144,90
Avreiraye	Aleg10	274,5	36,6	244	54,9	152,50
moy		240,645	76,86	279,0875	57,34	156,54

**Tableau 16 :** Les Valeurs de carbonique (CO2) en mg/l.

		2 17		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	35,2	57,2	17	57,2	41,65
Akrraye	Aleg2	66	66	17,6	96,8	61,60
Mechraa veived	Aleg3	52,8	92,4	26,4	74,8	61,60
Dwalek	Aleg4	52,8	79,2	30,8	96,8	64,90
Mechraa elbel	Aleg5	44	70,4	8,8	44	41,80
Enegabe	Aleg6	44	48,4	17,6	92,4	50,60
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	79,2	88	Sec	83,6	83,60
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	61,6	61,6	Sec	92,4	71,87
Mechraa Lehjare	Aleg9	61,6	44	8,8	88	50,60
Avreiraye	Aleg10	70,4	52,8	22	88	58,30
Moy		0,765	0,734	0,747	78	58,65

**Tableau 17 :** Les Valeurs de l'oxydabilite en mg/l.

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	0,19	21,88	7,8	5,5	8,8425
Akrraye	Aleg2	0,58	18,43	8,5	5,5	8,2525

Mechraa veived	Aleg3	0,7	22,4	7,1	5,63	8,9575
Dwalek	Aleg4	0,64	16	8,8	6,01	7,8625
Mechraa elbel	Aleg5	0,38	17,6	9	5,76	8,185
Enegabe	Aleg6	0,32	20,28	6,2	6,4	8,3
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	1,22	12,99	SEC	24,96	13,0566667
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	0,32	8,76	SEC	5,56	4,88
Mechraa Lehjare	Aleg9	0,32	10,24	5,7	28,16	11,105
Avreiraye	Aleg10	0,45	11,52	8,6	5,12	6,4225
Moy		0,765	0,734	0,747	9,86	8,586416667

### 3- les paramètres de pollution

**Tableau 18 :** les valeurs du Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) en mg/l

Nom	Abreviation	2017		2018		Moyenne
		pv1	pv2	pv3	pv4	
Mechraa	Aleg1	58	41	65	94	64,50
Akreraye	Aleg2	61	19	66	43	47,25
Mechraa veived	Aleg3	27	10	80	57	43,50
Dwalek	Aleg4	22	5	58	93	44,50
Mechraa elbel	Aleg5	51	1	82	58	48,00
Enegabe	Aleg6	21	1	34	82	34,50
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	9	20	0	87	29,00
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	10	2	0	89	25,25
Mechraa Lehjare	Aleg9	14	2	70	97	45,75
Avreiraye	Aleg10	10	36	70	106	55,50
Moy		28,3	13,7	52,5	80,6	43,78

**Tableau 19:** Les Valeurs d'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en mg/l.

	2017	2018
--	------	------

Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	0,31	0,01	0	0,27	0,15
Akreraye	Aleg2	0,31	0	0,13	0,13	0,14
Mechraa veived	Aleg3	0,27	0	0	0,16	0,11
Dwalek	Aleg4	0,12	0	0,08	0,12	0,08
Mechraa elbel	Aleg5	0,4	0	0,02	0,36	0,20
Enegabe	Aleg6	0	0	0	0,24	0,06
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	0	0	Sec	0,22	0,07
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	0	0	Sec	0,21	0,07
Mechraa Lehjare	Aleg9	0	0	0,03	0,32	0,09
Avreiraye	Aleg10	0	0,22	0	0,24	0,12
<b>Moy</b>		<b>0,14</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,23</b>	<b>0,11</b>

0,06

0,20

0,04

**Tableau 20** : Les Valeurs de Nitrite (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en mg/l.

Nom	Abreviation	2017		2018		Moyenne
		PV1	PV2	PV3	PV4	
Mechraa	Aleg1	12,6	0,52	6,8	2,7	5,66
Akreraye	Aleg2	10	0,54	4	1,64	4,05
Mechraa veived	Aleg3	9	2	3,6	4,6	4,80
Dwalek	Aleg4	15	0,38	2,7	2,8	5,22
Mechraa elbel	Aleg5	11,8	0,74	3,2	2,4	4,54
Enegabe	Aleg6	6	0,2	4,8	1,96	3,24
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	8	0,3	Sec	3,2	3,83

Mechraa Levriwatt2	Aleg8	13,8	0,54	Sec	3,2	5,85
Mechraa Lehjare	Aleg9	3,8	0,54	1,6	2,7	2,16
Avreiraye	Aleg10	5,4	0,52	1,4	1,26	2,15
<b>Moy</b>		<b>9,54</b>	<b>0,63</b>	<b>3,51</b>	<b>2,65</b>	<b>4,15</b>

1,32

**Tableau 21** : Les Valeurs de Nitrate (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) en mg/l.

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	0,38	0,1	0,14	0,87	0,37
Akreraye	Aleg2	0,33	0,04	0,2	0,29	0,22
Mechraa veived	Aleg3	0,3	0,1	0,09	0,42	0,23
Dwalek	Aleg4	0,14	0,04	0,65	0,6	0,36
Mechraa elbel	Aleg5	0,59	0,01	0,11	1,25	0,49
Enegabe	Aleg6	1	0,02	0,06	0,9	0,50
Mechraa Levriwatt1	Aleg7	0,31	0,01	Sec	0,91	0,41
Mechraa Levriwatt2	Aleg8	0,05	0,05	Sec	1,25	0,45
Mechraa Lehjare	Aleg9	1,6	0,04	0,22	1,05	0,73
Avreiraye	Aleg10	0,05	0,18	0,13	0,96	0,33
<b>Moy</b>		<b>0,48</b>	<b>0,06</b>	<b>0,20</b>	<b>0,85</b>	<b>0,41</b>

**Tableau 22** : Les Valeurs de plomb (Pb) en µg/l.

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	1,52	1,43	0,001	0,0002	0,9834
Akreraye	Aleg2	1,06	0,99	0,003	0,0001	0,68336667
Mechraa veived	Aleg3	0,9	0,06	0,002	0,0003	0,3201
Dwalek	Aleg4	0,84	0,05	0,002	0,0001	0,2967

Mechraa elbel	Aleg5	0,81	0,05	0.002	0,0001	0,2867
Enegabe	Aleg6	0,68	0,04	0.001	0,0001	0,24003333
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	0,66	0,04	SEC	0,0002	0,2334
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	1,26	0,09	SEC	0,0001	0,45003333
Mechraa Lehjare	Aleg9	1,05	0,04	0,001	0,0002	0,2728
Avreiraye	Aleg10	0,32	0,04	0,002	0,0002	0,09055
<b>Moy</b>		<b>0,765</b>	<b>0,734</b>	<b>0,747</b>	<b>0,00016</b>	<b>0,385708333</b>

**Tableau 23 : Les Valeurs de (Cd) en mg/l.**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	0,16	0,14	4	0,0003	1,075075
Akreraye	Aleg2	0,17	0,09	0,17	0,0002	0,10755
Mechraa veived	Aleg3	0,06	0,06	1,5	0,0004	0,4051
Dwalek	Aleg4	0,05	0,05	1,22	0,0003	0,330075
Mechraa elbel	Aleg5	0,05	0,05	0,03	0,0003	0,032575
Enegabe	Aleg6	0,04	0,04	0,01	0,0002	0,02255
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	0,05	0,04	SEC	0,0002	0,03006667
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	0,1	0,09	SEC	0,0003	0,06343333
Mechraa Lehjare	Aleg9	0,04	0,04	5,61	0,0002	1,42255
Avreiraye	Aleg10	0,43	0,04	1,01	0,0002	0,37005
<b>Moy</b>		<b>0,765</b>	<b>0,734</b>	<b>0,747</b>	<b>0,00026</b>	<b>0,3859025</b>

**Tableau 24 : Les Valeurs de (Mn 2+) en mg/l.**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	0,008	0,001	0,002	0,016	0,00675
Akreraye	Aleg2	0,008	0	0,003	0,002	0,00325
Mechraa veived	Aleg3	0,005	0	0,001	0,005	0,00275
Dwalek	Aleg4	0,007	0	0,003	0,003	0,00325

Mechraa elbel	Aleg5	0,008	0	0,003	0,005	0,004
Enegabe	Aleg6	0,006	0	0,001	0,008	0,00375
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	0,006	0	SEC	0,011	0,00566667
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	0,011	0	SEC	0,013	0,008
Mechraa Lehjare	Aleg9	0,007	0	0,001	0,018	0,0065
Avreiraye	Aleg10	0,008	0,007	0,002	0,016	0,00825
<b>Moy</b>		<b>0,0074</b>	<b>0,0008</b>	<b>0,002</b>	<b>0,0097</b>	<b>0,005216667</b>

**Tableau 25 : Les Valeurs de (Cu) en mg/l.**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	0,48	0,68	14,5	19,2	8,72
Akrraye	Aleg2	0,3	0,58	10	19,5	7,60
Mechraa veived	Aleg3	0,34	0,22	10	12	5,64
Dwalek	Aleg4	0,14	0,08	21,5	12	8,43
Mechraa elbel	Aleg5	0,62	0,04	3,3	5,2	2,29
Enegabe	Aleg6	0,34	0,06	0,8	10	2,80
Mechraa Levreiwatt1	Aleg7	0,2	0,06	SEC	14	4,75
Mechraa Levreiwatt2	Aleg8	0,16	0,06	SEC	9	3,07
Mechraa Lehjare	Aleg9	0,26	0,1	25	11	9,09
Avreiraye	Aleg10	0,2	1,15	20,5	9,6	7,86
<b>Moy</b>		<b>0,304</b>	<b>0,303</b>	<b>13,2</b>	<b>12,15</b>	<b>6,02</b>

2,65

**Tableau 26 : Les Valeurs de (Fe) en mg/l.**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne

Mechraa	Aleg1	0,6	0,22	7,9	0,01	2,18
Akreraye	Aleg2	1,8	0,18	3,4	0,78	1,54
Mechraa veived	Aleg3	0,9	0,14	3,6	0,02	1,17
Dwalek	Aleg4	2	0,06	8,8	0	2,72
Mechraa elbel	Aleg5	1,4	0,08	1,8	0	0,82
Enegabe	Aleg6	1,2	0,11	1,1	0,02	0,61
Mechraa Levriwatt1	Aleg7	0,8	0,09	SEC	0	0,30
Mechraa Levriwatt2	Aleg8	1	0,7	SEC	0	0,57
Mechraa Lehjare	Aleg9	1,2	0,06	3,5	0,01	1,19
Avreiraye	Aleg10	2,2	0,48	3	0,05	1,43
<b>Moy</b>		<b>1,31</b>	<b>0,212</b>	<b>4,1375</b>	<b>0,089</b>	<b>1,25</b>

**Tableau 27 : Les Valeurs de (Al) en mg/l.**

		2017		2018		
Nom	Abreviation	pv1	pv2	pv3	pv4	Moyenne
Mechraa	Aleg1	0,03	0,14	1,13	0,49	0,45
Akreraye	Aleg2	0,06	0,03	0,6	0,19	0,22
Mechraa veived	Aleg3	0,03	0,1	1,4	0,3	0,46
Dwalek	Aleg4	0,06	0,1	1,9	0,27	0,58
Mechraa elbel	Aleg5	0,03	0,04	1,6	0,3	0,49
Enegabe	Aleg6	0,13	0,02	0,14	0,4	0,17
Mechraa Levriwatt1	Aleg7	0,02	0,02	SEC	0,45	0,16
Mechraa Levriwatt2	Aleg8	0,02	0,03	SEC	0,45	0,17



Avreiraye	Aleg10	0,03	0,4	0,2	0,259	0,22
Moy		0,048	0,09	0,97125	0,3509	0,32
Mechraa Lehjare	Aleg9	0,07	0,02	0,8	0,4	0,32

#### **Annexe 4: Les normes de l'eau**

Tableau 1 : Normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.

<b>Paramètre physico-chimique</b>	<b>Teneurs limites</b>	<b>Unité</b>
pH	6.5 – 9.5	-
Conductivité	180 – 1000	µS/cm
Chlorures	250	mg/L
Sulfate	250	mg/L
Magnésium	50	mg/L
Sodium	10 - 150	mg/L
Potassium	12	mg/L
Calcium	270	mg/L
Nitrates	50	mg/L
Nitrites	0.2	mg/L
Ammoniaques	0.5	mg/L
Titre hydrométrique (TH)	oct-30	°f
Teneur en sels dissous (TDS)	1000	mg/L
Bicarbonate	300	mg/L
TA et TAC	janv-35	°f
Turbidité	< 5	NTU
Oxydabilité	05-juil	mg/L d'O2
L'anhydre carbonique libre	10	mg/L
Fer	0.5 - 50	mg
Aluminium	0,2	mg/l

Cuivre	2	mg/l
Manganèse	0,4	mg/l
Fluorure	1,5	mg/l
Cyanure	0,07	mg/l
Plomb	0,01	mg/l
Nickel	0,07	mg/l
Bore	0,5	mg/l
Cadmium	0,003	mg/l

Tableau 2 : limites de qualité des eaux douces superficielles utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (CEE, 2007).

Vu la directive 75/440/CEE du Conseil du 16 juin 1975 modifiée concernant la qualité requise des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire dans les Etats membres ;

Vu la directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine ;

Vu le code de la santé publique, notamment ses articles R. 1321-1 à R. 1321-63 ;

Vu l'avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments en date du 30 mars 2006,

GROUPES de paramètres	PARAMÈTRES	GROUPE						UNITÉS
		A		A2		A3		
		G	I	G	I	G	I	
Paramètres organoleptiques.	Couleur (Pt).	10	20	50	100	50	200	mg/L
	Odeur (facteur de dilution à 25 oC).	3		10		20		
Paramètres physico-chimiques liés à la	Chlorures (Cl <sup>-</sup> ).	200		200		200		mg/L

structure naturelle des eaux.	Conductivité.	1 000 ou 1 100		1 000 ou 1 100		1 000 ou 1 100		μS/cm
	Demande biochimique en oxygène (DBO5) à 20 °C sans nitrification (O2).	< 3		< 5		< 7		mg/L
	Demande chimique en oxygène (DCO) (O2).					30		mg/L
	Matières en suspension.	25						mg/L
	pH.	6,5-8,5		5,5-9		5,5-9		unités pH
	Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).	150	250	150	250	150	250	mg/L
Taux de saturation en oxygène dissous (O2).	> 70		> 50		> 30		%	
Température.	22	25	22	25	22	25	°C	

Paramètres concernant les substances indésirables.	Agents de surface réagissant au bleu de méthylène (lauryl-sulfate de sodium).	0,20		0,20		0,50		mg/L
	Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ).	0,05		1	1,5	2	4	mg/L
	Azote Kjeldhal (N).	1		2		3		mg/L
	Baryum (Ba).		0,1		1		1	mg/L
	Bore (B).	1		1		1		mg/L
	Cuivre (Cu).	0,02	0,05	0,05		1		mg/L

	Fer dissous sur échantillon filtré à 0,45 µm.	0,1	0,3	1	2	1		mg/ L
	Fluorures (F <sup>-</sup> ).	0,7/1	1,5	0,7/1,7		0,7/1,7		mg/ L
	Hydrocarbures dissous ou émulsionnés.		0,05		0,2	0,5	1	mg/ L
	Manganèse (Mn).	0,05		0,1		1		mg/ L
	Nitrates (NO <sup>-3</sup> ).	25	50		50		50	mg/ L
	Phénols (indice phénol) (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH).		0,001	0,001	0,005	0,01	0,1	mg/ L
	Phosphore total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ).	0,4		0,7		0,7		mg/ L
								L
	Substances extractibles au chloroforme.	0,1		0,2		0,5		mg/ L
	Zinc (Zn).	0,5	3	1	5	1	5	mg/ L
Paramètres concernant les substances toxiques.	Arsenic (As).		10		50	50	100	µg/ L
	Cadmium (Cd).	1	5	1	5	1	5	µg/ L
	Chrome total (Cr).		50		50		50	µg/ L
	Cyanures (CN <sup>-</sup> ).		50		50		50	µg/ L

	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : Somme des composés suivants : fluoranthène, benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[a]pyrène, benzo[g,h,i]pérylène et indéno[1,2,3-cd]pyrène.		0,2		0,2		1,0	µg/L
	Mercure (Hg).	0,5	1	0,5	1	0,5	1	µg/L
	Plomb (Pb).		10		50		50	µg/L
	Sélénium (Se).		10		10		10	µg/L
Pesticides.	Par substances individuelles, y compris les métabolites.		0,1(1, 2)		0,1 (1, 2)		2	µg/L
	Total.		0,5 (2)		0,5 (2)		5	µg/L
Paramètres microbiologiques.	Bactéries coliformes.	50		5 000		50 000		/100 mL
	Entérocoques.	20		1 000		10 000		/100 mL
	<i>Escherichia coli</i> .	20		2 000		20 000		/100 mL
	Salmonelles.	Absent dans 5 000 mL		Absent dans 1 000 mL				
<p>G: Valeur guide I: valeur impérative</p> <p>A1: Traitement physique simple et désinfection A2: traitement normal physique chimique et désinfection A3: traitement physique chimique pousse affinage et désinfection</p>								

**Tableau 3 :** Limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux conditionnées.

PARAMÈTRES	LIMITES DE QUALITÉ	UNITÉS	NOTES
Acrylamide.	0,10	µg/L	La limite de qualité se réfère à la concentration résiduelle en monomères dans l'eau, calculée conformément aux spécifications de la migration maximale du polymère correspondant en contact avec l'eau.
Antimoine.	5,0	µg/L	

Arsenic.	10	µg/L	
Baryum.	0,70	mg/L	
Benzène.	1,0	µg/L	
Benzo[a]pyrène.	0,010	µg/L	
Bore.	1,0	mg/L	
Bromates.	10	µg/L	La valeur la plus faible possible inférieure à cette limite doit être visée sans pour autant compromettre la désinfection. La limite de qualité est fixée à 25 µg/L jusqu'au 25 décembre 2008. Toutes les mesures appropriées doivent être prises pour réduire le plus possible la concentration de bromates dans les eaux destinées à la consommation humaine, au

			cours de la période nécessaire pour se conformer à la limite de qualité de 10 µg/L.
Cadmium.	5,0	µg/L	

Chlorure de vinyle.	0,50	µg/L	La limite de qualité se réfère également à la concentration résiduelle en monomères dans l'eau, calculée conformément aux spécifications de la migration maximale du polymère correspondant en contact avec l'eau.
Chrome.	50	µg/L	
Cuivre.	2,0	mg/L	
Cyanures totaux.	50	µg/L	
1,2-dichloroéthane.	3,0	µg/L	
Epichlorhydrine.	0,10	µg/L	La limite de qualité se réfère à la concentration résiduelle en monomères dans l'eau, calculée conformément aux spécifications de la migration maximale du polymère correspondant en contact avec l'eau.
Fluorures.	1,50	mg/L	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).	0,10	µg/L	Pour la somme des composés suivants : benzo[b]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[ghi]pérylène, indéno[1,2,3-cd]pyrène.
Mercure.	1,0	µg/L	
Total microcystines.	1,0	µg/L	Par « total microcystines », on entend la somme de toutes les microcystines détectées et quantifiées.
Nickel.	20	µg/L	
Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).	50	mg/L	La somme de la concentration en nitrates divisée par
			50 et de celle en nitrites divisée par 3 doit rester
			inférieure à 1.

Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ).	0,50	mg/L	En sortie des installations de traitement, la concentration en nitrites doit être inférieure ou égale à 0,10 mg/L.
Pesticides (par substance individuelle).  Aldrine, dieldrine, heptachlore, heptachlorépoxyde (par substance individuelle).	0,10 0,03	µg/L µg/L	Par « pesticides », on entend : – les insecticides organiques ; – les herbicides organiques ; – les fongicides organiques ; – les nématocides organiques ; – les acaricides organiques ; – les rodenticides organiques ; – les produits antimoisissures organiques ; – les produits apparentés (notamment les régulateurs de croissance) et leurs métabolites, produits de dégradation et de réaction pertinents.
Total pesticides.	0,50	µg/L	Par « total pesticides », on entend la somme de tous les pesticides individualisés détectés et quantifiés.
Plomb.	10	µg/L	La limite de qualité est fixée à 25 µg/L jusqu'au 25 décembre 2013. Les mesures appropriées pour réduire progressivement la concentration en plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine au cours de la période nécessaire pour se conformer à la limite de qualité de 10 µg/L sont précisées aux articles R. 1321-55 et R. 1321-49 (arrêté d'application). Lors de la mise en œuvre des mesures destinées à atteindre cette valeur, la priorité est donnée aux cas où les concentrations en plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine sont les plus élevées.
Sélénium.	10	µg/L	
Tétrachloroéthylène et trichloroéthylène.	10	µg/L	Somme des concentrations des paramètres spécifiés.



Total trihalométhanes (THM).	100	µg/L	<p>La valeur la plus faible possible inférieure à cette valeur doit être visée sans pour autant compromettre la désinfection. Par « total trihalométhanes », on entend la somme de : chloroforme, bromoforme, dibromochlorométhane et bromodichlorométhane.</p> <p>La limite de qualité est fixée à 150 µg/L jusqu'au 25 décembre 2008. Toutes les mesures appropriées doivent être prises pour réduire le plus possible la concentration de THM dans les eaux destinées à la consommation humaine, au cours de la période nécessaire pour se conformer à la limite de qualité.</p>
Turbidité.	1,0	NFU	<p>La limite de qualité est applicable au point de mise en distribution, pour les eaux visées à l'article R. 1321-37 et pour les eaux d'origine souterraine provenant de milieux fissurés présentant une turbidité périodique importante et supérieure à 2,0 NFU. En cas de mise en œuvre d'un traitement de neutralisation ou de reminéralisation, la limite de qualité s'applique hors augmentation éventuelle de turbidité due au traitement.</p> <p>Pour les installations qui sont d'un débit inférieur à 1 000 m<sup>3</sup>/j ou qui desservent des unités de distribution de moins de 5 000 habitants, la limite de qualité est fixée à 2,0 NFU jusqu'au 25 décembre 2008. Toutes les mesures appropriées doivent être prises pour réduire le plus possible la turbidité, au cours de la période nécessaire pour se conformer à la limite de qualité de 1,0 NFU.</p>

Tableau 4 : Grille de qualité des eaux de surface (Maroc, 2002)

			Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
	Paramètres	Unités	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
<b>Organoleptiques</b>							
1	Couleur (échelle Pt)	mg Pt/L	<20	20-50	50-100	100-200	>200
2	Odeur (dilu à 25° C)		<3	3-10	10-20	>20	-
<b>Physico-chimiques</b>							
3	Température	°C	<20	20-25	25-30	30-35	>35
4	PH		6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9,2	<6,5ou>9,2	<6,5ou>9,2

5	Conductivité à 20° C	us/cm	<750	750-1300	1300-2700	2700-3000	>3000
6	Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	mg/l	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
7	Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	<100	100-200	200-250	250-400	>400
8	MES	mg/l	<50	50-200	200-1000	1000-2000	>2000
9	O <sub>2</sub> dissous	mg/l	>7	7-5	5-3	3-1	<1
10	DBO 5	mg/l	<3	3-5	5-10	10-25	>25
11	DCO	mg/l	<30	30-35	35-40	40-80	>80
12	Oxydabilité KMnO <sub>4</sub>	mg/l	≤2	2-5	5-10	>10	-
<b>Substances Indésirables</b>							
13	Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	≤10	10-25	25-50	>50	-
14	NTK	mgN/l	≤1	1-2	2-3	>3	-
15	Ammonium	mgNH <sub>4</sub> /l	≤0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	> 8
16	Baryum	mg/l	≤0,1	0,1-0,7	0,7-1	>1	-
17	Phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	mg/l	≤0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-5	> 5
18	P total (Pt)	mg/l	≤0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-3	>3
19	Fe total (Fe)	mg/l	≤0,5	0,5-1	1-2	2-5	>5
20	Cuivre (Cu)	mg/l	≤0,02	0,02-0,05	0,05-1	>1	-
21	Zinc (Zn)	mg/l	<0,5	0,5-1	1-5	>5	-
22	Manganèse (Mn)	mg/l	≤0,1	0,1-0,5	0,5-1	>1	-
23	Fluorure (F <sup>-</sup> )	mg/l	≤0,7	0,7-1	1-1,7	>1, 7	-
24	Hydrocarbures	mg/l	≤0,05	0,05-0,2	0,2-1	>1	-
25	Phénols	mg/l	≤0,001	0,001-0,005	0,005-0,01	>0,01	-
26	Détergents anioniques	mg/l	≤0,2	≤0,2	0,2-0,5	0,5-5	> 5
<b>Substances Toxiques</b>							
27	Arsenic (As)	ug/l	≤10	≤10	10-50	>50	-
28	Cadmium (Cd)	ug/l	≤3	≤3	3-5	>5	-

29	Cyanures (CN-)	ug/l	≤10	≤10	10-50	>50	-
30	Chrome total (Cr)	ug/l	≤50	≤50	≤50	>50	-
31	Plomb (Pb)	ug/l	≤10	≤10	10-50	>50	-
32	Mercure (Hg)	ug/l	≤1	≤1	<1	>1	-
33	Nickel (Ni)	ug/l	≤20	≤20	20-50	>50	-
34	Selenium (Se)	ug/l	≤10	≤10	≤10	>10	-
35	Pesticides par subst	ug/l	≤0,1	≤0,1	≤0,1	>0,1	-
36	Pesticides totaux	ug/l	≤0,5	≤0,5	≤0,5	>0,5	-
37	H.P.A. totaux	ug/l	≤0,2	≤0,2	≤0,2	>0,2	-
<b>Bactériologiques</b>							
38	Coliformes fécaux	/100ml	≤20	20-2000	2000-20.000	>20,000	-
39	Coliformes totaux	/100ml	≤50	50-5000	5000-50.000	>50,000	-
40	Streptoco. Fécaux	/100ml	≤20	20-1000	1000-10.000	>10.000	-
<b>Biologique</b>							
41	Chlorophylle a	ug/l	<2,5	2,5-10	10-30	30-110	>110

Tableau 5 : Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Maroc, 2002).

Paramètres		Valeurs limites
<b>PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES</b>		
<b>SALINITE</b>		
28	Salinité totale mg/l *	7680
29	Conductivité électrique mS/cm à 25°C*	8,7
30	Infiltration Si le SAR** de l'eau = 0 - 3 et CE = 6 - 3 et CE =	2,0 0,3

	12 – 6	et CE=	0,5
	20 - 12	et CE=	1,3
	40 - 20	et CE=	3
<b>IONS TOXIQUES</b>			
31	Sodium (Na)		
	. Irrigation de surface (SAR)**		9
	. Irrigation par aspersion (mg/l)		69
32	Chlorure (Cl)		
	. Irrigation de surface (mg/l)		350
	. Irrigation par aspersion (mg/l)		105
33	Bore (mg/l)		3
<b>EFFETS DIVERS</b>			
34	Température		35°C
35	pH		8,5-6,5
36	Matières en suspension (mg/l)		
	Irrigation gravitaire		2.000
	Irrigation par aspersion et localisée		100
37	N-NO3 mg/l		50
38	Bicarbonate (HCO3) [Irrigation par aspersion (mg/l)]		518
39	Sulfates (mg/l)		250

Tableau 6 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Bulletin FAO n° 29 ; 1976)

Nature des problèmes	Unité	Guide pour la qualité de l'eau		
		Pas de Problèmes.	problèmes Croissants	problèmes graves
<b>Salinité (C<sub>E</sub>)</b>	μS/cm	< 750	750 - 2000	> 3000
<b>Perméabilité C<sub>E</sub></b>	μS/cm	< 500	1500 - 2000	> 2000
<b>SAR</b> Montmorillonite – Smectite Illite – Vermiculite Kaolinite – Sesquioxydes		< 6 < 8 < 16	6.0 - 9 8 – 16 16 – 24	> 9 > 16 > 24
<b>Toxicité spécifique de certains ions. Sodium (Na)</b>  Irrigation de surface Irrigation par aspersion	SAR aj. meq/l	< 3	< 3 9	3.0 - 9 > 9
<b>Chlore (Cl)</b>  Irrigation de surface Irrigation par aspersion	mg/l	< 140 106,5	140 – 400 106,5	> 400 <
<b>Effets divers</b> Azote (NO <sub>3</sub> -) Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> avec aspersion)	mg/l mg/l	< 5 < 91.5	5.0 – 30 91.5 – 518	> 30 > 518

pH		Gamme normale : 6.5 -8.4
----	--	--------------------------

Tableau 7 : Norme d'interprétation d'une analyse d'eau pour la production de plantes annuelles (Peterson, 1999).

Paramètres	Concentration maximale
Alcalinité (CaCO <sub>3</sub> )	1 à 100 ppm (pas supérieur à 200)
Aluminium (Al <sup>3+</sup> )	0 à 5 ppm
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	30 à 50 (pas supérieur à 150)
Bore (B)	0,2 à 0,5 (pas supérieur à 0,8)
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	40 à 120 ppm
Chlore (Cl <sup>-</sup> )	0-100 ppm (pas supérieur à 140)
Cuivre (Cu <sup>2+</sup> )	0,08 –0,15 ppm (pas supérieur à 0,2)
Fluor (F <sup>-</sup> )	0 (pas supérieur à 1)
Fer (Fe <sup>3+</sup> )	1 à 2 ppm (pas supérieur à 5)
Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	6 à 25 ppm
Manganèse (Mn <sup>2+</sup> )	0,2 à 0,7 ppm (pas supérieur à 2)
Molybdène (Mo)	0,02 à 0,05 ppm (pas supérieur à 0,07)
pH	5 à 7
Potassium (K <sup>+</sup> )	0,5 à 5 ppm
Ratio d'absorption du sodium (RAS)	0 à 4 ppm
Sodium (Na <sup>+</sup> )	0 à 30 ppm (pas supérieur à 50)
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	24 à 240
Matière dissoute totale	70 à 700 ppm (pas supérieur à 875)
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )	0,1 à 0,2 ppm (pas supérieur à 2,0)
Salinité (mS)	Inférieur à 1,0-1,5

Tableau 8 : Interprétation des classes correspondant aux couples "Risques salins-risques alcalins (Richards, 1956) "

Classe de risque	Conductivité électrique C <sub>E 25°C</sub>	SAR
Risque faible	C <sub>1</sub> < 250	S <sub>1</sub> < 10
Risque moyen	250 < C <sub>2</sub> < 750 m	10 < S <sub>2</sub> < 18
Risque élevé	750 < C <sub>3</sub> < 2250	18 < S <sub>3</sub> < 26
Risque très élevé	C <sub>4</sub> > 2250	S <sub>4</sub> > 26

C1 S1	Eau de bonne qualité. Précaution avec les plantes sensibles
C1 S2	Qualité moyenne à bonne. A utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitiers).
C2 S1	
C2 S2	Qualité moyenne à médiocre. A utiliser avec précaution. Nécessité de drainage avec doses de lessivage et / ou apport de gypse.
C1 S3	
C3 S1	
C1 S4	Qualité médiocre à mauvaise. Exclure les plantes sensibles et les sols lourds. Utilisables avec beaucoup de précautions dans les sols légers et bien drainés avec doses de lessivage et / ou apport de gypse.
C2 S3	
C3 S2	
C4 S1	
C2 S4	Qualité mauvaise. A utiliser avec beaucoup de précautions, que dans les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes. Risques élevés. Lessivage et apports de gypse indispensables.
C4 S2	
C3 S3	
C3 S4	Qualité très mauvaise. A n'utiliser que dans les circonstances exceptionnelles.
C4 S3	
C4 S4	Eau déconseillée pour l'irrigation.

Tableau 9 : Tables utilisées pour calculer le pHc (Bulletin F.A.O N°29, 1976).

P (ALK)	P (Ca + Mg)	pK <sub>2</sub> - pK' <sub>c</sub>	Somme de la concentration (meq/l)
4.3	4.6	2	0.05
4	4.3	2	0.1
3.8	4.1	2	0.15
3.7	4	2	0.2
3.6	3.9	2	0.25
3.5	3.8	2	0.3
3.4	3.7	2	0.4
3.3	3.6	2.1	0.5
3.1	3.4	2.1	0.75
3	3.3	2.1	1
2.9	3.2	2.1	1.25
2.8	3.1	2.1	1.5
2.7	3	2.2	2
2.6	2.9	2.2	2.5
2.5	2.8	2.2	3
2.4	2.7	2.2	4
2.3	2.6	2.2	5
2.2	2.5	2.2	6
2.1	2.4	2.3	8
2	2.3	2.3	10
1.9	2.2	2.3	12.5
1.8	2.1	2.3	15
1.7	2	2.4	20
1.5	1.8	2.4	30
1.3	1.6	2.5	50
1.1	1.4	2.5	80