



N° Ref :

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie Appliquée et Environnement

Option : Gestion et Fonctionnement des Ecosystèmes Aquatiques et Forestiers

Thème

ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE DEUX OUEDS (RHUMEL ET ENDJA) ALIMENTANT LE BARRAGE DE BÉNI-HAROUN

Présenté par : Leknouche Nabila et Mesbah Kenza

Devant le jury:

Président : Mr. TABET SLIMEN

M.A.A Centre Universitaire de Mila

Examineur : Mr. BOUCHARAB NOUR EDDINE

M.A.A Centre Universitaire de Mila

Promoteur : M^{elle}. KHERIEF N. SALIHA

M.A.A Centre Universitaire de Mila

Année Universitaire: 2015/2016

Remerciements

Avant tout, nous remercions « Allah » tout puissant qu'il nous a guidé tout au long de nous vie, qu'il nous a donné courage et patience pour passer tous les moments difficiles, qu'il nous a permis d'achever ce travail et de pouvoir le mettre entre vos mains aujourd'hui.

Ce mémoire est aujourd'hui l'occasion de remercier toutes les personnes qui ont collaboré à ce travail.

*Tout d'abord, nous remercions notre encadreur M^{elle}. KHERIEF .N.
Salîha.*

*Nous adressons également mes sincères remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail à savoir : Mr Tabet Slimane et Mr
Boucharab*

Nous remercions également, tous les enseignants, qui nous ont donnée la base de la science.

Tous les travailleurs aux laboratoires de la Faculté des Sciences de la nature et la vie (université Abdelhafid Boussouf Mila).

Mes sincères remerciements s'adressent également à mon père «Rabeh Leknouché » qui de m'aider et de m'encourager moralement et matériellement jusqu'à la fin de cet ouvrage.

Enfin, Nous remercions également toutes les personnes qui ont contribué directement ou indirectement à ce travail. Qu'ils trouvent tous ici l'expression de notre gratitude.

Dédicace

Avant tout, tous l'éloge a dieu, le tout puissant pour tout ce qu'il ma donné et M'accordé, la force, le courage et la santé à fin de pouvoir accomplir ce travail.

Je dédie ce Modest travaille à :

Ma source de tendresse, à la femme la plus patiente, ma très chère mère d'être idéal, et pour tous ses sacrifices, d'être à coté de mois tout le temps, et pour sa prière

Mammon « Drifa ».

Mon père qui sans lui je n'arrivé jamais jusqu'ici .j'espère toujours rester fidèle aux valeurs morales que vous m'avez apprises « Rabeih ».

A mon très trésor, mon mari « Fouad» pour ses sacrifices, son soutien moral et sa gentillesse sans égal, son profond attachement m'ont permis de réussir mes études. Sans son aide, ses conseils et ses encouragements ce travail n'aurait vu le jour. Que dieu réunisse nos chemins pour un long commun serein et que ce travail soit témoignage de ma reconnaissance et de mon amour

Sincère et fidèle.

A ma petite fille.

A mon beaux père : Grara Rdjam

A mon belle mère : Dawia.

A mes chères frères Abed Elfatah et khier-Eddine.

A mes chères sœurs : Noura, Dalila, Fatiha, Souad, Samah, Nadjat et Bassma

A mes belles sœurs : Sa3ida et Mass3ouda

A mes beaux frère : Ali, Lamine et Nadir.

A tous la promotion de Master 2 science de la nature et de la vie (2015-2016).

Mercie.....Mercie.....Mercie

Nabila

Dédicace

Dédicace

*C'est à l'aide de Allah le clément, le tout puissant, que j'ai arrivé à
recueillir le fruit de mes 18 bougies d'étude, que je dédie à :*

A mon très chère père et ma très chère mère

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il Faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour

Le respect, la reconnaissance...

Aussi, c'est tout simplement que

Je souhaite que Dieu vous préserve une longue vie.

A toute ma famille

Mes sœurs mes frères ces enfants

Mes beaux frères et belles sœurs

Mes grands parents

Mes oncles ma tante et ces enfants

A toute mes amies

Surtout Amal et Saida

*Enfin mon plus profond respect va tout droit à mes aimables
professeurs dans tous les cycles de ma scolarité qui mon éclairé la voie
du savoir.*

Kenza

Liste

Des

Figures

Liste des figures

Figure 01 : Qualité de l'eau	03
Figure 02 : Schéma du cycle de l'eau	04
Figure 03 : Processus de transfert du phosphore entre les écosystèmes terrestres et aquatiques	10
Figure 04 : Cycle de l'azote	24
Figure 05 : Cycle du phosphore	25
Figure 06 : Carte des rejets industriels dans le bassin versant Kébir-Rhumel	31
Figure 07 : Localisation géographique des stations de prélèvement	32
Figure 08 : Station 1 (Endja amont)	33
Figure 09 : Station 2 (Endja aval)	33
Figure 10 : Station 3 (Rhumel amont)	34
Figure 11 : Station 4 (Rhumel aval)	34
Figure12 : Variation Spatio-temporelle de la température dans les stations d'études	40
Figure13 : Variation Spatio-temporelle du potentiel hydrique (pH) dans les stations d'études	42
Figure14 : Variation Spatio-temporelle de la conductivité électrique (CE) dans les stations d'études	43
Figure15 : Variation Spatio-temporelle de l'oxygène dissout (O ₂) dans les stations d'études	45
Figure16 : Dosage de nitrate (NO ₃ ⁻)	46
Figure17 : Variation Spatio-temporelle du nitrate (NO ₃ ⁻) dans les stations d'étude	47
Figure18 : Dosage de nitrite (NO ₂ ⁻)	48
Figure19 : Variation Spatio-temporelle du nitrite (NO ₂ ⁻) dans les stations d'études	49
Figure 20 : Dosage du Phosphore (P)	50
Figure 21 : Variations Spatio-temporelles des teneurs en phosphore dans les stations d'étude	51

Liste

Des

Tableaux

Liste des tableaux

Tableau 01 : Sources de pollution reconnues affectant es différents paramètres de la qualité de l'eau de surface	12
Tableau 02 : Les polluants et leurs effets	12
Tableau 03 : Grille de qualité de 1971 simplifiée	13
Tableau 04 : Classification de qualité de l'eau	14
Tableau 05 : Les classes et indice de qualité	15
Tableau 06 : Sources d'éléments nutritifs dans les cours d'eaux	18
Tableau 07 : Les précipitations moyennes mensuelles en (mm)	29
Tableau 08 : Température moyenne mensuelle en (°C)	30
Tableau 09 : Les dates des prélèvements	35
Tableau 10 : Agent et délai de conservation des échantillons d'eaux de surface	39
Tableau 11 : Résultats des paramètres physico-chimiques des eaux	41
Tableau 12 : Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température	41
Tableau 13 : Qualité d'eau en fonction du pH	43
Tableau 14 : Rapport entre la conductivité et la minéralisation	44
Tableau 15 : Grille de la qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique	44
Tableau 16 : Grille de qualité de 1971 simplifiée de l'oxygène dissout	46
Tableau 17 : Grille de qualité des eaux en nitrate (NO_3^-)	48
Tableau 18 : Grille de la qualité des eaux en nitrite (NO_2^-)	49
Tableau 19 : Grille de la qualité des eaux en phosphore	52
Tableau 20 : Variation temporelle moyenne des paramètres physico-chimiques des eaux d'Oued Endja à l'aide de l'AV1	53
Tableau 21 : Variation temporelle moyenne des paramètres physico-chimiques des eaux du Rhumel à l'aide de l'AV1	53
Tableau 22 : Variation temporelle moyenne des paramètres physico-chimiques des eaux de deux oueds à l'aide de l'AV1	54
Tableau 23 : Matrice des corrélations entre les paramètres physiques et chimiques des eaux des différentes stations d'étude	54

Liste

Des

Abréviations

Liste des abréviations

- ABH** : Agence des Bassins Hydrologique.
- ADN** : Acide désoxyribonucléique.
- AEAP** : Agence de l'Eau Artois-Picardie.
- AESN** : Agence de l'Eau Seine-Normandie.
- ANB** : Agence National des Barrage.
- ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques.
- ASEF** : Association de la Santé de l'Environnement de la France.
- BE** : Bruxelles Environnement.
- °C** : Degré Celsius.
- CCME** : Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement.
- CE** : Conductivité Electrique.
- DASS-NC** : Direction des Affaires Sanitaires et Sociales de la Nouvelle-Calédonie.
- E** : Est.
- EAA** : Entretien Amenagement Aquatique.
- EPA** : Environmental Protection Agency.
- Fig** : Figure.
- GCG** : Le Gard Conseil General.
- MEF** : Ministère De L'Environnement Et De La Faune Du Québec.
- MES** : Matières en suspension.
- Mg/l** : Milligramme par litre.
- NKJ** : Azote Kjeldahl.
- N** : Nord.
- NH₄⁺** : Ammoniaque.
- nm** : Nanomètre.
- NO₂⁻** : Nitrite.
- NO₃⁻** : Nitrate.
- N_{org}** : Azote organique.
- P** : Phosphore.
- O₂** : Oxygène.
- OCDE** : Organisation de Coopération et de développement Economiques.
- ONM** : Office National de la Météorologie.
- PH** : Potentiel Hydrogéné.
- SEQE** : Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau.
- SO-NE** : Sud Ouest-Nord Est.

Liste des abréviations

ST1: Station 1 Endja amont.

ST2: Station 2 Endja aval.

ST3: Station 3 Rhumel amont.

ST4: Stations 4 Rhumel aval.

T : Température.

Tab : Tableau.

µs/cm : Microsimens par centimètre.

Sommaire

Sommaire

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1 Généralité sur l'eau	03
I.1.1 Définition de l'eau	03
I.1.2 La composition d'eau	03
I.1.3 Cycle naturel de l'eau	04
I.1.4 Les ressources hydriques naturelles	05
I.1.4.1 Les eaux souterraines	05
I.1.4.2 Les eaux superficielles	05
I.2 Généralité sur la pollution d'eau	07
I.2.1 Définition	07
I.2.2 Origines des pollutions des eaux	08
I.2.2.1 Rejets domestiques	08
I.2.2.2 Les eaux pluviales	08
I.2.2.3 Rejets industrielles	08
I.2.2.4 Rejets agricoles	09
I.2.3 Principaux types de pollution	10
I.2.3.1 Pollution organique	10
I.2.3.2 la pollution radioactive de l'eau	11
I.2.3.3 Pollution minérale	11
I.2.4 Les risques sanitaires liés à la pollution de l'eau	12
I.3 Qualité d'eau	13
I.3.1 Evaluation de la qualité de l'eau	13

I.3.1.1	La grille de qualité «multi-usages» de 1971	13
I.3.1.2	Système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau)	14
I.3.1.3	Les classes et les indices de qualité	14
I.3.2	Paramètres de la qualité des eaux superficielles	15
I.3.2.1	Les paramètres physique	15
I.3.2.1.1	Température (T)	15
I.3.2.1.2	Potentiel hydrogène (pH)	16
I.3.2.1.3	Conductivité électrique (CE)	16
I.3.2.1.4	Oxygène dissous (O ₂)	17
I.3.2.2	Les paramètres chimiques	17
I.3.2.2.1	Eléments nutritifs	17
I.3.2.2.2	Origines et sources des éléments nutritifs	17
I.3.2.2.3	L'azote (N)	19
I.3.2.2.4	Le phosphore (P)	24
I.3.2.2.5	L'azote et le phosphore comme des facteurs limitant	26
I.3.2.2.6	Conséquences de l'enrichissement de l'eau par les éléments nutritifs (l'eutrophisation)	26

Chapitre II : Matériel et Méthodes

II.1	Présentation de la zone d'étude	27
II.1.1	Présentation et description du bassin versant Kébir-Rhumel	27
II.1.2	Situation géographique du bassin	28
II.1.3	Les deux Oueds principale qui alimentent le barrage Béni Haroun	28
II.1.3.1	Oued Rhumel	28
II.1.3.2	Oued Endja	28
II.1.4	La climatologie	29
II.1.5	L'agriculture	30
II-1-6-	L'industrie	30

II.2 Matériel et méthodes	31
II.2.1 Choix et localisation des stations de prélèvement	31
II.2.2 Prélèvement des échantillons d'eau	35
II.2.2.1 Mode de prélèvement	35
II.2.2.2 Conditionnement et transport des échantillons	35
II.2.3 Analyse physico-chimiques	36
II.2.3.1 Paramètre mesurés in situ	36
II.2.3.2 Paramètre mesurés au laboratoire	36
II.2.3.2.1 Dosage de Nitrite	37
II.2.3.2.2 Dosage de nitrate	37
II.2.3.2.3 Dosage du phosphore	38

Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1 Résultats et discussion	39
III.1.1 La température (T)	39
III.1.2 Potentiel hydrique (pH)	41
III.1.3 Conductivité électrique (CE)	43
III.1.4 L'oxygène dissout (O ₂)	45
III.1.5 Nitrate (NO ₃ ⁻)	46
III.1.6 Nitrite (NO ₂ ⁻)	48
III.1.7 Phosphore (P)	50
III.2 Traitement statistique	52
III.2.1 Analyse de la variance à un critère de classification (AV1)	52
III.2.2. La corrélation entre les paramètres physico-chimiques	54

Conclusion

Références bibliographiques

Annex

Introduction

Introduction

Introduction

La pollution des cours d'eau est actuellement l'un des plus grands problèmes du siècle, aux quels s'attachent de nombreux pays dans le monde afin de le résoudre, c'est un vrai défi (Melghit M., 2010).

L'introduction massive de matières organiques et d'éléments nutritifs dans les eaux de surface perturbe les équilibres naturels des écosystèmes aquatiques. Les deux éléments nutritifs les plus problématiques au niveau du fonctionnement des écosystèmes aquatiques sont l'azote et le phosphore, étant donné que ces deux nutriments pouvant jouer un rôle limitant ou catalyseur des processus d'eutrophisation qui se traduit par un développement excessif d'algues et un appauvrissement de l'eau en oxygène.

Ces éléments nutritifs (notamment du phosphore et de l'azote) sont dus principalement à des rejets directs d'effluents (domestiques, industriels et agricoles), à l'écoulement d'eaux de ruissellement contaminées après leur passage sur des surfaces agricoles et non agricoles et dans une moindre mesure, aux retombées atmosphériques (Melghit M., 2010).

Pour aborder ce sujet nous avons choisi de suivre deux oueds Endja et Rhumel. Ces Oueds ont fait l'objet de nombreuses précédentes études relatives à la pollution par les éléments nutritifs.

Oued-Rhumel c'est l'oued le plus important du Kébir-Rhumel traversant la ville de Constantine et Oued-Endja est situé à l'Est Algérien, dont il occupe la partie occidentale du grand bassin versant Kébir-Rhumel traversant la ville de Mila (Mebarki, 2005 ; Sahli, 2012).

La partie amont de ces stations est située dans une région montagneuse, où la densité de population est faible et les industries pratiquement inexistantes. Par contre la partie aval est située dans une région où la population est dense, l'agriculture développée et les industries plus ou moins nombreuses, les eaux y sont donc habituellement de moins bonne qualité et plus difficiles à traiter qu'en amont (Mebarki, 2005 ; Sahli, 2012).

L'objectif de notre travail est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux prélevées au niveau du oued-Endja et oued-Rhumel, considérés comme grands Oueds alimentant le barrage Béni Haroun. A cet effet, nous avons établi un suivi aux teneurs en ions phosphatés et ions minéraux azotés (notamment le nitrite NO_2^- et le nitrate NO_3^-) est à

Introduction

savoir d'autres paramètres physiques (pH, température, conductivité électrique et oxygène dissous).

Notre travail est consigné dans un document articulé en trois grands chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur l'eau, sa pollution et l'évaluation de sa qualité.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude, matériel utilisé et les méthodes d'analyses établies.
- Le troisième chapitre, résume, les résultats obtenus, analyses statistiques et leur discussion.

Enfin la conclusion à tirer et les recommandations à proposer seront en fonction des résultats obtenus.

Chapitre 1

La synthèse

bibliographique

I.1 Généralité sur l'eau

I.1.1 Définition

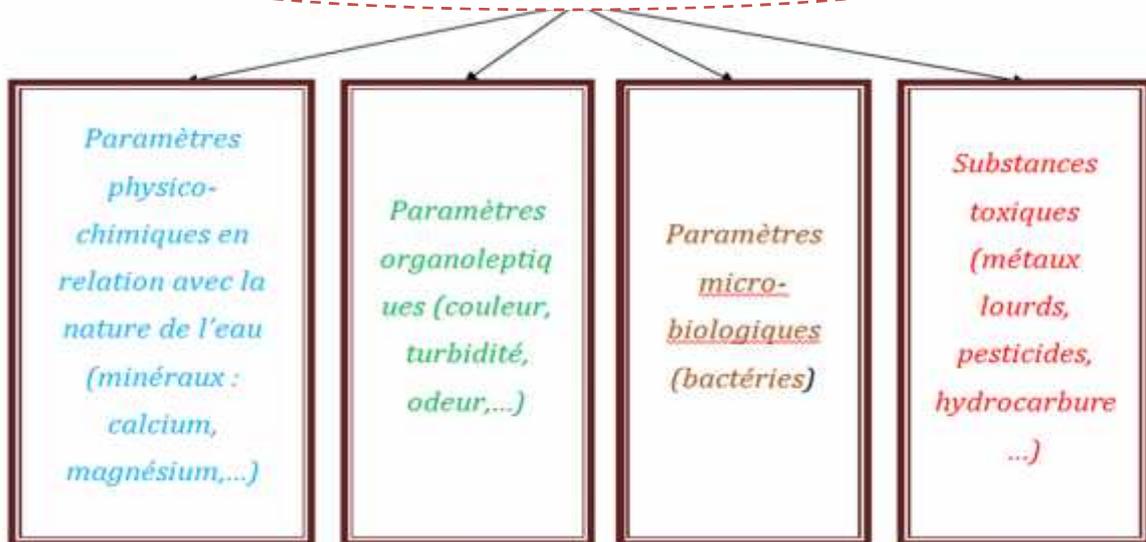
L'eau est un composé chimique simple, liquide à température et pression ambiantes. L'eau est gazeuse au-dessus de 100°C et solide en dessous de 0°C. Sa formule chimique est H₂O, c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène (Hamed M *et al.*, 2012).

L'eau se trouve presque partout sur la terre et elle est vitale pour tous les organismes vivants connus. Près de 70% de la surface de la terre est recouverte d'eau, essentiellement sous forme d'océans. Une étendue d'eau peut être un océan, une mer, un lac, un étang, une rivière, un ruisseau, un canal. La circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par son cycle biogéochimique, le cycle de l'eau (Bertrand, 2008).

I.1.2 La composition de l'eau

L'eau prélevée dans le milieu naturel, produite et distribuée, contient plusieurs types d'éléments chimiques ou biologiques, que l'on appelle paramètres de qualité.

Figure 1 : qualité de l'eau (DASS, 2014).



I.1.3 Cycle naturel de l'eau

Sous l'effet de la chaleur solaire, l'eau des lacs, des rivières et des océans s'évapore. En montant dans l'atmosphère, la vapeur d'eau rencontre des températures plus froides. Sous l'effet de cette fraîcheur, la vapeur d'eau se liquéfie, voire se solidifie (neige...) pour former des nuages. Ces nuages, rassemblés au gré des vents, grossissent et s'alourdissent. Lorsque le poids de l'eau qu'ils contiennent devient très important, elle retombe au sol sous forme de bruine, de pluie, de neige et même parfois de grêle.

La plus grande partie de l'eau ruisselle et rejoint les lacs, les rivières et les océans. Une autre partie est consommée par les plantes qui puisent l'eau au moyen de leurs racines dans le sol.

Une partie de l'eau de pluie s'infiltrate dans le sous-sol et alimente les nappes souterraines ou nappes phréatiques et une toute petite partie va s'ajouter aux glaciers. L'eau qui a rejoint les lacs, les rivières et les océans s'évaporerà à nouveau, tout comme l'eau qui a été consommée par les arbres, car les végétaux transpirent. Cette vapeur remonte dans l'atmosphère et forme de nouveaux nuages. C'est ce mécanisme que l'on dénomme «cycle naturel de l'eau » (Ghorab D et Oualdou B., 2015).

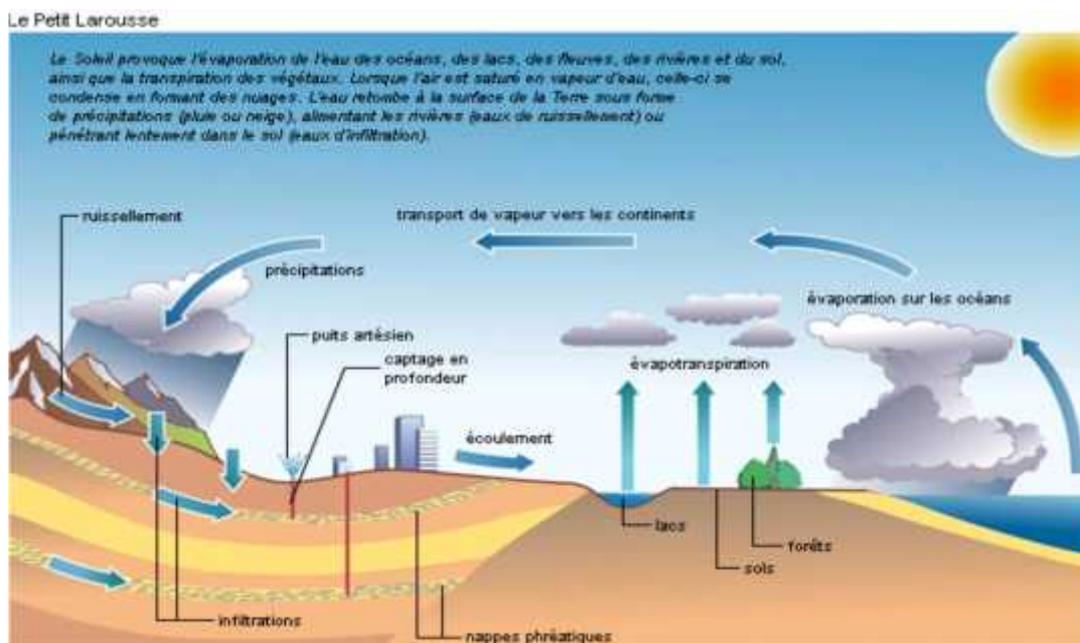


Figure 02 : Schéma du cycle de l'eau (Pajoués, 2007)

I.1.4 Les ressources hydriques naturelles

D'après (Benkaddour N., 2015), les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (Infiltration, nappes), des eaux de surface retenues ou en écoulement (barrages, lacs, rivières). Le total des ressources : 2.109 km³ dont 97% en Mer et Océans.... Donc reste 3% qui se trouvent ailleurs et qui est de l'eau principalement non salée. Dans ces 3% il y a :

- 18% d'eaux profondes inexploitable ;
- 77% de glaces ;
- 5% autre constituée :
 - 3,5% dans les êtres vivants ;
 - 1% dans les rivières ;
 - 5,5% dans l'atmosphère ;
 - 20 % eaux souterraines superficielles ;
 - 30 % lacs salés ;
 - 40 % lacs eaux douces.

I.1.4.1 Les eaux souterraines

Les eaux souterraines constituent 20% des réserves d'eaux soit environ 1000 millions de m³, leur origine est due l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Elles sont généralement d'excellente qualité physicochimique et bactériologique, elles se réunissent en nappes (Rodier, 1997).

I.1.4.2 Les eaux superficielles

Elles sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine les eaux de ruissellement ou les nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau puis de rivière (Benkaddour N., 2015). Ces eaux se rassemblent en cours d'eau caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs, lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échanges eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé (Guilbert, 2000). Il s'agit d'une ressource

facilement accessible mais, malheureusement, fragile et, qui doit être protégée contre les divers facteurs de pollution qui la menacent (cité par Benkaddour N., 2015).

A. Les eaux des lacs

On peut considérer un lac comme un bassin naturel de décantation dont la période de rétention est longue, la turbidité de l'eau y est donc faible et la contamination bactérienne habituellement peu importante. Les caractéristiques des eaux de lac varient très lentement au cours de l'année, à l'exception de deux courtes périodes au printemps et à l'automne.

Durant ces périodes, la différence de température entre les eaux de surfaces et les eaux profondes peut provoquer un renversement des eaux de lac et en augmenter ainsi brusquement la turbidité. Mais c'est une qualité qui n'est pas conseillée pour la consommation car elles ne sont pas potables (Kihal N *et al.*, 2015).

B. Les eaux des barrages

On peut assimiler la qualité des eaux de barrage à celle des lacs autant que le barrage est une étendue d'eau plus ou moins profonde, dont la rétention des eaux est due à l'existence d'une contre-pente qui peut se remplir par ruissellement (ou par des apports d'eaux de sources), et qui ne subit pas l'influence des mers et océans du globe, en fin un barrage représente un ouvrage de stockage (Kihal N *et al.*, 2015).

C. Les eaux des rivières (partie amont)

D'après (Kihal N *et al.*, 2015). L'amont d'une rivière est en général situé dans une région montagneuse, où la densité de population est faible et les industries pratiquement inexistantes. Les principales caractéristiques de ces eaux sont présentées ci-dessous :

- Turbidité élevées : Le régime de la rivière étant torrentiel, les eaux transportent de grandes quantités de matières en suspension ;
- Contamination bactérienne faible : La pollution causée par l'homme ou l'industrialisation est pratiquement inexistante ;
- Température froide : ces eaux proviennent soit de sources, soit de la fonte des neiges et des glaciers ;
- Indice de couleur apparente élevé : Ces eaux n'ont pas eu le temps de dissoudre des matières végétales, principales sources de couleur, donc indice de couleur vraie faible.

D. Les eaux des rivières (partie aval)

Selon (Kihal N *et al*, 2015). L'aval d'une rivière est en général situé dans une région où la population est dense, l'agriculture développée et les industries plus ou moins nombreuses, les eaux y sont donc habituellement de moins bonne qualité et plus difficiles à traiter qu'en amont. Les principales caractéristiques de ces eaux sont présentées ci-dessous:

- Contamination bactérienne élevée : Cette contamination est surtout imputable au déversement des égouts domestiques et agricoles ;
- Contamination organique et inorganique élevée : Les eaux usées domestiques, agricoles et industrielles contiennent de grandes quantités de matière organiques et inorganiques ;
- Indice de couleur peuvent être élevé : Dans beaucoup de cas, les eaux ont eu le temps de dissoudre des matières végétales, qui les colorent.

Signalons que le débit et la qualité des eaux de rivière (amont et aval) peuvent varier en peu de temps. C'est pourquoi les usines de purification doivent être suffisamment complexes pour réagir rapidement à toute modification

I.2 Généralité sur la pollution d'eau

I.2.1 Définition

La pollution de l'eau décrit généralement l'introduction ou la présence des substances nocives ou inacceptables dans l'ampleur suffisante pour modifier les indices de qualité de l'eau naturelle (Gaamoune S., 2010).

La pollution de l'eau douce (par exemple par le biais de l'eutrophisation, l'acidification, et la pollution des eaux souterraines) est celle qui diminue sa pureté (Park, 2007).

I.2.2 Origines des pollutions des eaux

I.2.2.1 Rejets domestiques

Ils proviennent des activités humaines de tous les jours : bains, excréments, préparation des aliments, lessive et vaisselles. Les eaux usées domestiques sont divisées en eaux vannes et eaux ménagères. A travers ces activités l'homme rejette d'une part des polluants biologiques, urinaires et fécaux (Baok G., 2007).

➤ Eaux ménagères

Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Les eaux des cuisines contiennent des matières insolubles (terre, débris divers), des matières extraites des aliments (organiques ou minérales) ainsi que les graisses provenant de la cuisson, par exemple : les eaux des salles de bains, les eaux des machines à lessiver qui renferment des savons et des détergents et des eaux de lavages des locaux qui sont riches en particules solides (terre, sable,...etc.) et surtout en détergents et désinfectants (eaux de javel, produit de base de chlore ou d'ammoniaque,...) (Benkaddour N., 2015).

➤ Eaux des vannes

Il s'agit des rejets de toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et des germes fécaux (Benkaddour N., 2015).

I.2.2.2 Les eaux pluviales

Elles peuvent constituer la cause de pollution importante des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumée industrielles), puis en ruissellent, des résidus déposés sur les toits et les chaussées des villes (huiles des vidanges, carburants, résidus de pneus et métaux lourds,...) (Ezziane S., 2007).

I.2.2.3 Rejets industrielles

Les établissements industriels ont des productions très diverses (aliments, vêtements, pâte à papier, produits chimiques, etc.) et rejettent plusieurs types d'eaux usées, dont le volume et le degré de contamination sont très variables. On distingue les eaux de procédé, qui sont le plus souvent contaminées puisqu'elles entrent dans le processus de

fabrication même, les eaux de refroidissement, plus ou moins contaminées, les eaux sanitaires et, dans certains cas, les eaux pluviales (Hébert S et Légaré S., 2000).

Les caractéristiques des rejets varient d'une industrie à l'autre en plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micros polluants organiques des hydrocarbures.

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un pré traitement de la part des industries avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, elles sont mêlées aux eaux domestiques que l'on qu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution (Benkaddour N., 2015).

I.2.2.4 Rejets agricoles

L'agriculture a recourt à des produits chimiques : pesticides, insecticides, désherbants, destructeurs divers de parasites des plantes, des engrais azotés (Baok G, 2007).

Ces produits chimiques sont particulièrement chargés en nitrates et phosphates qui provoquent l'eutrophisation des cours d'eau entraînant la prolifération des algues qui, lors de leur putréfaction, consomment l'oxygène dissous dans l'eau ce qui va perturber l'autoépuration (Ezziane S , 2007).

Dans un cours d'eau en santé, les éléments nutritifs sont présents à de faibles concentrations et assurent une croissance normale des plantes aquatiques (macro-phytes) et des micro-algues (phytoplancton). Lorsque le phosphore devient trop abondant, il cause une croissance excessive des végétaux aquatiques. Ce processus d'enrichissement du milieu aquatique s'appelle « eutrophisation ». L'accroissement des populations de macrophytes et de phytoplancton ainsi que la formation de tapis d'algues peuvent provoquer une diminution de la qualité esthétique des cours d'eau, affecter le goût et l'odeur de l'eau et modifier complètement la composition de la faune aquatique présente (MEF, 1994).

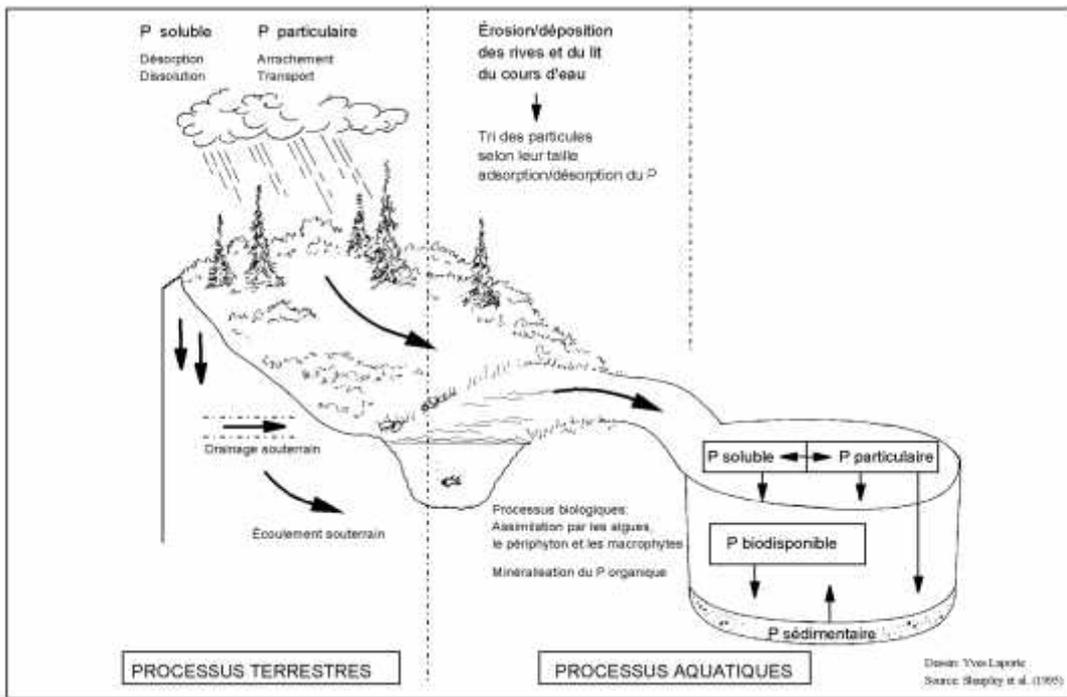


Figure 03 : Processus de transfert du phosphore entre les écosystèmes terrestres et aquatiques (Hébert S et Légaré S, 2000)

I.2.3 Principaux types de pollution

I.2.3.1 Pollution organique

Cette forme de pollution constitue la fraction la plus importante. En effet, elle résulte de l'introduction dans le milieu de substances organiques provenant de diverses activités : industrielles (hydrocarbures), agricoles (engrais azotés et phosphatés) et domestiques (phosphates, matières fermentescibles) (Melghit M., 2010).

Les composés azotés contribuent à la pollution organique, suite à la dégradation de l'urée, et des acides aminés, ce sont d'abord les formes ammoniacales qui dominent en milieu désoxygéné; la fraction d'ammoniaque non dissociée (NH_4) est toxique pour le poisson. Lorsque les eaux sont réoxygénées, l'ammoniaque se transforme en nitrates, avec un stade intermédiaire les nitrites (eux-mêmes toxiques) (Rodolph, 1990).

Dans les eaux, le phosphore se trouve soit sous forme d'ions orthophosphatés isolés, soit sous forme d'ions phosphates condensés ou sous forme d'ions phosphates condensés avec des molécules organiques. Ces phosphates sont fixés facilement par le sol, leur présence dans l'eau est souvent liée à la nature des terrains traversés, à la décomposition de la matière organique, aux engrais phosphatés industriels entraînés par

lessivage ou par infiltration causant par la suite une dystrophisation avancée (AESN, 2003).

I.2.3.2 la pollution radioactive de l'eau

La radioactivité des eaux naturelles peut être d'origine naturelle ou artificielle. La radioactivité libérée dans l'eau peut provenir d'une radioactivité naturelle. Le traitement des rejets radioactifs dans la nature consistent à extraire, puis à les concentrer pour les évacuer par la suite vers des sites réservés à cet effet.

Les conséquences d'une contamination radioactive sont graves et imprévisibles, surtout lorsqu'il s'agit de produits à très longue durée de vie (Benkaddour N, 2015).

I.2.3.3 Pollution minérale

A. Pollution par l'azote

Les activités industrielles, peuvent être à l'origine des rejets plus ou moins riches en azote (élément nutritif) issu des fabrications d'engrais, des cokeries, et des industries chimiques et agroalimentaires. L'azote existe sous deux formes: la forme réduite qui regroupe l'azote ammoniacal (NH_3 ou NH_4^+) et l'azote organique (protéine, créatine, acide urique). Plus une forme oxydée en ions nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-) (Amrouche C et Keziouh A., 2015).

B. Pollution par le phosphore

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laveries industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire (Amrouche C et Keziouh A., 2015).

Comme l'azote, le phosphore est un élément nutritif, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques.

Tableau 01 : Sources de pollution reconnues affectant les différents paramètres de la qualité de l'eau de surface (Hébert S et Légaré S, 2000)

Paramètres	Sources de pollution
Azote	Épandage d'engrais, rejets municipaux, fosses septiques
Phosphore	Rejets municipaux, activités agricoles, fosses septiques, ruissellement urbain
Pesticides	Activités agricoles, ruissellement urbain
Oxygène dissous	Rejets (municipaux et industriels), activités agricoles
Conductivité	Rejets (industriels, miniers et municipaux), ruissellement urbain

I.2.4. Les risques sanitaires liés à la pollution de l'eau

Dans le contexte de l'évaluation des risques des polluants, le but ultime de compréhension, de prédiction est la prévention des effets néfastes des polluants sur les écosystèmes.

Tableau 02 : Les polluants et leurs effets (ASEF, 2010)

Polluants	Effets environnementaux	Effets sanitaires
Pollution organique	<ul style="list-style-type: none"> - Asphyxie du milieu, mort des poissons. - Stimulation de la production végétale (eutrophisation) - Faiblement biodégradable 	<ul style="list-style-type: none"> - Développement d'organismes pathogènes pour l'homme
Azote (nitrate, nitrite); phosphore	<ul style="list-style-type: none"> - Eutrophisation des milieux aquatiques par excès de matières nutritives pour les végétaux (algues). - Toxicité de l'ammoniaque et des nitrites pour la faune aquatique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nitrates : empoisonnement du sang - Nitrites : cancers à long terme chez les adultes
Métaux	<ul style="list-style-type: none"> - Non biodégradables, bioaccumulables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Troubles respiratoires, digestifs, nerveux ou Cutanés. - Arsenic, Nickel et Chrome sont considérés comme cancérigènes.
Pesticides	<ul style="list-style-type: none"> - Substances très dangereuses pour les milieux aquatiques. - S'adsorbent sur les matières en suspension et s'accumulent dans certains compartiments. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les plus toxiques : les insecticides. - Effets reprotoxiques, mutagènes et cancérigènes.

I.3 Qualité d'eau

La qualité de l'eau est définie par un grand nombre de paramètres. L'indicateur décrit 4 paramètres clé décrivant l'état d'oxygénation du cours d'eau, sa pollution organique et sa charge en nutriments (polluants responsables des phénomènes d'eutrophisation). L'amélioration de ces paramètres est fortement liée aux progrès réalisés en matière d'épuration des eaux résiduaires (BE, 2012).

I.3.1 Evaluation de la qualité de l'eau

Différents outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau sont utilisés. La qualité physico-chimique des eaux est évaluée selon la grille d'évaluation de 1971 ou selon le système d'évaluation de la qualité des eaux (SEQ-eau).

I.3.1.1 La grille de qualité «multi-usages» de 1971

La qualité des eaux était évaluée à partir d'une grille qui associe, pour une série de paramètres principalement physico-chimiques, des valeurs seuils à 5 classes de qualité. Cette grille dite «multi-usages» est construite sur la base d'une évaluation sommaire des aptitudes de l'eau aux principaux usages et à la vie des poissons (AEAP, 2012)

Tableau 03 : Grille de qualité de 1971 simplifiée (Boissonneault. Y)

Paramètres	Bonne ou très bonne	Acceptable	Médiocre	Mauvaise ou très mauvaise
O ₂ dissous mg/l	5	3	1	< 1
NO ₂ ⁻ mg/l	0.3	1	> 1	-
NO ₃ ⁻ mg/l	25	50	80	>80
Phosphore total mg/l	0.3	0.6	1	> 1
pH	6.5 et 8.5	-	< 6 ou > 8	-
Conductivité µS/cm	2000 -	-	>2000	-

Cinq classes de qualité sont aussi définies selon les lettres A, B, C, D et E (tab.4) (CCME., 2016).

Tableau 04: Classification de qualité de l'eau (CCME., 2016)

Classe	Qualité d'eau	Usage
A	Eau de bonne qualité	Permettant généralement tous les usages
B	Eau de qualité satisfaisante	Permettant généralement la plupart des usages
C	Eau de qualité douteuse	Certains usages risquent d'être compromis
D	Eau de mauvaise qualité	La plupart des usages risquent d'être compromis
E	Eau de très mauvaise qualité	Tous les usages risquent d'être compromis

I.3.1.2 Système d'évaluation de la qualité (SEQ-Eau)

Selon les caractéristiques du bassin versant et des cours d'eau, on définit les usages et fonctions qui y sont ainsi que les altérations qui peuvent les affecter. Les altérations sont des groupes de paramètres de même nature ou de même effet permettant de décrire les types de dégradation de la qualité des milieux. Pour l'Agence de l'Eau, le suivi de certaines altérations a un caractère obligatoire pour une description satisfaisante de la qualité du milieu aquatique.

Elles sont caractérisées par des paramètres physico-physiques basiques et incontournables. Le suivi des autres dépend essentiellement des activités qui caractérisent le bassin versant et il est alors optionnel, fonction des perturbations probables observées (GCG, 2006).

I.3.1.3 Classes et indices de qualité

Les classes de qualité de l'eau sont construites à partir de l'aptitude de l'eau à la biologie et aux usages liés à la santé (production d'eau potable et loisirs et sports aquatiques).

La qualité de l'eau est déterminée par le paramètre le plus déclassant des autres usages pris en compte.

Tableau 05: Les classes et indice de qualité (Boissonneault.Y, 2009)

Indices		Qualité
100		Très bonne
80		Bonne
60		Passable
40		Mauvaise
20		Très mauvaise

I.3.2 Paramètres de la qualité des eaux superficielles

I.3.2.1 Les paramètres physiques

I.3.2.1.1 Température

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond (Boukemara L., 2009).

Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques. L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaires chaudes. Des changements brusques de température de plus de 3C° s'avèrent souvent néfastes (IBGE., 2005).

Solen leurs températures, les eaux naturelles sont classées comme suit ; hypothermies, hyperthermies (Benkaddour N., 2015).

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32C° par contre, elle est fortement diminuée pour

des températures de 12 à 15C° et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5C° (Methahri M., 2012).

I.3.2.1.2 Potentiel hydrogène

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H^+), il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique. Il n'a pas de la signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous (Benkaddour N., 2015).

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9.

L'influence du pH se fait également ressentir par le rôle qu'il exerce sur les autres éléments comme les ions des métaux dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution biodisponible et donc leur toxicité. Le pH joue un rôle important dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH comprises entre 7,5 et 9 (Metahri M, 2012).

I.3.2.1.3 Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau entre deux électrodes métalliques de 1 cm² et distantes l'une de l'autre de 1 cm (Zerki N. 2013). La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, donc une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Ainsi, plus l'eau contient des ions comme le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le bicarbonate (HCO_3^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et le chlorure (Cl^-), plus elle est capable de conduire un courant électrique et plus la conductivité mesurée est élevée (Benkaddour N., 2015).

La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau et de suivre son évolution. Comme la conductivité donne une indication sur la qualité d'eau et sa minéralisation globale, cette minéralisation est liée à la conductivité à 20°C.

I.3.2.1.4 Oxygène dissous

C'est la concentration d'oxygène gazeux qui se trouve à l'état dissous dans une eau. L'oxygène dissous disponible est limité par la solubilité de l'oxygène (max 9 mg/l à 20C°) qui décroît avec la température et la présence de polluants dans les cours d'eau. Une faible teneur en oxygène dissous est synonyme d'une forte charge polluante ou d'une température élevée de l'eau. Paramètre important de l'écologie des milieux aquatiques, il est essentiel pour la respiration des organismes hétérotrophes. Il est exprimé en mg/l et se mesure par la méthode de Winkler basée sur la fixation chimique de l'oxygène et son dosage colorimétrique (Baok G, 2007).

I.3.2.2 Les paramètres chimiques

I.3.2.2.1 Eléments nutritifs

Les éléments nutritifs sont des éléments ou des composés qui sont essentiels à la croissance et à la survie des organismes. La plupart des cellules vivantes ont besoin de grandes quantités de certains éléments nutritifs, tels que l'azote, le phosphore, le carbone, l'hydrogène, l'oxygène, le potassium et le calcium (macroéléments nutritifs), mais ne nécessitent que de petites quantités d'autres éléments nutritifs, tels que le bore, le manganèse, le cuivre, le zinc et le chlorure (micro-éléments nutritifs).

Les éléments nutritifs circulent selon des voies ou des cycles caractéristiques qui font intervenir des échanges entre les composants organiques et inorganiques de l'environnement de même qu'entre les végétaux et les animaux à chaque maillon de la chaîne alimentaire. Au cours de son cycle, chaque nutriment subit diverses transformations chimiques qui déterminent sa disponibilité pour différents organismes. La disponibilité des éléments nutritifs dans un écosystème influe considérablement sur l'abondance de la vie végétale et animale ainsi que sur le genre et la variété des espèces qui peuplent l'écosystème (Ironsides G, 2001).

I.3.2.2.2 Origines et sources des éléments nutritifs

La présence d'éléments nutritifs dans les cours d'eau est attribuable aux exportations naturelles par les bassins versants et aux apports anthropiques. Les apports naturels proviennent principalement de l'érosion du matériel de surface des bassins versants (eaux de ruissellement) et des eaux souterraines. L'origine et l'importance de ces

contributions déterminent en grande partie les différentes catégories de cours d'eau à considérer lors de l'élaboration de recommandations sur les éléments nutritifs.

De plus, en tout temps, la teneur en éléments nutritifs des systèmes lotiques dépend du régime d'écoulement et est liée aux cycles annuels de crue et d'étiage. Par exemple, les concentrations saisonnières d'éléments nutritifs peuvent être liées aux matières en suspension (MES) pendant les périodes de crue, les facteurs saisonniers qui influent sur la production primaire auront également un effet sur la répartition des éléments nutritifs en différentes fractions (CCME, 2016).

Tableau 06 : Sources d'éléments nutritifs dans les cours d'eau (CRE, 2009)

Sources naturelles	Sources anthropiques
<p>1- La grande majorité du phosphore provient de certains types de roche ;</p> <p>2- Le phosphore et l'azote peuvent entrer dans les cours d'eau par les eaux de ruissellement ;</p> <p>3- Les déjections animales ainsi que la décomposition de la matière organique après la mort des organismes ;</p> <p>4- La libération du phosphore emmagasiné dans les sédiments. De plus, le phosphore peut être libéré lorsqu'il y a un manque d'oxygène dans les milieux aquatiques ;</p> <p>5- Milieux humides et étangs de castor : la décomposition des troncs d'arbres et des branches dans le fond des étangs de castor génère une quantité importante de phosphore ;</p> <p>6- Air : les cyanobactéries peuvent extraire l'azote gazeux de l'air et le transformer en des formes qu'elles pourront utiliser.</p>	<p>1- L'utilisation d'engrais et de fertilisants ;</p> <p>2- L'aménagement de grands centres urbains et l'artificialisation des surfaces ;</p> <p>3- L'intensification du défrichage et du déboisement ;</p> <p>4- Les rejets provenant des stations de traitement des eaux usées ou les rejets industriels ;</p> <p>5- Le dysfonctionnement et le mauvais entretien des installations septiques ;</p> <p>6- Utilisation de produits domestiques riches en phosphates.</p>

I.3.2.2.3 L'azote (N)

En conditions naturelles, les formes minérales de l'azote sont faiblement représentées dans la colonne d'eau et ont pour origine, en plus des apports dus à la géologie du bassin versant, la minéralisation de la matière organique provenant du bassin versant (matière organique allochtone) et produite au sein du cours d'eau par les producteurs primaire (matière organique autochtone).

➤ Différents formes d'azote

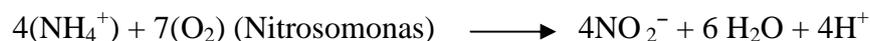
D'après Metahri MS, (2012), l'azote est présent dans les eaux usées sous les différentes formes chimiques suivantes : ion ammonium N-NH_4^+ , ion nitrite N-NO_2^- et ion nitrate N-NO_3^- .

$$\text{Azote globale} = \text{Azote Kjeldahl} + \text{Nitrites} + \text{Nitrates.}$$

L'azote hydrolysable et l'azote ammoniacal constituent l'azote Kjeldahl NTK qui est la somme de $\text{N}_{\text{org}} + \text{N-NH}_4^+$. Dans l'azote organique (N_{org}) sont inclus ceux des amines, des amides, de l'urée, de l'acide uréique etc.

○ Nitrites (NO_2^-)

Les ions nitrites sont le produit soit de l'oxydation de l'ion ammonium dans les conditions d'aérobie par les nitrosomonas, soit de la réduction des ions nitrate en anoxie par les bactéries hétérotrophes.



○ Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le produit final de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau par action des nitrobacters en transformant les nitrites en nitrates selon la réaction suivante :



➤ **Cycle de l'azote**

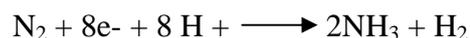
• **Fixation de N₂ atmosphérique (N₂ → N_{org})**

Les procaryotes détenteurs d'une nitrogénase sont les seuls organismes capables d'effectuer la réduction de l'azote moléculaire (N₂) en ammonium. Cette réduction n'est possible que si elle se produit dans un environnement strictement dépourvu d'O₂. Il existe des mécanismes d'adaptations physiologiques permettant l'obtention de microenvironnements anaérobies dans un milieu oxygéné. C'est le cas notamment pour les hétérocystes des cyanobactéries :

La vitesse de respiration est ajustée pour que la nitrogénase puisse fonctionner, d'où un arrêt de la fixation de N₂ si le carbone devient limitant, il existe également une protection conformationnelle des molécules pour empêcher l'oxygène de parvenir aux sites sensibles (Teissier S., 2001).

Chez les bactéries, la capacité à fixer N₂ est répandue et la plupart des familles sont représentées (en plus des espèces à hétérocystes des cyanobactéries et des algues filamenteuses).

La nitrogénase est grande consommatrice d'ATP (l'énergie peut être d'origine fermentative, respiratoire ou photosynthétique selon le cas) et catalyse une réaction qui met en jeu 8 électrons :



L'hydrogène produit par la nitrogénase contribue activement à débarrasser la cellule de l'oxygène (Teissier S., 2001).

• **Minéralisation de l'azote organique- ammonification (N_{org} → NH₄⁺)**

Ce processus participe à la dégradation de la matière organique. Il est réalisé aussi bien en présence qu'en absence d'oxygène principalement par des bactéries hétérotrophes et d'autres micro-organismes (champignons, levures...) qui utilisent la matière organique comme source d'énergie et de carbone. Le stade final de l'ammonification, est l'ion ammonium (NH₄⁺). La vitesse de minéralisation peut être considérée comme constante

quelle que soit la concentration en O_2 de l'eau superficielle de 0 à 30 mg/L (Teissier S., 2001).

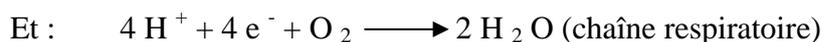
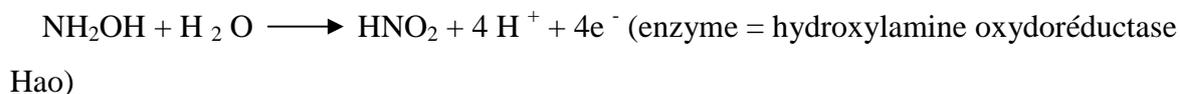
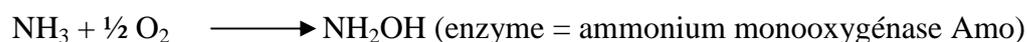
Il est d'usage de diviser arbitrairement la matière organique en deux ou trois compartiments de vitesses de dégradation différentes, une partie de la matière organique restant réfractaire à la dégradation à l'échelle de temps considérée (Teissier S., 2001).

- **Nitrification** ($NH_4^+ \longrightarrow NO_3^-$)

La nitrification autotrophe

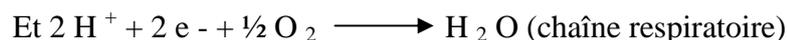
Le processus de nitrification est réalisé en présence d'oxygène, en deux étapes et par deux communautés bactériennes à faible vitesse de croissance, généralement autotrophes, aérobies strictes, distinctes et spécifiques.

La nitrification ou nitrosation ($NH_4^+ \longrightarrow NO_2^-$) est réalisée par des bactéries dont le nom de genre porte le préfixe "nitroso" :



Notons que le substrat réel de cette étape est NH_3 et non NH_4^+ .

La nitrification ($NO_2^- \longrightarrow NO_3^-$) est réalisée par des bactéries dont le nom de genre porte le préfixe "nitro" :



Si un grand nombre de caractéristiques physiologiques des bactéries nitrifiantes a été étudié chez les genres modèles *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*, des études récentes montrent cependant que ces 2 genres ne constituent généralement pas les genres les plus

représentés dans l'environnement naturel, pas plus qu'en station d'épuration des eaux (Teissier S., 2001).

Les principales implications écologiques de la nitrification sont les suivantes :

- lien entre la minéralisation et la disparition de l'azote du milieu par dénitrification ;
- Détoxication de NH_4^+ (pour les hautes concentrations) et surtout du NH_3 ;
- Consommation d' O_2 (respiration des bactéries et fonctionnement de l'ammonium monooxygénase) parfois importante ;
- Acidification du milieu ;
- Formation partielle de N_2O (de 0,1 à 10% de la vitesse de nitrification).

En rivière, la nitrification consommatrice d'oxygène peut à elle seule être un important puits pour l' O_2 . L'utilisation de microélectrodes montre que l'activité de nitrification est souvent visualisée par un pic de consommation d' O_2 . (Teissier S., 2001) montrent avec cette méthode que ponctuellement la nitrification en sédiments peut représenter de 13 à 24 % de la consommation totale en O_2 . Le facteur limitant étant ici la disponibilité de NH_4^+ .

La nitrification hétérotrophe

Parmi les organismes hétérotrophes pouvant réaliser la nitrification (champignons, bactéries et quelques algues) les champignons sont considérés comme étant les plus nombreux et les plus efficaces. Certaines espèces sont ainsi capables de produire NO_2^- et/ou NO_3^- le plus souvent à partir de sources organiques d'azote. Bien qu'en général la nitrification hétérotrophe soit faible elle pourrait jouer un rôle important dans certains environnements particuliers (certains types de sol - dans certaines conditions) (Teissier S., 2001).

- **Dénitrification ($\text{NO}_3^- \longrightarrow \text{N}_2$)**

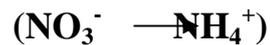
Le processus bactérien de dénitrification est réalisé en condition d'anoxie par une grande variété de germes hétérotrophes anaérobies facultatifs. Ces derniers sont capables d'utiliser NO_2^- et NO_3^- , mais aussi NO et/ou N_2O , comme accepteur final d'électrons à la place de l' O_2 quand celui-ci devient limitant (on parle de respiration sur nitrate). La source d'énergie des micro-organismes permet une certaine typologie des bactéries dénitrifiantes,

ces dernières peuvent être organotrophes (cas largement dominant), lithotrophes, et même phototrophes (cité par Teissier S., 2001).

La réaction est symbolisée par la séquence de réduction suivante :



- **Réduction dissimilaire des Nitrates en Ammonium**



La RDNA est un processus bactérien important des environnements anoxiques et riches en matières organiques (notamment des sédiments). Il est rencontré chez un nombre important de bactéries anaérobies strictes et anaérobies facultatives qui puisent leur énergie principalement de fermentations plutôt que d'oxydations (par opposition à la dénitrification). La réaction est la suivante :



Bien que le processus soit mal connu, on admet généralement que la RDNA est avantagée par rapport à la dénitrification dans les environnements anoxiques où les donneurs d'électrons (carbone organique) sont abondants et où les accepteurs d'électrons (NO_3^-) sont limitant (Teissier S., 2001)

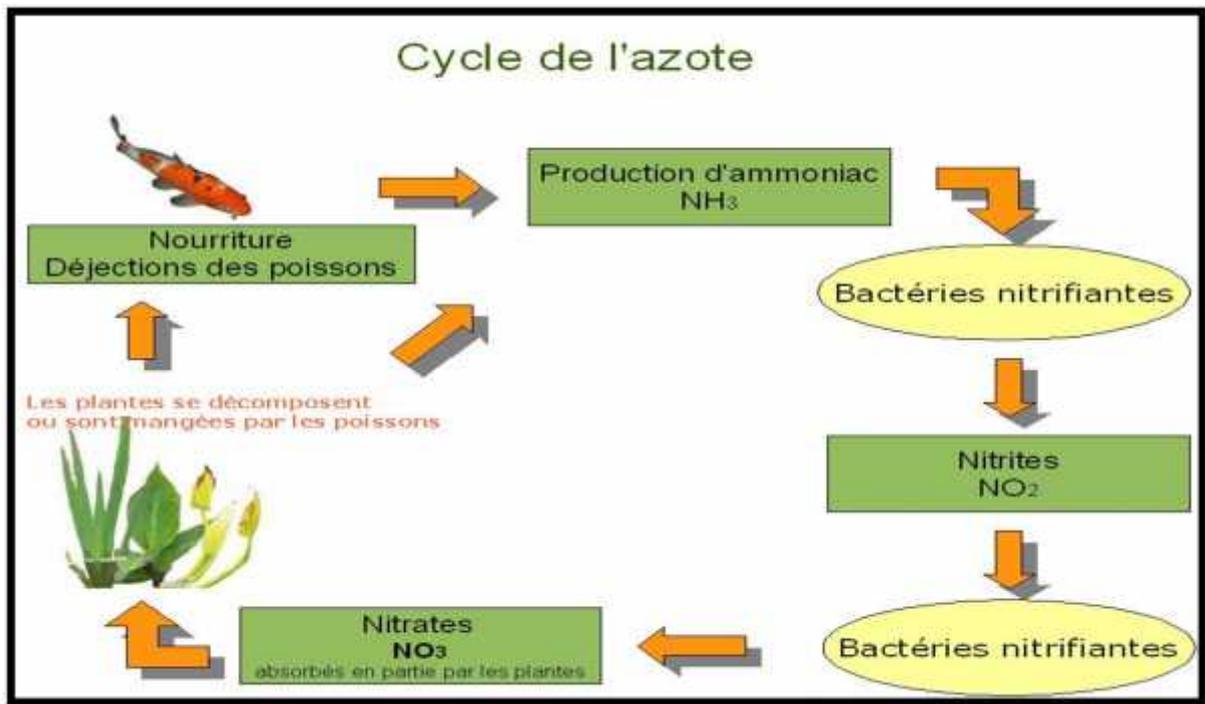


Figure 04 : Cycle de l'azote (EAA, 2014)

I.3.2.2.4 Le phosphore

Le phosphore est un élément rare dans l'environnement naturel (< 0.1% en masse de la composition élémentaire de la lithosphère, (Teissier S., 2001) mais de grande importance écologique. Composant essentiel du vivant (nucléotides, ADN, phospholipides des membranes cellulaires, enzymes) il joue un rôle clé dans le transfert d'énergie (ATP). Sa rareté dans l'écosystème sans influence humaine en fait un élément très convoité entraînant une forte compétition (Teissier S., 2001).

➤ Différents composants du phosphore

Les écosystèmes reçoivent des dérivés phosphorés issus de l'érosion, de l'altération de roches ou de sols, de l'excrétion d'organismes et de la décomposition d'organismes.

Les formes inorganiques suivantes peuvent être trouvées dans les écosystèmes :

- 🌈 Phosphates : produits de dégradation de roches, sels d'excrétion, apports comme engrais et aliments ;
- 🌈 Pyrophosphates : constituent certains squelettes ;
- 🌈 Tripolyphosphates: stockage de phosphore chez les bactéries et algues ;

🌈 Polymétaphosphates: forme de stockage de phosphore, chaîne énergétique chez les organismes inférieurs, produits industriels.

Concernant les formes organiques, elles sont très nombreuses au sein des organismes vivants, animaux ou végétaux, plus ou moins modifiés (Zerki N. 2013).

➤ Cycle de phosphore

Si le cycle de l'azote doit sa complexité au grand nombre d'état d'oxydation que peut prendre l'élément azote, le phosphore au contraire, dans les conditions environnementales qui règnent sur la planète, est toujours à l'état d'oxydation. Les formes réduites, comme la phosphine (PH_3), sont totalement instables dans les conditions régnant sur terre ; elles constituent cependant une part importante de l'atmosphère primordiale des grandes planètes comme Jupiter et Saturne. Le cycle du phosphore se limite donc à transformation des formes minérales (phosphates) en formes organiques (esters phosphoriques d'acides organiques présents dans les lipides et les acides nucléiques), et à la reminéralisations par hydrolyse du phosphore organique en phosphate (Aissa Grouz N, 2015).

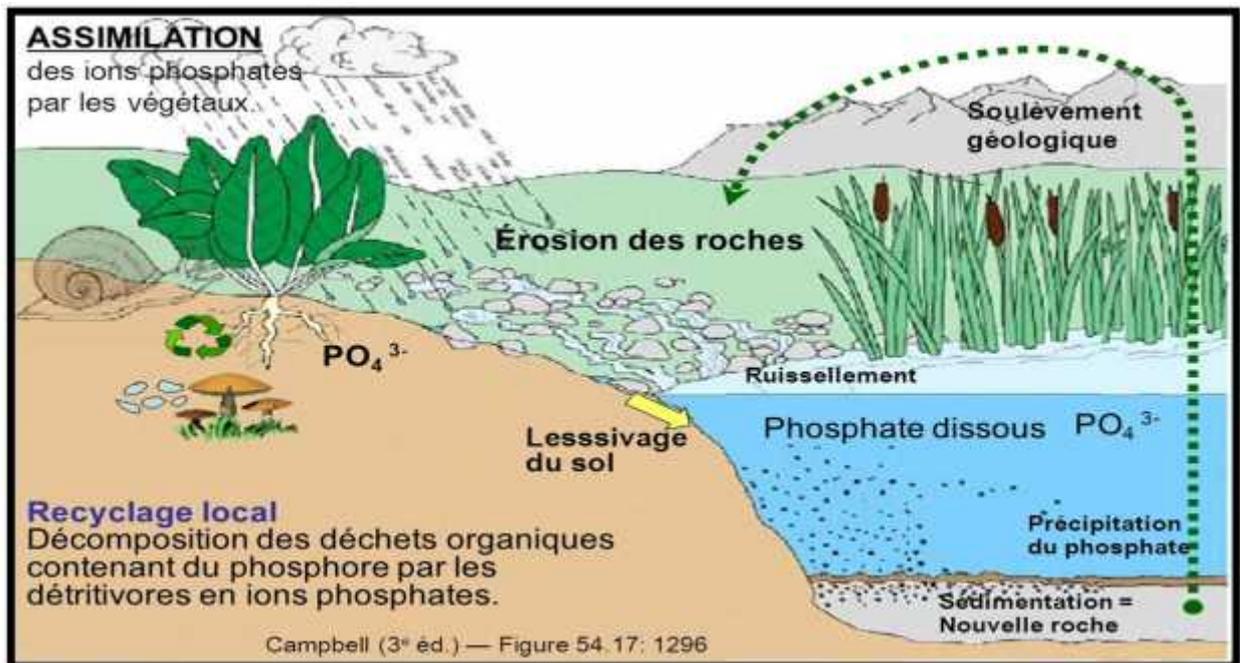


Figure 05 : Cycle du phosphore (Noques G, 2012)

I.3.2.2.5 L'azote et le phosphore facteurs limitant

Le concept de facteur limitant apparaît implicitement au travers des nombreuses observations qui supportent cette théorie, ce qui donnera naissance ultérieurement à la « Loi du minimum » selon laquelle la croissance d'une plante dépend de l'élément disponible en quantité minimale par rapport à ses besoins, indépendamment de l'abondance des autres éléments (Barroin G, 2004).

C'est ainsi qu'en 1954, Odum propose sa propre définition : « toute condition qui approche ou dépasse les limites de tolérance », définition qui fait du facteur limitant d'Odum un équivalent du facteur létal de Fry mais n'a plus rien à voir avec celui de Liebig. À l'usage, Odum fait perdre de sa rigueur à sa propre définition.

De plus, à l'image d'Elton, il lui arrive d'évoquer l'existence simultanée de plusieurs facteurs limitant comme dans les lacs pour l'oxygène, les nitrates et les phosphates. Il finit même par étendre la définition à un facteur tel que le vent dans la mesure où celui-ci est capable de limiter les activités d'organismes terrestres, croissance des végétaux ou autres.

I.3.2.2.6 L'eutrophisation

Si aujourd'hui on s'intéresse aux éléments nutritifs c'est principalement à cause des nuisances qu'il occasionne dans l'environnement, en particulier dans les milieux aquatiques, en effet, on considère le phosphore comme le principal responsable du processus d'eutrophisation qui conduit à une augmentation de la biomasse algale, à une désoxygénation de la colonne d'eau provoquée par la décomposition biologique de cette matière organique algale, et d'une manière générale à une dégradation de la qualité des cours d'eau, des lacs mais aussi des zones côtières (Némery J., 2003).

- Dans les rivières, l'attention portée aux problèmes d'eutrophisation est plus récente, les rivières étant considérées comme des systèmes auto-épurateurs, capables d'évacuer loin vers l'aval les perturbations subies en un point donné du réseau hydrographique (Némery J., 2003) ;
- De plus, les apports importants de nutriments dans les fleuves et rivières se répercutent inévitablement sur les milieux côtiers récepteurs, les lagunes (La Jeunesse, 2001; Némery J., 2003), les fjords, estuaires et zones côtières qui subissent aussi de graves problèmes d'eutrophisation à l'échelle mondiale.

Chapitre II

Matériel

Et

Méthodes

II.1 Présentation de la zone d'étude

II.1.1 Présentation et description du bassin versant Kébir-Rhumel

Un bassin est défini comme une entité topographique et hydrographique dans laquelle se produisent des entrées d'eau (sous forme de précipitations essentiellement, sans oublier les apports souterrains issus d'autres bassins) et où l'écoulement (et le transport de matériaux mobilisés par l'érosion) s'effectue suivant un système de pentes et de drains naturels en direction de l'exutoire ou embouchure du cours d'eau collecteur. «Les processus de transfert d'eau s'expriment dans les réseaux hydrographiques, considérés comme des éléments linéaires, par opposition aux bassins versants, éléments de la surface terrestre » (Mébarki, 2005).

Le bassin de l'Oued Kébir est situé en grande partie sur le versant méridional du bombement tellien. Il représente à ce titre une zone intermédiaire entre le domaine tellien à très forte influence méditerranéenne au nord et le domaine des hautes plaines à forte influence continentale au sud. Cette entité hydrographique est composée de quatre sous bassins versant.

D'après Kerdoud S, (2006). Il est limité naturellement par :

- Au Nord Ouest et Est le bassin des côtières constantinois Est et Centre ;
- Au Sud, le bassin des hauts plateaux constantinois ;
- A l'Ouest les bassins de l'Algérois-Hodna-Soummam ;
- A l'Est le bassin de la Seybouse.

Le bassin Kébir Rhumel peut être subdivisé en trois grandes parties :

- Le bassin supérieur ou domaine des hautes plaines correspondant à l'oued Rhumel et ses affluents ;
- Le bassin moyen ou tell sud formé par l'oued Endja et l'oued Rhumel à l'aval de constantinois jusqu'à leur confluence, aux environs de sidi-Mérouane ;
- Le bassin inférieur ou tel Nord correspond à l'oued El-Kébir, après la confluence de l'oued -Endja et du Rhumel.

II.1.2 Situation géographique du bassin

Le bassin versant Kébir-Rhumel est l'un des plus grands bassins hydrographiques importants en Algérie. Il couvre une superficie de 8115 Km² et possède une façade maritime d'environ 7 Km. Il est centré 36° de latitude Nord, de 7° de longitude Est. Il est subdivisé en 7 sous bassins (Melghit, 2010).

II.1.3 Les deux Oueds principale qui alimentent le barrage Béni Haroun

Le barrage de Béni Haroun est situé à l'aval de la confluence de Oued Rhumel et Oued Endja (nord-ouest de la région de El Grarem wilaya de Mila) à une quarantaine de kilomètres au nord de Constantine et une distance équivalente par rapport à l'embouchure de Oued Kébir (ANB, 2007).

II.1.3.1 Oued Rhumel

D'un linéaire de plus de 123 Km, c'est l'oued le plus important du Kébir Rhumel. Il prend naissance dans les hautes plaines sétifiennes, en taille les gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'Oued Endja et prend ensuite le nom d'El Kébir (Melghit, 2010). Il draine, suivant une orientation SO-NE, les sous-bassins semi-arides des Hautes Plaines (Tadjenanet, Chelghoum Laid) puis franchissent le Rocher de Constantine en s'encaissant profondément (200 m de dénivellation) dans des gorges calcaires. Ensuite, il s'écoule en direction Nord-Ouest et plus au Nord, aux environs de Sidi-Merouane, il conflue avec l'oued Endja qui draine la partie occidentale du bassin. Durant tout ce parcours, l'oued Rhumel reçoit quelques affluents importants, entre autres les oueds Dekri, Athmania, Seguen, Boumerzoug, Smendou et Ktone (Mebarki, 2005 ; Sahli, 2012).

II.1.3.2 Oued Endja

D'un linéaire de 15km, il est formé à l'amont par la confluence de l'oued Dehamcha et de l'oued Menaâ. Le premier prend sa source au seuil des hautes plaines au nord d'El Eulma alors que le second prend sa source aux environs d'Ain El Kebira dans les massifs de la petite Kabylie.

A l'instar de la haute vallée du Rhumel, il suit une direction SO-NE, mais cette fois à travers les reliefs montagneux du Tell, parallèlement à la chaîne numidique qui le borde au Nord. Durant son parcours, l'oued Endja ne reçoit pas d'affluents importants sur sa rive

gauche, mais sur sa rive droite, il collecte les eaux des oueds Rarama (ou Djemila) ainsi que ceux de Bou Selah, de Redjas et d'El Melah (Mebarki , 2005 ; Sahli, 2012).

II.1.4 La climatologie

Selon (Melghit M., 2010) Les caractéristiques les plus originales de toute la région sont réunies dans le bassin de l'Oued El-kébir. Le nord s'avère être une zone humide et pluvieuse et le sud avec un climat semi-aride à aride.

Cette opposition trouve son origine dans de multiples causes :

- Le nord influencé par un climat méditerranéen, le sud par un climat de type continental ;
- La répartition des ensembles montagneux, les contrastes renforçant cette disparité géographique.

A. Les précipitations

Les précipitations constituent le facteur essentiel qui gouverne l'écoulement des cours d'eau. En effet, ils ont un effet direct sur le débit, les matières en suspension et les ph de dilution. Le bassin versant Kébir- Rhumel rassemble sur toute sa superficie vingt deux stations pluviométriques qui se répartissent comme suit :

Le bassin versant Kébir- Rhumel présente des pluies d'automne, d'hiver et de printemps elles sont à la fois faibles et irrégulières.

Tableau 07 : Précipitations mensuelles et annuelles en (mm) pendant 10 années hydrologiques. (ONM, Constantine., 2009)

	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou
2006	47,7	8,6	21,2	148	18,3	40,2	150,3	89,4	22,2	15,1	2,4	13,1
2007	53,2	37,6	38,9	131,9	12,6	15,4	102,9	22,6	62,6	20,3	3,9	11,2
2008	68,2	22,2	47,1	24,6	105,7	59,5	76	133	71 ,5	0,6	6,1	24,6
2009	136,5	54 ,8	24,3	61,1	96,4	43,8						

B. La température

Le bassin du Kébir-Rhumel doit à sa position un climat méditerranéen avec des hivers doux, des étés chauds et secs mais loin d'être désertique. Les températures mensuelles et annuelles ne sont pas disponibles. De ce fait, nous avons mentionné

uniquement la température moyenne des années (2004, 2005 et 2006) pour la wilaya de Constantine.

Tableau 08 : Température moyenne mensuelle en °C (ONM, Constantine., 2006)

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
2004	7.2	8.8	10.6	11.9	15.1	21.4	25.7	26.9	21.0	19.4	9.9	7.9
2005	4.6	4.7	10.8	13.2	19.2	23.9	26.8	24.7	21.1	17.8	11.8	7.0
2006	5.5	6.9	11.0	15.6	20.1	24.9	26.8	24.4	21.0	19.1	12.5	8.4

C. Le vent

Le vent est un facteur climatique très important, car il joue un rôle fondamental dans le transport, la propagation et la dissémination des polluants de différentes tailles vu ses caractéristiques de direction et de force. Les vents soufflant sur le bassin du Kébir-Rhumel sont ceux du Nord-est qui apportent les pluies et qui sont souvent secs et froids.⁵

Les vents les plus violents sont de direction Nord Est avec une vitesse pouvant atteindre 140 Km/h (ONM, 2013).

II.1.5 L'agriculture

Le bassin de l'Oued el Kébir se caractérise par une agriculture mixte traditionnelle (irrigation gravitaire) et moderne (irrigation par canaux d'aspersion), tout dépend du type de culture. La superficie actuellement irriguée dans le bassin est de 2679 hectares consommant un volume annuel de 27,65 hm³. Les principales activités des périmètres irrigués sont essentiellement les cultures maraichères et l'arboriculture (Melghit, 2010).

Les engrais les plus utilisés en agriculture au niveau du bassin du Kébir-Rhumel sont les ammonitrates (33%) et les superphosphates (45%). Les engrais augmentent sans doute les rendements, mais contribuent surtout par leur utilisation excessive à la pollution des sols, des sédiments et des cours d'eau où les concentrations en nitrates, phosphates et leurs dérivés sont le plus souvent élevées.

II.1.6 L'industrie

Aux alentours du bassin versant Kébir-Rhumel, le tissu industriel est surtout concentré autour des grandes agglomérations (Constantine, El Khroub, Chelghoum Laid,

Hamma Bouziane, Mila,...). Plusieurs industries sont alimentées par leurs propres forages, ou leurs propres puits. Il n'a pas été possible d'accéder à toutes les installations, et les renseignements recueillis traduisent un volume global alloué à ces installations de 13.679 m³/j soit 4.99 hm³/an.



Figure 06 : Carte des rejets industriels dans le bassin versant Kébir-Rhumel (ABH, 1999)

II.2 Matériel et méthodes

Dans ce chapitre, nous allons présenter le choix, la localisation des stations, le mode de prélèvement et ainsi que, décrire les principales méthodes de dosage de 8 éléments physicochimiques. Ces analyses, concernent la détermination de la variabilité spatio-temporelle de 5 paramètres physiques à savoir, la Température, le potentiel d'hydrogène, oxygène dissous, la conductivité électrique et le potentiel de redox, et de 3 éléments nutritifs limitant (Nitrate, nitrite et phosphore). Tous les essais sont réalisés sur des eaux de deux grands oueds (Endja et Rhumel) alimentant le barrage de Béni Haroun. Toute l'étude expérimentale s'est effectuée au laboratoire pédagogique du Centre Universitaire de Mila.

II.2.1 Choix et localisation des stations de prélèvement

Pour chaque oueds, deux stations (Amont et Aval) ont été retenues selon l'accessibilité et de façon à intégrer le mieux possible l'influence de certaines zones à forte pression anthropique et/ou industrielle (agglomération, industries, mines, agriculture...).

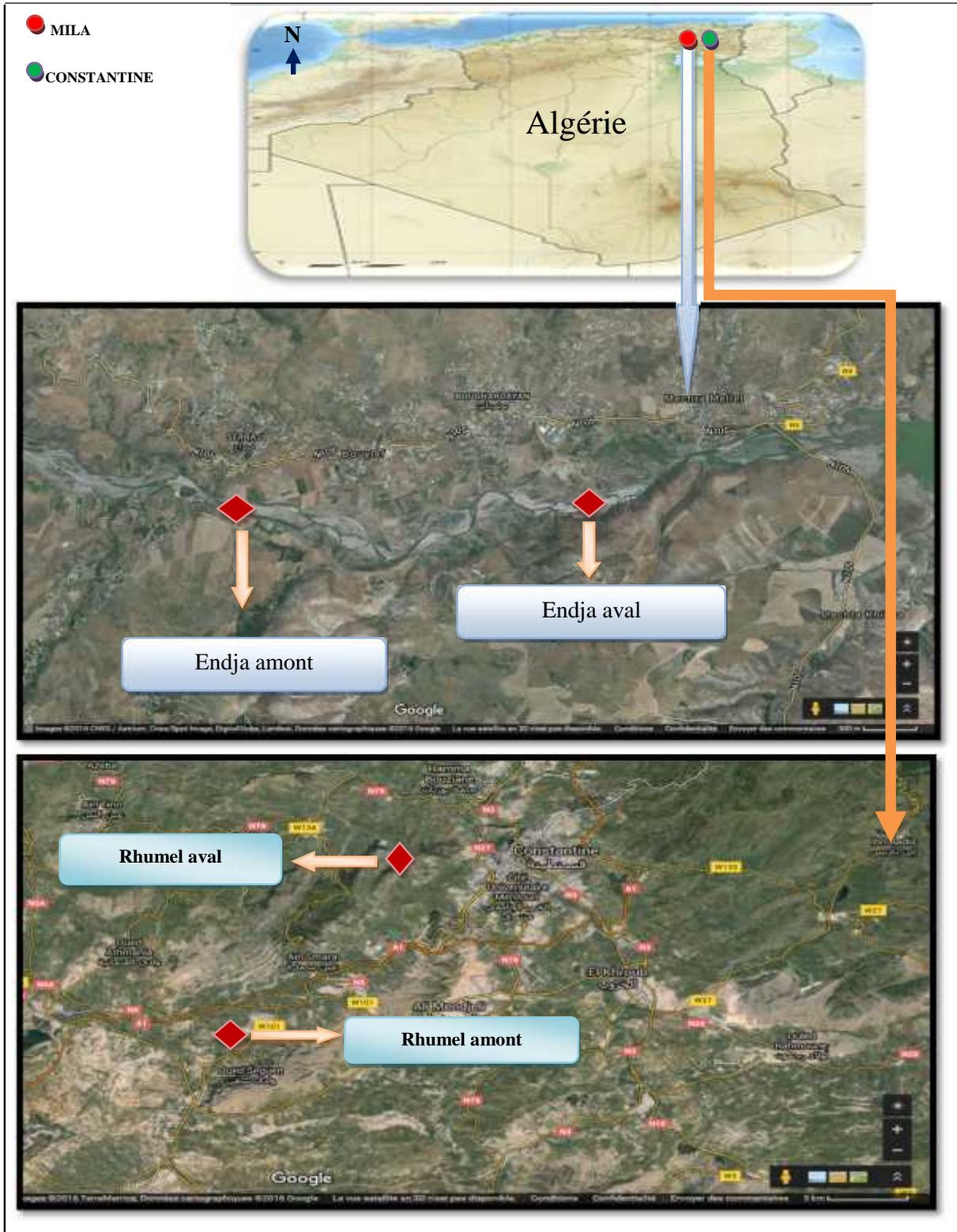


Figure 07 : Localisation géographique des stations de prélèvement (Leknouche N et Mesbah K., 2016)

🚩 Au niveau d'Oued Endja

❖ Station 1 (En1)

Cette station est située en amont de l'Oued Endja au lieu dit Bouchrou, Mechtet El Bardja, commune de Tassala. Elle traduit la qualité des eaux avant tout risque de pollution malgré la présence d'une activité agricole (culture maraichère), et d'élevage pratiqué par les habitants de la région mais ca reste toujours limité. Le lit de l'oued est rocheux avec une présence de végétation à dominance du Retama retam ($36^{\circ}29'30''\text{N}$, $6^{\circ}02'19''\text{E}$).



Figure 08 : Station1
(Endja amont)

❖ Station 2 (En2)

Située en aval de l'Oued Endja près du pont en direction d'Arras et Bainnane au lieu dit Taghlissa commune de Boughardaiane. Cette station est caractérisée par la présence d'une forte agglomération, des cultures, des rejets domestiques et d'une huilerie située juste à côté ce qui traduit un fort degré de pollution ($36^{\circ}49'53''\text{N}$, $06^{\circ}09'11''\text{E}$)



Figure 09 : Station 2
(Endja aval).

Au niveau d'Oued Rhumel

❖ Station 3 (Rh1)

Située en amont d'Oued Rhumel à environ 25 Km de Constantine. Cette station est située en aval de la confluence Rhumel-Seguen. Sous le pont en direction de Telégma et Oued Seguen. Elle traduit la qualité de l'eau avant qu'elle sera polluée par la ville de Constantine et ses proximités ($36^{\circ}10'36''N$, $6^{\circ}23'21''E$).



Figure 10 : Station 3
(Rhumel amont)

❖ Station 4 (Rh2)

Située en aval d'Oued Rhumel, au niveau de la route de Constantine–Hamma Bouziane, sous le pont d'El–Menia.

Cette station permet d'évaluer la qualité des eaux d'Oued Rhumel alimentée par les rejets diffus ainsi que les eaux de ruissellement. Elle traduit l'impact d'une agglomération importante sur la qualité Physico-chimique des eaux ($36^{\circ}23'56''N$, $6^{\circ}34'15''E$).

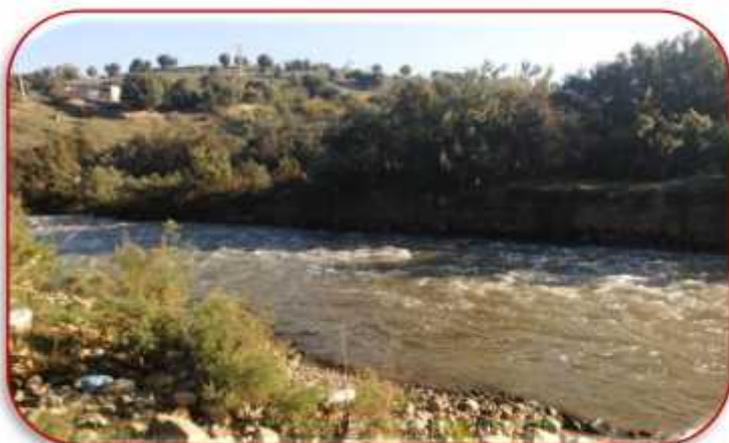


Figure 11 : Station 4
(Rhumel aval)

II.2.2 Prélèvement des échantillons d'eau

II.2.2.1 Mode de prélèvement

Les essais ont été effectués sur des prélèvements d'eaux brutes au cours de la période allant de Novembre 2015 à Mai 2016.

Tableau 09 : Les dates des prélèvements

Campagne	Date
Campagne 1	11/11/2015
Campagne 2	16/12/2015
Campagne 3	18/03/2016
Campagne 4	22/04/2016
Campagne 5	02/05/2016

Un litre et demi d'eau est récolté dans des bouteilles en plastiques pour chaque point de prélèvement. Au moment de l'échantillonnage, les bouteilles ont été rincées avec l'eau à échantillonner.

Le prélèvement est fait à une profondeur de 15 à 25 cm de la surface de l'eau, en évitant la pénétration de l'air.

La valeur de toute analyse dépend de la méthode d'échantillonnage utilisée. Pour cela, un maximum de soins et de précaution est exigé afin d'obtenir des résultats significatifs et exacts (Rodier *et al.*, 2009).

II.2.2.2 Conditionnement et transport des échantillons

Tous les bouteilles ont été immédiatement étiquetées pour éviter tout risque de confusion sur l'identité des échantillons (lieu et date de prélèvement) puis sont transportés au laboratoire dans une glacière propre ou ils sont conservés à environ 4°C jusqu'au moment de l'analyse. Les délais de conservation des échantillons sont respectés.

Tableau 10 : Agent et délai de conservation des échantillons d'eaux de surface
(Rodier et al, 2009)

Paramètre	Agent de conservation	Délai de conservation
Nitrates	Acide chlorhydrique pH<2.	7jours
Nitrites	Aucun agent de conservation.	24heures
Phosphore	Acide sulfurique pH<2	1mois

II.2.3 Analyse physico –chimiques

II.2.3.1 Paramètre mesurés in situ

Matériel utilisé

- La valise multi paramètres 3420 ;
- pH mètre Hanna (HI 8242) ;
- Une glacière ;
- Bouteilles étiquetées.

Paramètres mesurés

Le potentiel d'hydrogène (pH), la température, la conductivité électrique, et l'oxygène dissous ont été mesurés in situ respectivement par un pH-mètre de type Hanna (HI 8424) muni d'une sonde mesurant la température et pratiquement le pH. La valise multi paramètres 3420 est munie d'un conductimètre qui donne directement les valeurs exprimés en ms/cm ou en $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un oxymètre qui donne des lectures en mg/l et en pourcentage.

II.2.3.2 Paramètre mesurés au laboratoire

Matériel utilisé au laboratoire

- Spectromètre (UV-1800) ;
- Etuve Mommert ;
- Balance de précision ;
- Agitateur (Stuart) ;
- Matériel de paillasse.

Paramètres dosés

II.2.3.2.1 Dosage de Nitrite

Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N1 Naphtyléthylènediamine Dichloride donne naissance à une coloration rose mesurée à 543 nm (Rodier et al, 2009).

❖ Mode opératoire

Dans des fioles jaugées on met 50ml d'eau échantillonné et 1ml de réactif diazotation qui développe la couleur rose, après ça on effectue les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 543 nm.

II.2.3.2.2 Dosage de nitrate

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosionate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique à 415nm (Rodier et al, 2009).

❖ Mode opératoire

- 10ml d'eau échantillonnée est alcalinisée faiblement avec quelques gouttes d'hydroxyde de sodium. Puis on ajoute 0,5ml d'azote de sodium et 0,2ml d'acide acétique ;
- Après 5 mn, l'échantillon est évaporé dans une étuve à température (75-85 °C) ;
- 1ml de solution de salicylate de sodium est ajouté, mélangé puis évaporé une autre fois ;
- Le résidu est repris par 1ml d'acide sulfurique concentré ayant soin de l'humecter complètement ;
- Après 10 mn, nous avons rajouté 15ml d'eau déionisée puis 10ml de solution d'hydroxyde de sodium qui développe la couleur jaune ;
- A la fin les lectures sont effectuées au spectromètre à la longueur d'onde de 415nm.

II.2.3.2.3 Dosage du phosphore

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleu susceptible d'un dosage spectrométrique. Certaines formes organique pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des orthophosphates, le développement de la coloration est accélérée par l'utilisation d'un catalyseur, le tartrate double d'antimoine et de potassium (Rodier et al, 2009).

❖ Mode opératoire

- Après la vérification du ph de l'échantillon qui doit être compris entre 2 et 7, l'ajuster si nécessaire, nous avons introduit 20ml d'eau échantillonnée dans des fioles jaugées de 25ml ;
- 1ml de solution d'acide ascorbique est ajouté par la suite ;
- Après Agitation, nous avons ajouté soigneusement 4ml du réactif mélangeur, le volume est éventuellement complété à 25ml ;
- Après 30 mn et dès la stabilisation de la coloration nous avons effectué les mesures au spectromètre à la longueur d'onde 700 nm en cuve de 1cm.

Chapitre III

Résultats

Et

Discussion

III.1 Résultats et discussion

Dans cette partie, nous présentons, les résultats obtenus des analyses physicochimiques, réalisées pendant cinq mois au niveau des deux oueds (Endja et Rhumel) qui alimentent le barrage de Béni Haroun.

Tableau 11 : Résultats des paramètres physico-chimiques des eaux de deux cours d'eau (Rhumel et Endja)

Stations	Mois	T (°C)	pH	CE (µS/cm)	O ₂ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	P (mg/l)
Endja amont	Nov-2015	17,3	7,7	1118	17,63	35,69	2,41	0,46
	Déc-2015	9,1	6,79	2390	16,8	36,72	0,98	0,23
	Mar-2016	9,9	6,55	1146	9,21	64,8	0,78	0,49
	Avr-2016	17,5	7,1	1224	9,42	7,41	1,23	2,53
	Mai-2016	16,3	8,22	1228	7,66	34,5	1,41	0,32
Endja aval	Nov-2015	18,5	8,71	1765	17,63	46,55	1,96	0,42
	Déc-2015	10,86	7,1	2320	14,7	37,24	1,03	1,47
	Mar-2016	10,7	7,16	1796	9,54	66,9	0,61	0,59
	Avr-2016	17,9	7,46	1222	9,62	7,76	1,03	2,52
	Mai-2016	17,9	8,21	1225	8,2	19,1	1,26	0,28
Rhumel amont	Nov-2015	12	8,25	2140	8,11	70,34	3,08	0,93
	Déc-2015	11,6	7,48	1920	10,39	20,00	1,38	0,95
	Mar-2016	12,1	7,55	2070	6,89	24,8	1,23	0,62
	Avr-2016	19,6	7,79	2130	8,03	9,66	2,43	3,58
	Mai-2016	16,4	7,88	2090	7,64	27,1	2,51	2,3
Rhumel aval	Nov-2015	14,8	7,99	1648	7,14	24,14	2,31	0,74
	Déc-2015	13,4	7,79	1286	11,26	21,72	0,71	1,42
	Mar-2016	16	7,76	1998	8,88	21,4	1,31	0,54
	Avr-2016	19,3	8,13	1726	6,13	10,52	1,71	2,49
	Mai-2016	18,9	7,93	1677	8,08	15,2	1,91	0,52

III.1.1 La température

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques pour une augmentation de température de 10°C. L'activité métabolique des organismes aquatiques est également accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduelles chaudes (Amrouche C et Keziouh A., 2015).

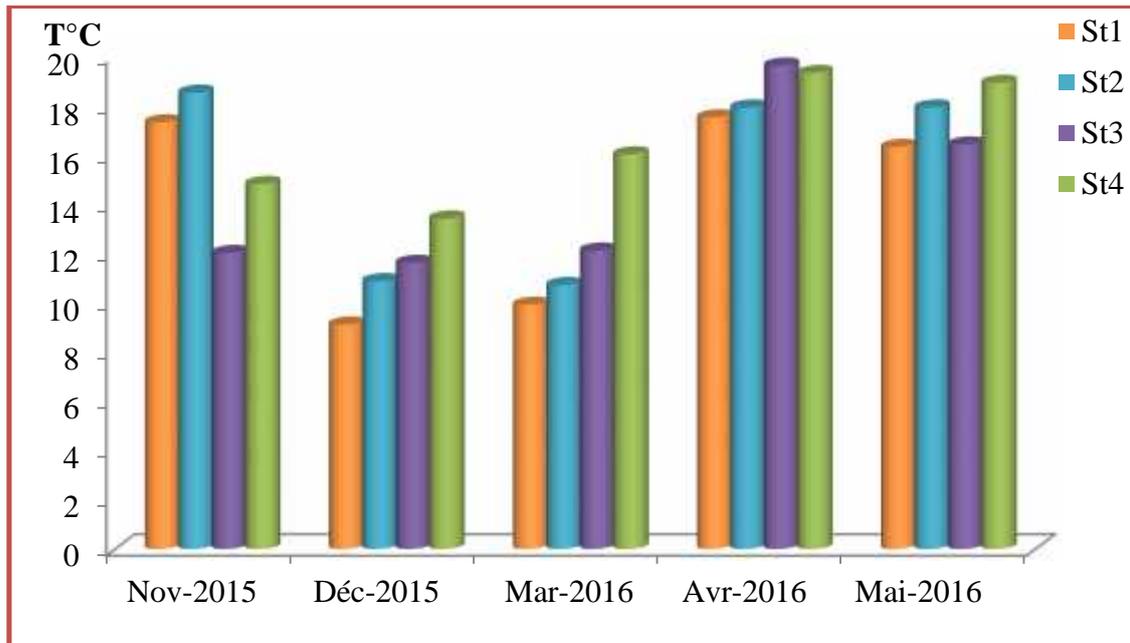


Figure12 : Variations Spatio-temporelles de la température dans les stations d'études (St1 : Endja amont ; St2 : Endja aval ; St3 : Rhumel amont ; St4 : Rhumel aval)

L'examen de la figure 13, permet de constater que, les valeurs des températures sont variables d'un mois à un autre ; cette variation est certainement liée à celle de la température de l'air. Les stations présentent un réchauffement de l'amont vers l'aval.

Au niveau du Rhumel, les valeurs extrêmes révélées sont au mois d'avril avec une température 19,6°C en amont et 19,3°C en aval, alors que les plus bas sont enregistrées au mois de décembre avec 11,6°C en amont et 13,4°C en aval.

Pour Oued Endja, les valeurs les plus élevées, sont enregistrées en aval, aux mois de novembre (18,5°C) et mai (17,9°C); alors que les températures les plus basses sont de 9,1°C en amont au mois de décembre et 10,7°C en aval au mois de mars.

En comparant les eaux des deux oueds, nous pouvons dire que l'eau du Rhumel est plus chaude que celle d'Endja.

Selon la grille d'appréciation de la qualité générale de l'eau utilisée en France depuis 1979 (tab 12); les eaux des deux Oueds sont de qualité normale.

Tableau 12: Grille d'appréciation de la qualité de l'eau en fonction de la température
(Masson. J .P, 1988)

Température	Qualité	Classe
20°C	Normale	1A
20 -22°C	Bonne	1B
22 -25°C	Moyenne	2
25 -30°C	Médiocre	3
30°C	Mauvaise	4

III.1.2 Le potentiel d'hydrogène

La valeur du pH caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique. Sa valeur altère la croissance des microorganismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre 5 et 9) (Mizi.A, 2006).

Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons (Amrouche C et Keziouh A., 2015).

Le pH est un paramètre qui mesure le degré d'acidité ou d'alcalinité des écosystèmes aquatiques. Un pH compris entre 6 et 9 permet un développement à peu près correct de la faune et de la flore aquatique (Sahli., 2012).

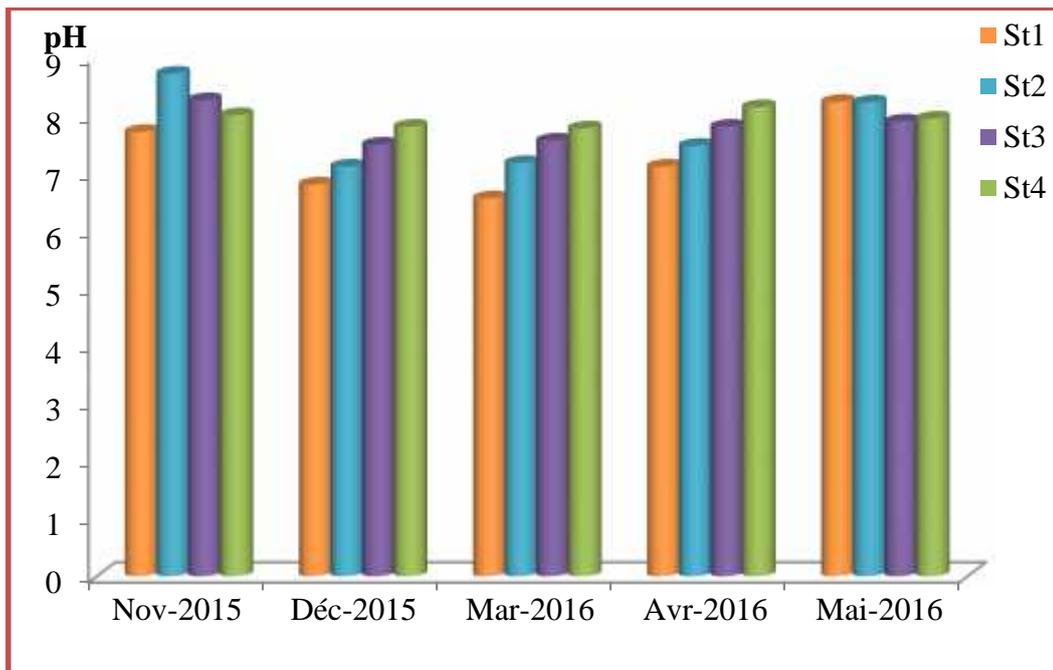


Figure13 : Variations Spatio-temporelles du pH dans les stations d'études (St1 : Endja amont ; St2 : Endja aval ; St3 : Rhumel amont ; St4 : Rhumel aval)

Dans nos zones d'étude, les valeurs du pH révélées, présentent une légère variation (6,55-8,71).

Le Rhumel, présente, les valeurs (8,25 en amont au mois de novembre et 8,13 en aval au mois d'avril). Les valeurs les plus faibles sont estimées par 7,48 en amont au mois de décembre et par 7,76 en aval au mois du mars ; ces valeurs indiquent une alcalinité des eaux. Cette dernière lorsqu'elles sont très alcalines peuvent présenter des peuplements riches et diversifiés (Rodier et al., 2009).

Au niveau d'Oued Endja, le mois de mai et novembre, enregistrent les valeurs les plus extrêmes respectivement par 8,22 en amont et 8,71 en aval. Le mois de mars, enregistre les valeurs, les plus basses estimées par 6,55 en amont.

D'après le résultat du pH, les mesures de ce dernier, présentent, une faible variation entre les différentes stations d'étude.

Et selon la grille de qualité (tab.13), les eaux des deux oueds sont de qualité bonne à très bonne.

Tableau 13 : Qualité d'eau en fonction du pH (Laurent., 2011)

pH	Classification
8	Très bonne
8,5	Bonne
9	Passable
9,5	Mauvaise
-	Très mauvaise

III.1.3 Conductivité électrique

La conductivité est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en micro siemens par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Boukezoula M., 2014).

La conductivité reflète la concentration de l'ensemble des minéraux dissous dans l'eau, la minéralisation de l'eau peut entraîner un goût salé, une accélération de la corrosion, des dépôts dans les tuyauteries. La conductivité en tant que telle n'a pas d'effet sur la santé (DASS, 2014).

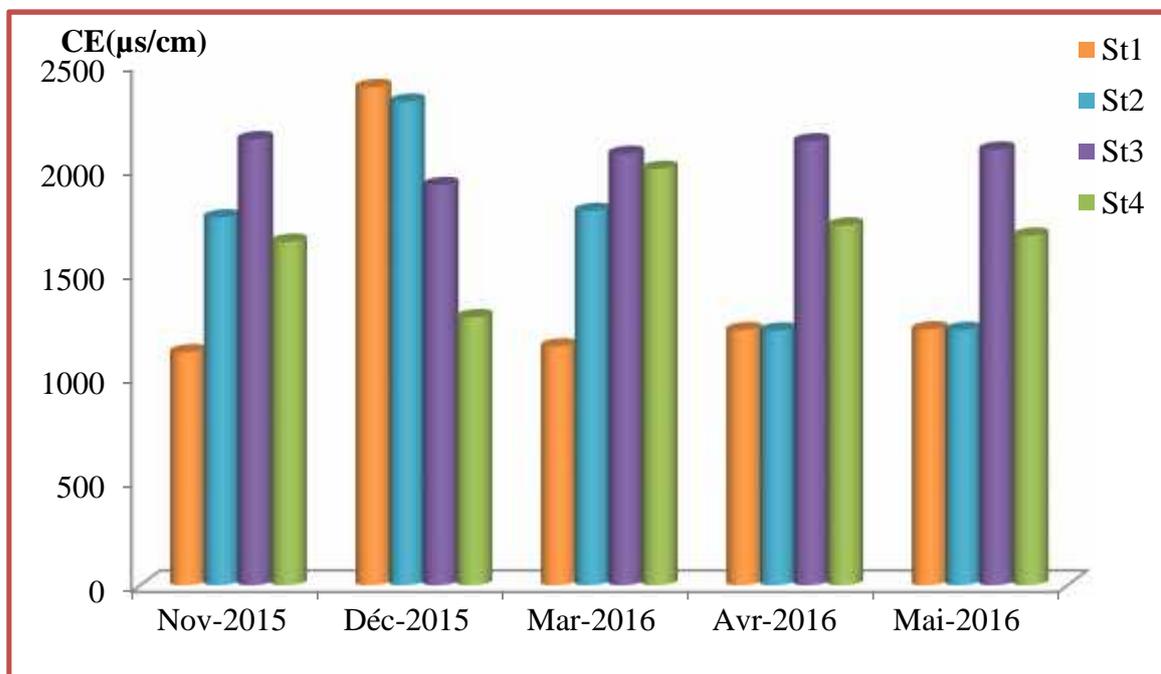


Figure14 : Variation Spatio-temporelle de la conductivité électrique (CE) dans les stations d'études (St1 : Endja amont ; St2 : Endja aval ; St3 : Rhumel amont ; St4 : Rhumel aval)

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées, dans les quatre stations au cours des campagnes de prélèvement, varient entre 1118-2390 μ S/cm. Ces valeurs sont supérieures à 1000 μ S/cm. D'après le tableau ci dessous, les stations, indiquent une minéralisation élevée.

Tableau 14 : Rapport entre la conductivité et la minéralisation (Diallo B., 1996)

Conductivité	Minéralisation
0-100 μ S/cm	Minéralisation très faible
100-200 μ S/cm	Minéralisation faible
200-333 μ S/cm	Minéralisation moyenne accentuée
333-666 μ S/cm	Minéralisation accentuée
666-1000 μ S/cm	Minéralisation importante
> 1000 μ S/cm	Minéralisation élevée

D'après la (fig.15), Oued Endja, enregistre les grands valeurs le mois de décembre (2390 μ S/cm et 2320 μ S/cm), respectivement en amont et en aval.

Oued Rhumel, présente des valeurs de conductivité très élevées dépassant le 1000 μ S/cm pour toutes les campagnes de prélèvement. Ces teneurs, augmentent significativement de l'amont vers l'aval.

D'après la Grille de la qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (tab 15), les eaux des d'eux oueds, présentent une qualité passable à médiocre.

Tableau 15: Grille de la qualité des eaux en fonction de la conductivité électrique (Masson., 1988)

Conductivité électrique (μ S/cm)	Qualité de l'eau	Classe
CE<400	Bonne	1A
400<CE<750	Bonne	1B
750<CE<1500	Passable	2
1500<CE<3000	Médiocre	3

III.1.4 L'oxygène dissous

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau (Makhoukh.M *et al.*, 2011).

Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments (Amrouche C et Keziouh A., 2015).

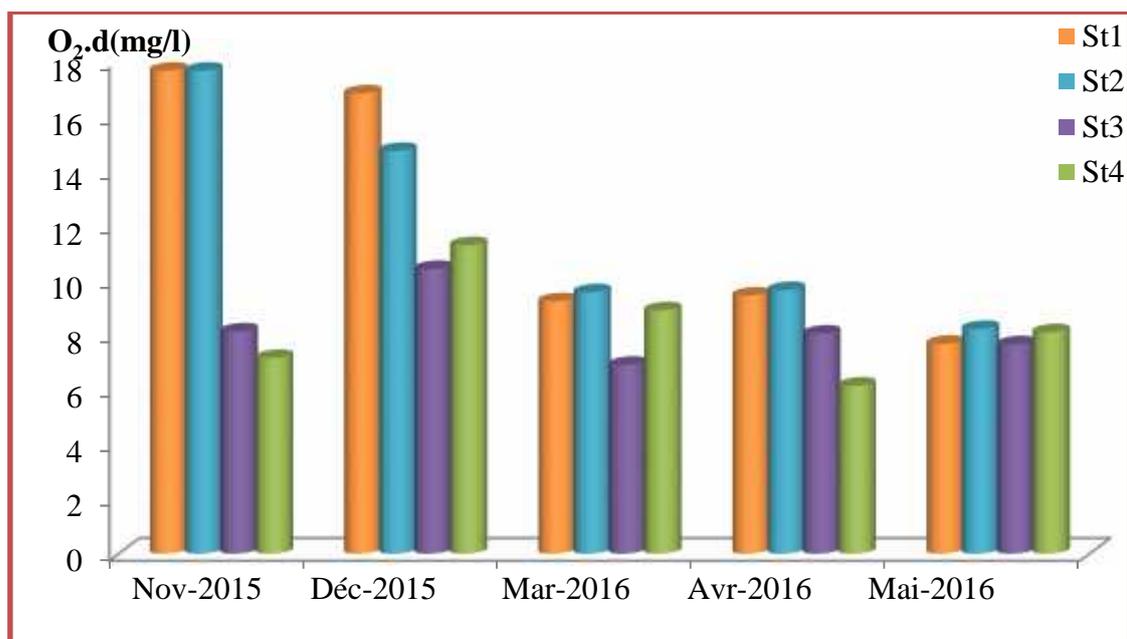


Figure15 : Variation Spatio-temporelle de l'oxygène dissout (O_2) dans les stations d'études (St1 : Endja amont ; St2 : Endja aval ; St3 : Rhumel amont ; St4 : Rhumel aval)

D'après les résultats obtenus, des mesures de l'oxygène dissout sur terrain, nous remarquons, une très grande variation spatio-temporelle (6,13-17,63mg/l). Les valeurs maximales sont enregistrées le mois de novembre et décembre à Oued Endja. Les valeurs minimales sont enregistrées au Rhumel aval (6,13mg/l). Dans ce fait, oued Endja présente une bonne oxygénation par à port à Oued el Rhumel.

En fonction de la grille de qualité de 1971 simplifiée de l'oxygène (tab.16) les eaux d'oued Endja et Rhumel sont de qualité bonne à très bonne.

Tableau 16 : Grille de qualité de 1971 simplifiée de l'oxygène (Boissonneault., 2009)

Oxygène dissous (mg/l)	Qualité de l'eau
5	Bonne ou très bonne qualité
3	Qualité acceptable
1	Qualité médiocre
< 1	Mauvaise ou très mauvaise qualité

III.1.5 Nitrate (NO_3^-)

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. Cependant leurs teneurs dans les eaux usées non traitées sont faibles (Makhoukh M *et al.*, 2011).

Les nitrates NO_3^- présents dans le sol, dans les eaux superficielles et souterraines résultent de la décomposition naturelle, par des microorganismes, de matière organique azotée telle que les protéines végétales, animales et les excréments animaux. L'ion ammonium formé est oxydé en nitrates. La présence de nitrates dans l'environnement est une conséquence naturelle du cycle de l'azote (Benkaddour N., 2015).

L'addition du salicylate de sodium donne la couleur jaune (Rodier J., 2009).



Figure 16 : Dosage de nitrate (NO_3^-)

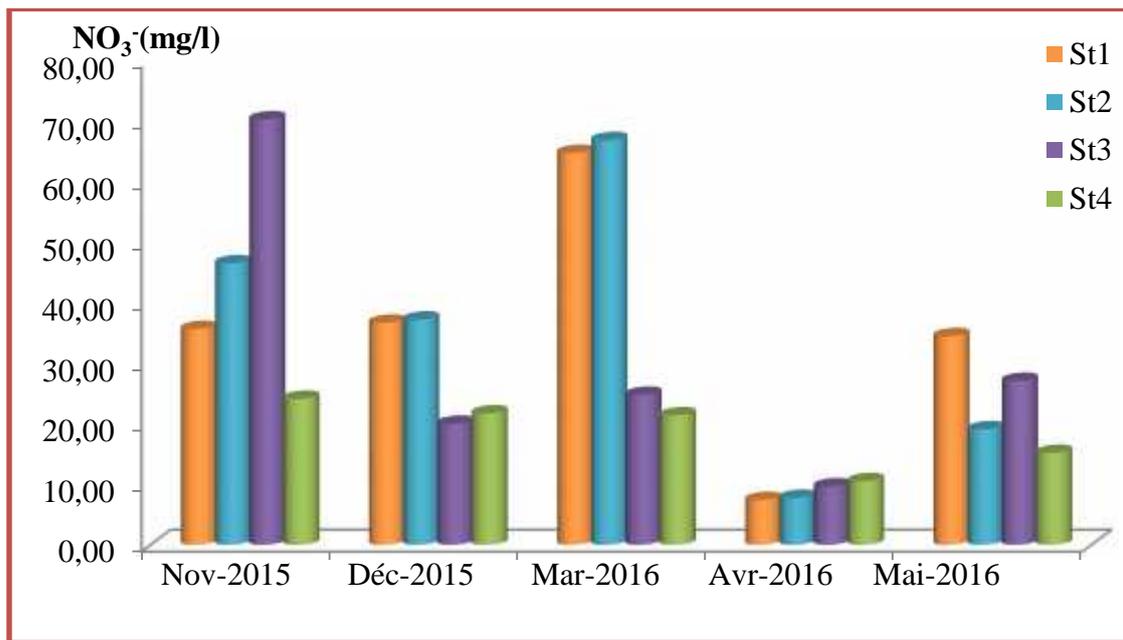


Figure17 : Variation Spatio-temporelle du nitrate (NO_3^-) dans les stations d'études (St1 : Endja amont ; St2 : Endja aval ; St3 : Rhumel amont ; St4 : Rhumel aval)

Les nitrates présentent des variations très importantes s'observant toute la période d'étude (7,41- 70,34 mg/l) (fig 18).

Au niveau d'Oued Endja, deux pics sont enregistré, le mois de mars en amont et en aval respectivement avec les valeurs 64,8 et 66,9 mg/l. Les teneurs les plus faibles sont enregistrées le mois d'avril en amont (7,41 mg/l) et en aval (7,76 mg/l).

Le Rhumel, donne la valeur maximale 70,34 mg/l au mois de novembre en amont et la minimale 9,66 mg/l pour la même station.

Les valeurs maximales du nitrate, peut être dû au lessivage des sols ; ainsi aux eaux de pluies qui peuvent contenir des nitrates en provenance des oxydes d'azote et de l'ammoniac présents dans l'atmosphère (Rodier *et al.*, 2005). Aussi, la température supérieure à 10°C, favorise la minéralisation de l'azote organique. Comme, la présence des nitrates stimule la croissance des algues et des plantes vertes, ce qui favorise la photosynthèse et par conséquent conduit à la formation d'oxygène au sein des cours d'eau (Melghit M., 2012). Ce ci, se concorde bien avec le résultat, des mesures de la température et celles de l'oxygène ; ainsi qu'avec celles obtenues par Melghit M en 2012.

Tableau 17 : Grille de qualité des eaux en nitrates (ANRH, 2001)

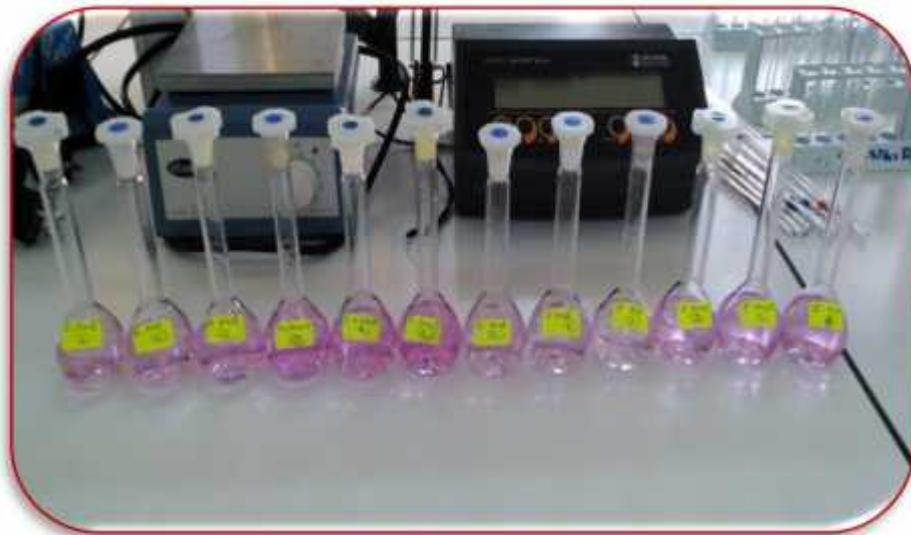
Teneurs en nitrate NO_3^- (mg/l)	Qualité des eaux
<10	Bonne
$10 < \text{NO}_3^- < 20$	Moyenne avec signe de pollution
$20 < \text{NO}_3^- < 40$	Polluée avec une pollution nette
>40	Pollution importante

Selon le tableau ci-dessus, présentant, la qualité des eaux en fonction des nitrates, les eaux des deux oueds indiquent une pollution.

III.1.6 Nitrite (NO_2^-)

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associée à une détérioration de la qualité microbiologique. Une eau renferme une quantité élevée de nitrites (supérieur à 1 mg/l d'eau), la pollution devienne très significative (Rodier., 2009).

Le dosage colorimétrique du nitrite à révélé la couleur qui apparaisse dans la figure ci-dessous.

**Figure 18** : Dosage de nitrite (NO_2^-)

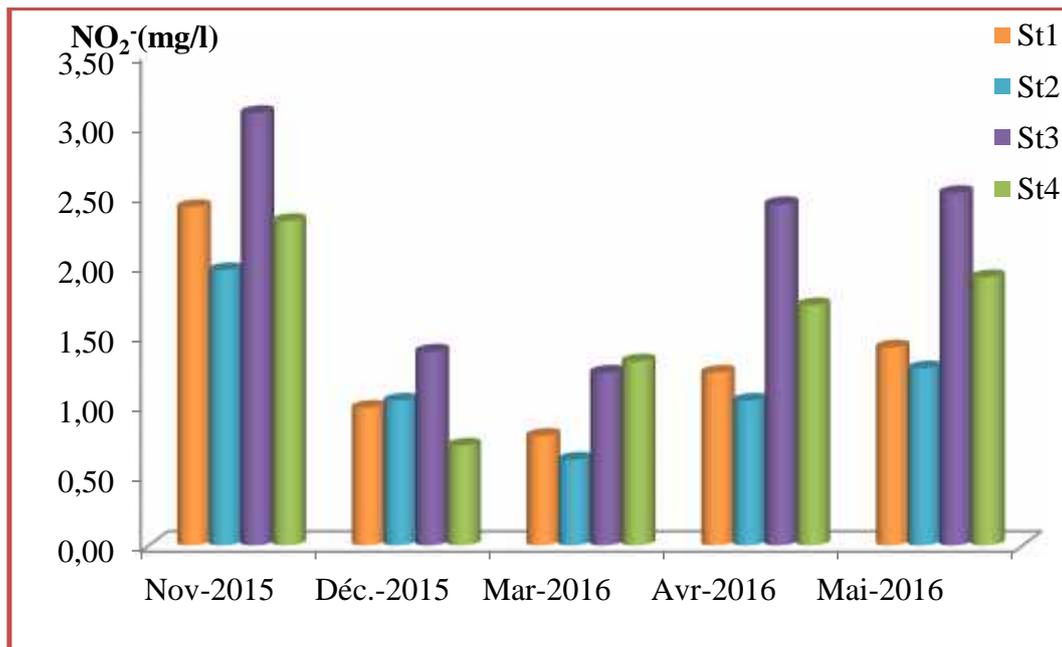


Figure 19 : Variations Spatio-temporelles des nitrites (NO₂⁻) dans les stations d'études (St1 : Endja amont ; St2 : Endja aval ; St3 : Rhumel amont ; St4 : Rhumel aval)

Les teneurs en nitrites montrent des variations importantes s'observant d'une station à l'autre et d'un prélèvement à l'autre (0,61-3,08 mg/l).

Les valeurs maximales (3,08, 2,51 et 2,48mg/l) sont enregistrées en amont d'oued Rhumel, la minimale (0,61mg/l), est enregistrée en aval d'oued Endja.

En générale, les teneurs des nitrites sont élevées dans l'ensemble des stations et selon le tableau ci-dessous, les eaux sont médiocres et indiquent une pollution excessive.

Tableau 18 : Grille de la qualité des eaux en nitrite (ANRH, 2001)

Teneurs en nitrites NO ₂ ⁻ (mg /l)	Qualité des eaux	Classe
<0,1	Excellente	1A
0,1 < NO ₂ ⁻ < 0,3	Bonne	1B
0,3 < NO ₂ ⁻ < 1	Passable	2
1 < NO ₂ ⁻ < 2	Médiocre	3
> 2	Excessive	4

III.1.7 Phosphore (P)

Le phosphore est un élément assez rare mais indispensable à tout être vivant. Il joue un rôle d'engrais. Le phosphate est obtenu dans la nature à partir de la décomposition des cellules mortes qui sont minéralisées par les micro-organismes. Sa présence dans l'eau n'a pas de conséquence sanitaire.

Par contre, elle favorise la croissance des algues dès que l'eau est exposée à la lumière par le phénomène de l'eutrophisation. Bien que non toxiques, les phosphates présents dans l'eau peuvent occasionner des troubles digestifs à cause de leur effet tampon. (Samake, 2002).

Le dosage de ce paramètre, développe une coloration bleue (Rodier J., 2009).

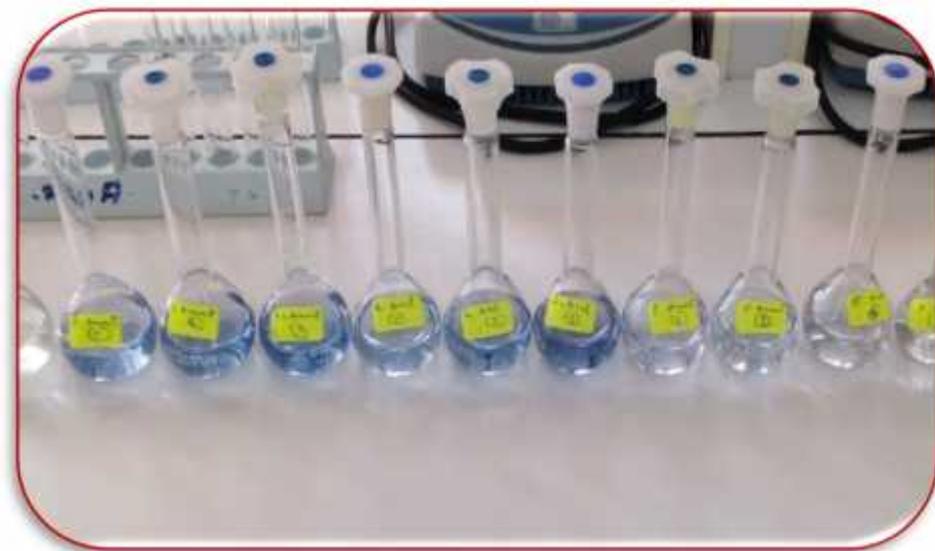


Figure 20 : Dosage du Phosphore (P)

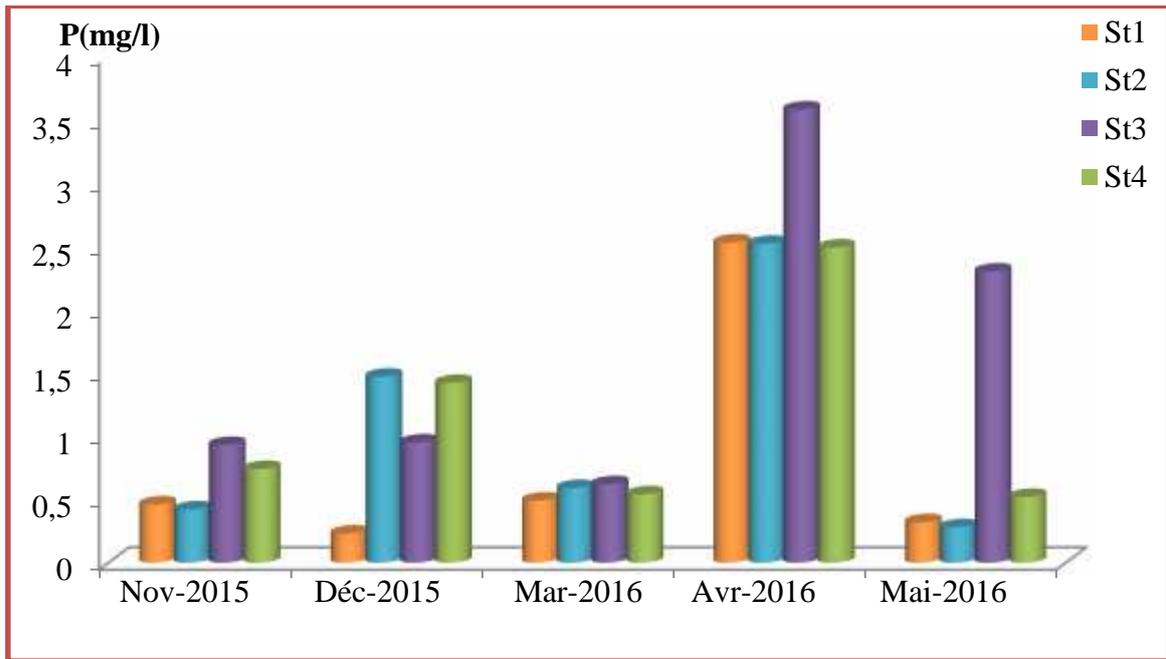


Figure 21 : Variations Spatio-temporelles des teneurs en phosphore dans les stations d'études (St1 : Endja amont ; St2 : Endja aval ; St3 : Rhumel amont ; St4 : Rhumel aval)

La teneur en phosphore des eaux analysées, présente des variations irrégulières, s'observant d'une station à l'autre et d'une campagne à l'autre.

Nous avons enregistré la valeur extrême (3,58 mg/l) en amont du Rhumel au mois d'avril, par contre la valeur la plus faible (0,23mg/l) est enregistrée, en amont d'Oued Endja au mois de décembre.

D'une façon générale, oued Rhumel présente les teneurs les plus élevées en phosphore et qui dépassent le 0,5mg/l durant toute la période d'étude. Selon Rodier, (2009), Des teneurs supérieures à cette valeur, doivent constituer un indice de pollution.

Oued Endja, présente des pics, le mois d'avril (2,53et 2,52mg/l), respectivement pour l'amont et l'aval, le mois de novembre (1,47mg/l) en aval et 0,59mg/l au mois de mars pour la même station.

Selon la grille de qualité de 1971 simplifiée (tab19); les eaux analysées sont de qualité en générale médiocre.

Tableau 19 : Grille de qualité des eaux en phosphore (Boissonneault. Y, 2009)

Phosphore total (mg/l)	Qualité
0.3	Bonne ou très bonne
0.6	Acceptable
1	Médiocre
> 1	Mauvaise ou très mauvaise

III.2 Traitement statistique

III.2.1 Analyse de la variance à un critère de classification (AV1)

Dans notre traitement par le logiciel MINI TAB 2000, on a utilisé l'analyse de la variance à un critère de classification ou un facteur, elle sert à comparer les moyennes à plusieurs populations normales, et de même variance à partir des échantillons aléatoires simples et indépendants les uns des autres.

Les résultats sont obtenus à l'aide de la comparaison de Fobs avec F_{1-p} , cette dernière est tirée à partir de la table de FISHER, pour $K_1=P-1$ et $K_2= n-p$.

Pour $\alpha = 0.05$

- Si $F_{obs} > F_{1-p}$, on dit qu'il existe des différences significatives entre les moyennes (*).

Pour $\alpha = 0.01$

- Si $F_{obs} > F_{1-p}$, on dit qu'il existe des différences hautement significatives entre les moyennes (**).

Pour $\alpha = 0.001$

- Si $F_{obs} > F_{1-p}$, on dit qu'il existe des différences très hautement significatives entre les moyennes (***) (Kherief. N, 2006).

Tableau 20: Variation temporelle moyenne des paramètres physico-chimiques des eaux d'Oued Endja à l'aide de l'AV1

Mois	T°C	pH	CE (μ S/cm)	O ₂ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	P(mg/l)
Nov-2015	17,9	8,20	1441,5	17,63	41,12	2,18	0,44
Déc-2015	9,98	6,94	2355,0	1,48	36,98	1,33	0,85
Mar-2016	10,3	6,85	1471,0	0,23	65,85	0,69	0,54
Avr-2016	17,7	7,28	1223,0	0,14	7,58	0,69	2,52
Mai-2016	17,1	8,21	1226,5	0,38	26,80	1,33	0,30
P	0,000 ***	0,045 *	0,050 *	0,000 ***	0,002 **	0,002 **	0,011 *
F_{obs}	42,15	5,50	5,19	77,68	25,14	21,29	10,77

D'après le tableau 20, et pour les stations d'Oued Endja, il existe des variations temporelles moyennes pour tous les paramètres, ce ci est montré par des variations très hautement significatives ($p=0,000$) pour l'oxygène dissous et la température, hautement significatives ($p=0,002$) pour le nitrate et nitrite et significativement ($p=0,045$) pour le potentiel d'hydrogène, ($p=0,050$) pour la conductivité électrique, et ($p=0,011$) pour le phosphore.

Tableau 21 : Variation temporelle moyenne des paramètres physico-chimiques des eaux du Rhumel à l'aide de l'AV1

Mois	T°C	pH	CE (μ S/cm)	O ₂ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	P (mg/l)
Nov-2015	13,400	8,1200	1894,0	7,625	47,24	2,6950	0,8350
Déc-2015	12,500	7,6350	1603,0	10,825	20,86	1,0450	1,1850
Mar-2016	14,050	7,6550	2034,0	7,885	23,10	1,2700	0,5800
Avr-2016	19,450	7,9600	1928,0	7,080	10,09	2,0700	3,0350
Mai-2016	17,650	7,9050	1883,5	7,860	21,15	2,2100	1,4100
P	0,045 *	0,045 *	0,727 NS	0,063 NS	0,298 NS	0,056 NS	0,080 NS
F_{obs}	5,47	2,64	0,52	4,58	1,64	4,87	4,02

D'après le résultat, concernant Oued Rhumel, il existe une faible variation temporelle pour les différents paramètres. Une variation significative ($p=0,045$) pour la température et le potentiel d'hydrogène. Non significative pour les autres paramètres.

Tableau 22 : Variation temporelle moyenne des paramètres physico-chimiques des eaux de deux oueds à l'aide de l'AV1

Mois	T°C	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	O ₂ d (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	P (mg/l)
Nov-2015	15,650	8,1625	1667,8	12,628	44,18	2,4400	0,6375
Déc-2015	11,240	7,2900	1979,0	13,288	28,92	1,0250	1,0175
Mar-2016	12,175	7,2550	1752,5	8,630	44,48	0,9825	0,5600
Avr-2016	18,575	7,6200	1575,5	8,300	8,84	1,6000	2,7800
Mai-2016	17,375	8,0600	1555,0	7,895	23,98	1,7725	0,8550
P	0,000 ***	0,020 **	0,666 NS	0,059 NS	0,024 **	0,003 ***	0,000 ***
Fobs	9,56	4,03	0,60	2,88	3,85	6,45	10,43

D'après le résultat obtenu, de l'analyse de la variation temporelle, des paramètres physico-chimique de l'ensemble des stations, il existe une variation temporelle très hautement significative ($p=0,003$) pour le nitrite, ($p=0,000$) pour la température et le phosphore ; hautement significative pour le pH ($p=0,020$) et ($p=0,024$) pour les nitrates⁻, et non significative pour la Conductivité électrique et l'oxygène dissous.

III.2.2 Test de corrélation entre des paramètres physico-chimiques

Tableau 23: Matrice des corrélations entre les paramètres physiques et chimiques des eaux des différentes stations d'étude

	T°C	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	O ₂ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	P (mg/l)
T°C	1						
pH	r= 0,630	1					
CE ($\mu\text{S/cm}$)	r=-0,342	r=-0,050	1				
O ₂ (mg/l)	r=-0,193	r=-0,161	r=0,070	1			
NO ₃ ⁻ (mg/l)	r=-0,619	r=-0,152	r=0,131	r=0,256	1		
NO ₂ ⁻ (mg/l)	r=0,069	r=0,006	r=0,340	r=0,682	r=0,942	1	
P (mg/l)	r=0,426	r=-0,032	r=0,083	r=-0,297	r=-0,521	r=0,187	1

L'examen de la matrice de corrélation (tab.23), établie entre les paramètres physique et chimique dans les différentes stations d'études, indique que, les nitrites sont fortement corrélés avec le nitrate ($r=0,942$) et avec l'oxygène dissous ($r=0,682$), corrélés avec la conductivité électrique ($r=0,340$) et le phosphore ($r=0,187$), et faiblement corrélés avec la température ($r=0,069$) et le potentiel d'hydrogène ($r=0,006$).

Les nitrates sont corrélés positivement avec la conductivité électrique ($r=0,131$) et avec l'oxygène dissous ($r=0,256$), et négativement avec les autres paramètres.

Le phosphore est fortement corrélé positivement avec la température ($r=0,426$) et le nitrite ($r=0,187$), faiblement corrélé avec la conductivité électrique ($r=0,083$) et corrélé négativement avec le nitrate ($r=-0,521$), l'oxygène ($r=-0,297$) et le pH ($r=-0,032$).

La température est fortement corrélée positivement avec le pH ($r=0,630$) et négativement avec les nitrates ($r=-0,619$), la conductivité électrique ($r=-0,342$) et l'oxygène dissous ($r=-0,193$).

Le potentiel d'hydrogène est faiblement corrélé avec le nitrite ($r=0,006$), négativement avec la conductivité électrique ($r=-0,050$), et ($r=-0,161$, $r=-0,152$) respectivement pour l'oxygène dissous et le nitrate.

Conclusion
conjunction

Conclusion

Ce travail, avait pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique et le niveau de contamination par les éléments nutritifs (azote et phosphore) des deux oueds du bassin versant Kébir Rhumel (Endja et Rhumel) en combinant plusieurs approches complémentaires :

- Du terrain, avec des prélèvements de l'eau ;
- De l'analyse par caractérisation physico-chimique de l'eau in situ et au laboratoire.

Pour cela, des démarches d'échantillonnage et analytique ont été mises en place pour obtenir les résultats les plus représentatifs possibles sur l'état des lieux au niveau des compartiments naturels des oueds du bassin versant étudié. À l'issue de cette étude, les principaux résultats peuvent être résumés ainsi :

- Les eaux, se réchauffent de l'amont en aval, caractérisées par une bonne oxygénation;
- Le pH, présente une légère variation à tendance alcaline ;
- Une conductivité électrique élevée, traduisant une minéralisation excessive, indiquant une qualité d'eau passable à médiocre ;
- Les nitrates présentent des variations très importantes s'observant toute la période d'étude (7,41- 70,34 mg/l) indiquant une pollution importante ;
- Des teneurs de nitrite (NO_2^-) variantes d'un prélèvement à un autre avec des concentrations élevées, traduisant une pollution excessive ;
- Les teneurs en phosphore, présentent des variations irrégulières, élevées supérieures à la norme indiquant une qualité médiocre.

L'analyse de la variance AV1, à révéler des variations temporelle très hautement significative ($p=0,003$) pour le nitrite et ($p=0,000$) pour la température et le phosphore; hautement significative pour le pH ($p=0,020$) et pour les nitrates ($p=0,024$), et non significative pour la conductivité électrique et l'oxygène dissous.

Un tel résultat montre que les eaux d'Oued Endja et celles du Rhumel sont riche en éléments nutritifs indiquant une qualité passable à médiocre, qui montre un potentiel de pollution.

Références bibliographiques

- **ABH., (1999)** : Agence du bassin hydrographique Constantinois- Seybousse-Mellegue. Cahiers de l'A.B.H.- C.S.M. n°02.
- **A.E.S.N., (1991)**: Mémento statistique. Agence de l'Eau Seine-Normandie, 126 p.
- **Aissa Grouz Jerbi N., (2015)** : Eutrophisation et dynamique du phosphore et de l'azote en seine : un nouveau contexte suite à l'amélioration du traitement des eaux usées. Biochimie, Biologie moléculaire. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, P 74.
- **Aissaoui A., (2013)** : Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammah Grouz de la région de oued Athmania (wilaya de Mila)par les activités agricoles. Mémoire de Magistère. Université Mouloud Mammri de Tizi-Ouzou.
- **Amrouche C et Keziouh A., (2015)** : Contamination des sédiments de l'oued Endja par le Cadmium. Mémoire de magistère. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila.
- **ANB., (2007)** : Agence National des Barrage.
- **ANRH., (2001)** : Agence Nationale des Ressources Hydriques.
- **ASEF., (2010)** : Association de la santé de l'environnement de la France.P 5.
- **Baok G., (2007)** : Pollution des eaux de rivière et impact sur les populations riveraines: cas de la rivière Mgoua dans la zone industrielle de douala- bassa (Cameroun).diplôme de Master of Science en Gestion de l'eau. Université de Dschang.
- **Barroin G., (2003)** : Phosphore, azote et prolifération des végétaux aquatiques. Le courrier de l'environnement de l'INRA, p13-25.
- **Barroin G., (2004)** : Phosphore, azote, carbone du facteur limitant au facteur de maîtrise. Centre alpin de recherche sur les réseaux trophiques des écosystèmes limniques, BP 511, 74203 Thonon-les-Bains cedex.barroin@thonon.inra.fr.P 2-4.
- **Benkaddour N., (2015)** : Contribution à l'étude de l'efficacité de la graine de Moringa Oleifera dans la dépollution des eaux d'oued Safsaf. Diplôme d'Ingénieur d'Etat en agroforesterie. Université Abou Bekr Belkaid-Telecen.P 15-19, 26 et 17.
- **Bertrand. G., (2008)** : Utiliser L'eau De Pluie, Editions Eyrolles, 130 p.
- **Boulmis N et Laouar F., (2015)** : La variabilité saisonnière du phytoplancton d'un cours d'eau : cas de l'Oued Rhumel. Mémoire de Magistère. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila.P 22, 24, 42, 57, 72, 74.

Références bibliographiques

- **Boukezoula M., (2014) :** Contribution à l'étude de l'impact des paramètres physico-chimiques sur la biomasse algale dans les deux Oueds qui alimentent le barrage Beni Haroun. Mémoire de Magistère. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila.P 34.
- **Boukemara L., (2009) :** Etude de l'adsorption des ions phosphate sur des oxyhydroxydes cas de l'hydroxyde de fer. Mémoire de Magistère. Université Mentouri De Constantine, Faculte Des Sciences Exactes, Département De Chimie.
- **BE., (2012) :** Bruxelles Environnement : « Programmes de surveillance de l'état des eaux de la Région de Bruxelles-Capitale en application de l'Ordonnance Cadre Eau ».
- **CRE Laurentides., (2009) :** Le phosphore et l'azote p.2, 3.
- **CCME., (2016) :** Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement. Guide pour l'élaboration de recommandations sur les éléments nutritifs dans les cours d'eau. P 9.
- **DASS-NC., (2014) :** Direction des Affaires Sanitaires et Sociales de la Nouvelle-Calédonie. Guide 4 suivi de la qualité de l'eau produite et distribuée. Service de Santé Publique Bureau santé environnement. P 4.
- **Devillers Juliette., Squilbin. M et Yourassowsky. C., (2005) :** Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général. Bruxelles Environnement, fiche documentée, 16 pages.
- **Diallo B., (1996) :** Analyse et contrôle de la pollution des eaux du fleuve Niger par les rejets liquides urbains et industriels du district de Bamako. Mémoire DEA de Biologie. Ensup Bamako.
- **Ezziane S., (2007) :** Traitement des eaux de rejets de l'unité ceramit « TENES ». Mémoire de magistère. Université Hassiba Ben Bouali de Chlef. 186 p.
- **Gaamoune S., (2010) :** Le role des biofilms d'algues dans les traitements biologiques des eaux. Magister en biologie vegetale. Universite Farhat Abbas – Setif. P 10,11.
- **GCG., (2006) :** Le Gard Conseil General, Qualité des eaux superficielles bassin versant des Gardons. Direction du Développement Rural Service de l'Eau et des

Références bibliographiques

- Rivières, Réseau de suivi de la ressource en eau dans le département du gard, p 4, p 6.
- **Ghorab D et Oualdou B., (2015) :** Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation du barrage de Beni Haroun. Mémoire du Mastère. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila. P 4,5.
 - **Guilbert L., (2000) :** Chimie Dans La Buanderie, Projets d'Intégration des Sciences et des Technologies en Enseignement au Secondaire, p 21.
 - **Hamed M, Guettache A et Bouamer L., (2012) :** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar. Mémoire du diplôme d'Ingénieur d'état. Université de Bechar. P 3
 - **Hébert, S. et S. Légaré., (2000) :** *Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau*, Québec, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, envirodoq no ENV-2001-0141, rapport n° QE-123, 24 p. et 3 annexes.
 - **IBGE., (2005) :** Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement. Observatoire des données de l'environnement. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général. P1
 - **Ironside Gary, (2001) :** Les éléments nutritifs Dans l'environnement Canadien, Rapport sur l'état de l'environnement au Canada. P 1.
 - **Kerdoud S., (2006) :** Le bassin versant de Béni Haroun eau et pollution. Présenté pour l'obtention du Diplôme de magister ; Université Mentouri- Constantine. 7-31 p.
 - **Kherief Naceraddine S., (2006) :** Etude de la variabilité des températures extrêmes et pérennité des arbres urbains dans la région de Constantine. Thèse de Magistère. Univ Mentouri Constantine.
 - **Kihal N., Latreche N et Bouacha R., (2015) :** Mémoire de fin d'étude, Etude de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de consommation du Commun Oued Endja, P 6
 - **Samak H., (2002) :** analyse physico-chimique et bacteriologique au L.n.s. des eaux de consommation de la ville de bamako durant la periode 2000 et 2001. Doctorat. Université du Bamako.

Références bibliographiques

- **La Jeunesse I., (2001)** : Etude intégrée dynamique du phosphore dans le système bassin versant - Lagune de Thau (Mer Méditerranée, Hérault). Thèse de doctorat de l'Université d'Orléans, 289p.
- **Madi Bamdou R., (2010)** : Potabilisation des eaux de consommation par photo Fenton. Mémoire d'Ingénieur, 2iE.
- **Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Van et Clooster M., (2011)** : Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). Université Mohammed premier. Faculté des Sciences. Centre de l'Oriental des sciences et Technologies de l'Eau, Oujda, Maroc. Université Catholique de Louvain, Faculté de bioingénierie agronomique et environnementale, unité génie rurale. Louvain-La-Neuve. Belgique.
- **Masson J P., (1988)** : Suivi de la qualité des eaux superficielles : l'expérience française. Palazzo dei Congressi. 99-100 p.
- **Mebarki A., (2005)** : Hydrologie des bassins versants de l'est Algérien : Ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état. Université Mentouri-Constantine. 360p.
- **MEF., (1994)** : Ministère de l'Environnement et de la faune du Québec. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales. cahier 2 : échantillonnage des rejets liquides, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction des laboratoires, 19 p.
- **Melghit M., (2010)** : Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau / Sédiments de l'Oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouz et Béni Haroun. Mémoire de Magistère. Université Mentouri de Constantine. p16-21.
- **Metahri M.S., (2012)** : Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat. Université Mammeri de Tizi-Ouzou. p, 7, 8, 172 p.
- **Mizi. A., (2006)** : Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. ANNABA.
- **Némry J., (2003)** : Origine et devenir du phosphore dans le continuum aquatique de la seine des petits bassins amont à l'estuaire : Rôle du phosphore échangeable sur

Références bibliographiques

- l'eutrophisation. Thèse de doctorat. Université paris vi – pierre et marie curie. P 8, 9, 10.
- **Noques G., (2012)** : Evolution et diversité du Vivant. Cours 14 Chapitres 53, 54 et 55 Campbell, 3, Ed 1.
 - **ONM., (2006)** : Office National de Météorologie. Ain El Bey. Constantine.
 - **ONM., (2009)** : Office National de Météorologie. Ain El Bey. Constantine.
 - **ONM., (2013)** : Office National de Météorologie. Ain El Bey. Constantine.
 - **Pajoués J., (2007)** : Le petit Larousse.
 - **Rodier J., (1997)** : L'analyse De L'eau (Eaux Naturelles, Eaux Résiduaire Et Eaux De Mer), 8ème Edition. Dunod, Paris, p 66.
 - **Rodier J., (2009)** : L'analyse de l'eau Eau naturelles, eaux résiduaire, eau de mer. 9^{ème} édition. 1600p.
 - **Rodolph P., (1990)** : Le grand livre de l'eau, la manufacture, Cité des sciences. Paris, 160 – 370.
 - **Sahli L., (2012)** : Etude du comportement de quelques espèces floristiques et faunistiques des écosystèmes aquatiques vis-à-vis des éléments traces métalliques par des bioessais. Thèse de doctorat. Université Mentouri de Constantine. p30-36.
 - **SEQ-Eau., (2006)** : Grilles de seuils par altérations avec justifications. La qualité des cours d'eau en Alsace : 10 ans de suivi. P1.
 - **Teissier S., (2001)** : Bilan des transformations de l'azote en riviere. Developpements methodologiques de la mesure des flux d'interface et applications (sediments, biofilms epilithiques de la garonne). These Pour obtenir le grade de docteur de l'universite toulouse III. Universite toulouse III – Paul Sabatier U.f.r. sciences de la vie et de la terre. P 13-17.
 - **Zerki N., (2013)** : Apport de la chimie pour l'analyse et l'interpretation de quelques parametres physicochimiques Influençant la repartition des metaux lourds, des elements nutritifs et des anions dans les Eaux de l'oued de bouregreg. P 38,

Cite d'internet :

- **Boissonneault Y., (2009)** : Etats des eaux WWW.BOISSONNEAULT.CA
1.8IiVi9.296.2682

Références bibliographiques

- **EAA., (2014):** Entretien Aménagement Aquatique <http://www.koi-bassin.net/Style/cycleazote02>.
- **Laurent., (2011):** Ecologie des cours d'eau : l'I.B.G.N ou lorsque, par l'hydrobiologie, les macro-invertébrés aquatiques vous aident pour la détermination de la qualité des cours d'eau. [Le blog de lapalettecouleurs.over-blog.com](http://leblogdelapalettecouleurs.over-blog.com).
- **Park Ch., (2007):** A Dictionary of Environment and Conservation : water pollution. Oxford University Press. Oxford Reference Online www.oxfordreference.com.edlis.ied.edu.hk/views/ENTRY.html?subview=Main&entry=t244.e8816

Annexe

Annexe

Annexe 1 : Matériel utilisés sur terrain.



La valise multiparamètre 3420



pH mètre Hanna (HI 8242)



Une Glacière

Annexe 2: Matériel utilisés au laboratoire.



Agitateur (Stuart).



L'étuve mommert



Spectrophotomètre (UV-1800).

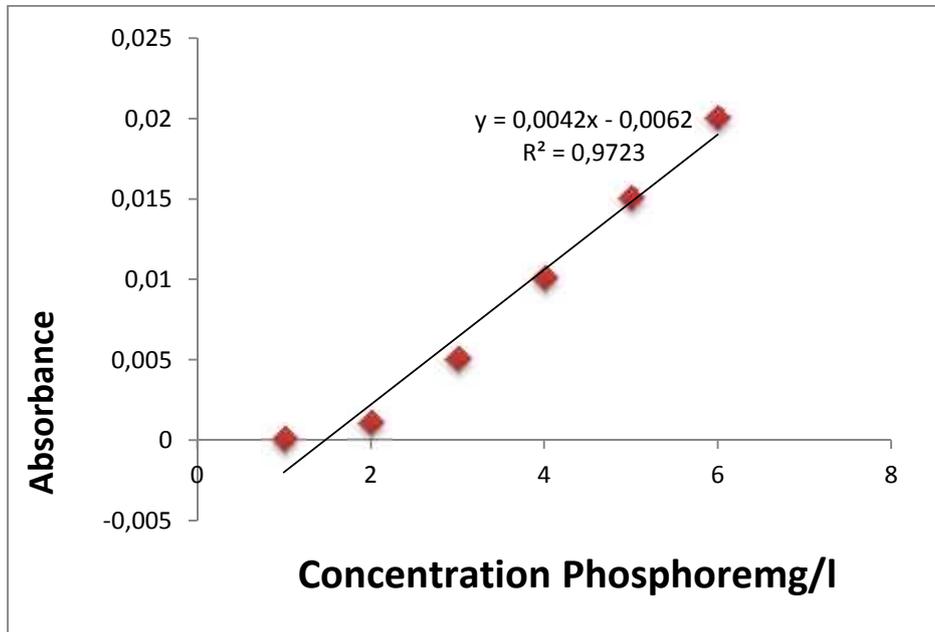


pH/ORP mètre Hanna (HI 2211)

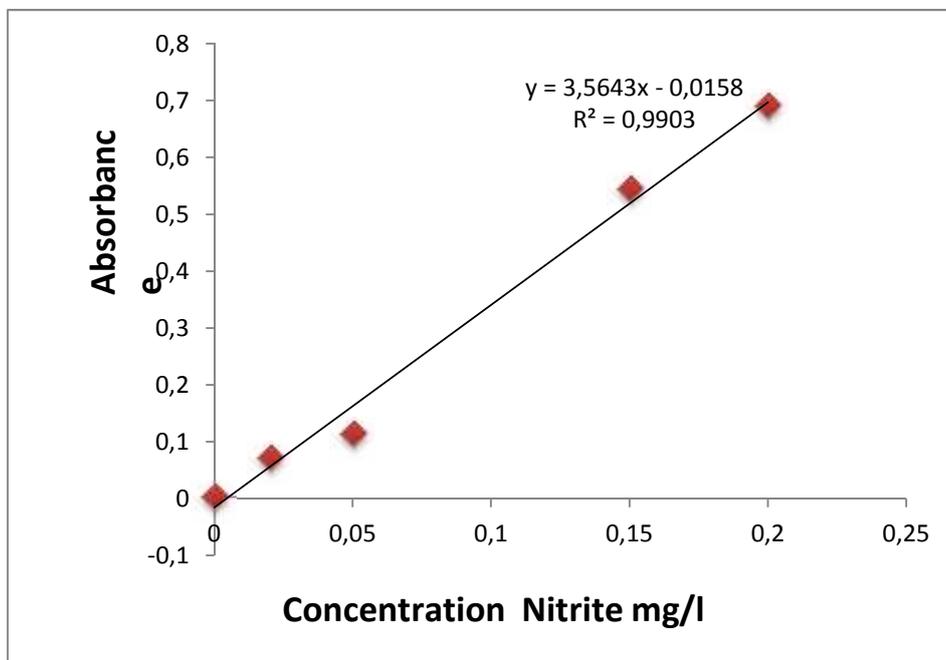


Balance de précision

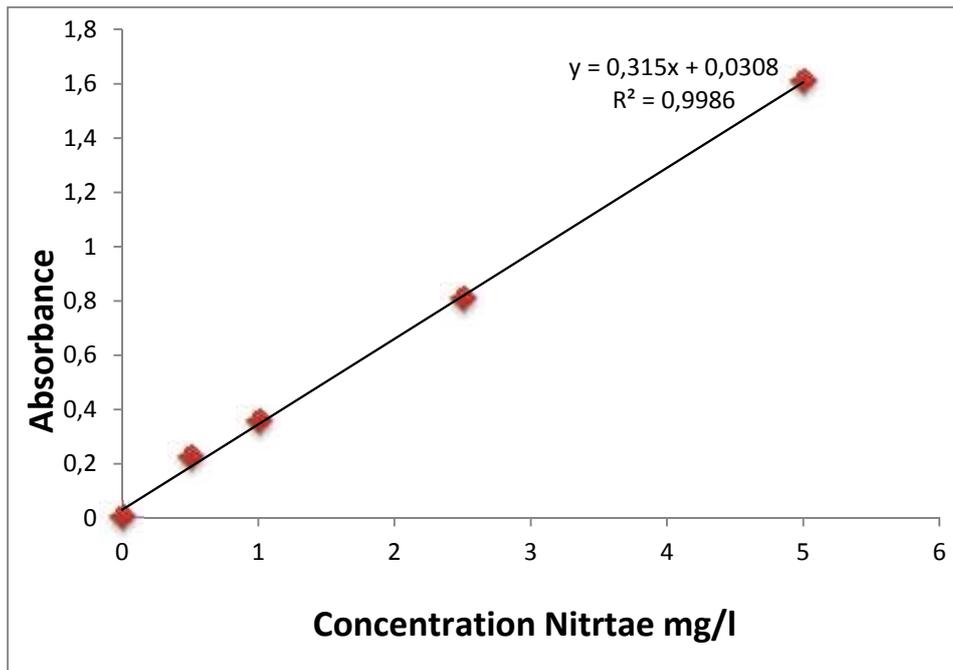
Annexe 3 : Courbes d'étalonnage.



Courbe d'étalonnage de phosphore(P).



Courbe d'étalonnage de nitrite (NO_2^-).



Courbe d'étalonnage de nitrate (NO_3^-).

Résumée

Resumé

Abstract

The main aim of the present study demonstrated, is the evaluation of water quality of wadiEndja and Rhumel, which are considered as the main wadis feeding the dam of BeniHaroun. It is based on the study of physical and chemical parameters to highlight the influence of nutrients, seven physicochemical parameters were analyzed.

This work has involved four water sampling points that are upstream and downstream of each river, taken five times: in November and December 2015 and in March, April and May 2016.

A series of measurement and analysis is carried out in situ and in the laboratory of the University Center of Mila, the results show, monthly temperature variations with warming from upstream to downstream, an alkaline pH, high electrical conductivity translating excessive mineralization, as well as an increase in dissolved oxygen values. From the viewpoint nutrients, high concentrations are recorded, with significant levels of up NO₃⁻ (70.34 mg / l), NO₂⁻ (3.08 mg / l) and phosphorus (3.58 mg / l).

At the end we conclude from this result that the water quality of the two wadis Endja and Rhumel is generally fair to poor.

Key words: Wadi Endja, wadi Rhumel, physicochemical parameters, nutrients.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم جودة مياه وادي النجاء و الرمال، والتي تعتبر من الأودية الرئيسية التي تغذي سد بني هارون. حيث يقوم على دراسة العوامل الفيزيائية و الكيميائية لتسليط الضوء على تأثير المواد المغذية و قد تم تحليل سبعة عوامل فيزيوكيائية.

شمل هذا العمل أربع نقاط لجمع عينات المياه والتي هي المنبع والمصب من كل نهر، اتخذت خمس مرات: في نوفمبر ديسمبر عام 2015 ومارس وابريل ومايو 2016.

تم تنفيذ سلسلة من القياس والتحليل في الموقع و في مختبر مركز جامعة ميله، فقد بينت النتائج ، تغيرات درجة الحرارة الشهرية مع ارتفاع درجات الحرارة من المنبع إلى المصب، درجة الحموضة القلوية، الموصلية الكهربائية عالية النتائج مترجمة تمعدن مفرط، وكذلك زيادة في قيم الأكسجين الذائب.مقارنة مع المواد الغذائية، سجلت تراكيز عالية، مع مستويات كبيرة تصل إلى(ملجم / لتر.70.34) NO₃- , (ملجم / لتر.3.08) NO₂- والفوسفور (3.58 ملجم / لتر)

و في النهاية نستنتج ان مياه الاودية الاثنين النجاء و الرمال ذات نوعية مقبولة الى سيئة.

المفتاحية : وادي النجاء، وادي الرمال، عوامل فيزيوكيميائية، المواد المغذية

<p>Présenté par Leknouhe Nabila Mesbah Kenza</p>	<p>Date de soutenance : 6 Juin 2016</p>
<p align="center">Titre : Analyse Physico-Chimique des eaux de deux Oueds (Rhumel Et Endja) alimentant le Barrage de Béni-Haroun</p>	
<p align="center">Diplôme de Master en Biologie Appliqué et Environnement Option : Gestion et Fonctionnement des Ecosystèmes Aquatiques et Forestiers</p>	
<p align="center">Résumé</p> <p>La visée principale de la présente étude a mis en évidence, l'évaluation de la qualité d'eau d'Oued Endja et le Rhumel, considérés comme des principaux oueds alimentant le barrage de Béni Haroun. Il est basé sur l'étude des paramètres physico-chimiques pour mettre en évidence l'influence des éléments nutritifs, sept paramètres physico-chimiques ont été analysés.</p> <p>Ce travail a concerné quatre points de prélèvement d'eau qui sont l'amont et l'aval de chaque oued, prélevées cinq fois : en novembre et décembre 2015 et en mars, avril et mai 2016.</p> <p>Une série de mesure et d'analyse est réalisée in situ et au laboratoire du Centre Universitaire de Mila, les résultats obtenus montrent, des températures mensuelles variantes avec un réchauffement de l'amont vers l'aval, un pH alcalin, une conductivité électrique élevée traduisant une minéralisation excessive, ainsi que une élévation des valeurs d'oxygène dissous. Du point de vue éléments nutritifs, des concentrations élevées sont enregistrées, avec des teneurs importantes en NO_3^- atteignant (70,34 mg/l), NO_2^- (3,08 mg/l) et en phosphore (3,58 mg/l).</p> <p>A la fin nous concluons d'après ce résultat que la qualité des eaux des deux oueds Endja et Rhumel est généralement passable à médiocre</p>	
<p>Les mots clés : Oued Endja, Oued Rhumel, paramètres physico-chimiques, les éléments nutritifs.</p>	
<p>Promoteur : Mlle KHRIEF N saliha.</p>	