



Université 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 : Ecologie et Environnement.

Spécialité : Protection Des Ecosystèmes.

THEME

**TRANSFERTS ET GEOCHIMIE DE L'AZOTE, DU
PHOSPHORE ET DU SILICIUM DES BASSINS DES OUEDS
EL KEBIR ET RHUMEL AU LITTORALE (N-E Algérie)**

❖ **Présenté par :**

- GHODBANE Abderraouf
- AZIEZ Abdelhak
- BEY Imane

❖ **Devant le jury composé de :**

- | | | | |
|----------------------------|-----------------------|---|-----------|
| ➤ Dr. BOUCHAREB Noureddine | Maitre de conférences | A | Promoteur |
| ➤ Dr. BOUZEGAG Abdelaziz | Maitre de conférences | A | Président |
| ➤ Dr. TABET Slimane | Maitre de conférences | B | Examineur |

Année Universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
○ قَالَ اللَّهُ تَعَالَى " وَجَعَلْنَا
مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا
يُؤْمِنُونَ "

(سورة
الأنبياء
الآية 30)

○ قَالَ اللَّهُ تَعَالَى " هُوَ
الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ
مَاءً لَكُمْ مِنْهُ شَرَابٌ وَمِنْهُ
شَجَرٌ فِيهِ تُسِيمُونَ "

(سورة النحل الآية 10)

○ قَالَ اللَّهُ تَعَالَى " وَأَنْزَلَ مِنَ
السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجَ بِهِ مِنَ
الثَّمَرَاتِ

رِزْقاً لَكُمْ "

(سورة البقرة الآية 22)

REMERCIEMENTS

Louange à Allah, le miséricordieux, sans lui rien de tout cela n'aurait pu être, je remercie le bon Dieu qui nous a orienté au chemin de savoir et les portes de la science.

*Nous remercions chaleureusement **le Docteur BOUCHARB Nouredine** Pour nous avoir encadré, guidé et prodigué tout l'aide nécessaire pour la réalisation de notre travail.*

Nous Remerciements vont aussi aux membres de jury de nous avoir fait honneur de bien vouloir participer au jury de ce mémoire et pour toute l'attention qu'ils vont prêté à l'évaluation de notre travail.

Nos sincères remerciements vont à tous nos enseignants et les responsables de laboratoire du laboratoire des Sciences Naturelles et Matériaux (LSNM) au centre universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila.

Et enfin, Nous tenons à remercier toute personne qui nous a aidé ou encouragé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.



DEDICACE

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux Tout d'abord je tiens à remercier le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie :

A mes très chers respectueux parents Vraiment aucune dédicace ne saurait exprimer mon attachement, mon amour et mon affection, je vous offre ce modeste travail en témoignage de tous les sacrifices et l'immense tendresse dont vous m'avez toujours su me combler Puisse dieu tout puissant vous garder et vous procurer santé et bonheur.

A ma famille en témoignage de mon profond respect. A mes amies et mes camarades En témoignage de ma sincère amitié, veuillez trouver dans ce travail, mon profond hommage. A tous ceux qui m'ont aidé dans l'élaboration de ce travail.

Abderraouf

DEDICACE

Au tout puissant Allah A toi la louange, la lumière des cieux ; de la terre et de ce Qu'ils renferment. Gloire à toi de nous avoir assisté de ta Lumière et en toute circonstance matin et soir.

Je tiens à dédier ce modeste travail à : A tous ceux qui j'aime, Surtout:

A mes très chers respectueux parents Vraiment aucune dédicace ne saurait exprimer mon attachement, mon amour et mon affection, je vous offre ce modeste travail en témoignage de tous les sacrifices et l'immense tendresse dont vous m'avez toujours su me combler Puisse dieu tout puissant vous garder et vous procurer santé et bonheur.

A mes très chers frères Zino et Alilo et Youcef, et ma belle sœur Yousra pour l'énorme soutien moral et leurs encouragements. À ma chère fiancée, merci beaucoup pour les moments difficiles et pour l'énorme soutien moral et leurs encouragements.

A tous mes amis surtout, Walid, Borhane, et Anter pour l'énorme soutien moral et leurs encouragements.

Ma famille Aziez et boudriaa A tous mes enseignants de SNV qui ont participé à ma formation.

Abdelhak

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents Rachid et Samira à qui je dois tant; pour tous leurs sacrifices et leurs soutiens moraux et matériel dont ils ont fait preuve pour que je réussisse; Que Dieu ait pitié de leur part

A mes très chères sœurs et mon frère;

Tous mes amis et collègues ;

Tous ceux qui me sont chers.

Imane

Résumé

Ce travail vise essentiellement à estimer le transfert de l'azote, du phosphore et du silicium dans les eaux du bassin Kebir-Rhumel au littoral récepteur et déterminer les effets du barrage sur les transformations géochimiques de ces éléments nutritifs durant la période (janvier, février et mars 2022) à partir de quatre stations (station aval barrage, station après El Milia, station embouchure et station dans la côte). A l'aval du barrage de Béni-Haroun les teneurs en nutriments (NH_4 , NO_3 , NO_2 , PO_4 , SiO_4) se réduisent sensiblement mais se rechargent de nouveau lors de leur transit vers la mer, depuis l'aval du barrage, par suite de l'apport anthropique. Les SiO_4 semblent naturellement faiblement chargées dans l'ensemble des stations ($85,83\mu\text{M}$). A l'échelle du bassin versant, les flux d'ammonium (NH_4) atteignent 35 t/j, NID n'excède pas 59 t/j, SiO_4 est de 259.10 t/j et les PO_4 est de 0.90 t/j. On considère que le bassin est fortement anthropisé à plusieurs titres : fortes teneurs en NH_4 et PO_4 , déséquilibre des rapports Si/N/P, faibles débits à l'embouchure, faibles apports en nutriments à la mer. Ces modifications multiples auront de sévères impacts sur fonctionnement et la productivité de l'ensemble du système continent-mer.

Mots-clés : bassin versant, barrage, nutriments, flux, littoral.

الملخص

يهدف هذا العمل بشكل أساسي إلى تقدير تدفق النيتروجين و الفسفور و السيليسيوم في مياه حوض كبير- رمال إلى الساحل المستقبل، وتحديد تأثير سد بني هارون على التحولات الجيوكيميائية للأملاح المغذية خلال الفترة الممتدة من (جانفي، فيفري ومارس 2022) وعلى مستوى 4 محطات (محطة مصب السد ، محطة بعد التجمع السكني للميلية ، عند المصب والمحطة الساحلية). ابتداء من مصب سد بني هارون، تنخفض مستويات الأملاح المغذية (SiO_4 ، PO_4 ، NO_2 ، NO_3 ، NH_4) بشكل كبير ولكن يتم إعادة شحنها مرة أخرى أثناء عبورها إلى البحر نتيجة النشاطات البشرية. كما يبدو السيليسيوم ضعيف طبيعيا في جميع المحطات (85.83 ميكرومول). على مقياس الحوض، تصل تدفقات الأمونيوم (NH_4) إلى 35 طنًا / يوم ، ولا يتجاوز 59 NID طنًا / يوم ، والسيليسيوم (SiO_4) 259.10 طنًا / يوم ، و الفسفور (PO_4) 0.90 طنًا / يوم. يمكن اعتبار الحوض غير متوازن من خلال عدة نواحٍ: مستويات عالية من الأمونيوم و الفسفور ، عدم توازن في نسب $\text{Si} / \text{N} / \text{P}$ ، تدفقات منخفضة على مستوى مصب الأنهار وانخفاض تدفق المغذيات إلى البحر حيث أن لهذه التغيرات المتعددة تأثيرات وخيمة على أداء وإنتاجية النظام القاري (البر والبحر) بأكمله.

الكلمات المفتاحية: مستجمعات المياه ، السدود ، الأملاح المغذية ، التدفق ، الساحل.

LISTE DES ABREVIATION

EAA : Eau et Assainissement pour l'Afrique

ABH : Agence des Bassins Hydrauliques

ABH-CSM : Agence des Bassins Hydrauliques Constantinois-Seybouse-Mellegue

ANRH : Agence National des Ressources Hydriques

ONA : Office National d'Assainissement

ADE : Agence de Distribution de l'Eau

ANB : Agence National des Barrages

ANBT : Agence Nationale des Barrages et Transferts

NH₄⁺ : ion ammonium noté également NH₄

NO₃⁻ : ion nitrate noté également NO₃

NO₂⁻ : ion nitrite noté également NO₂

Ca²⁺ : ion calcium noté également Ca

Mg²⁺ : ion magnésium noté également Mg

Na⁺ : ion sodium noté également Na

K⁺ : ion potassium noté également K

HCO₃⁻ : ion bicarbonates noté également HCO₃

SO₄²⁻ : ion sulfate noté également SO₄

Cl⁻ : ion chlorure noté également Cl

SO₄⁻² : ion sulfate noté également SO₄

Fe²⁺ : ion ferreux noté également Fe

PO₄³⁻ : ion Phosphate (PO₄)

NID : Azote inorganique dissous

NOD : Azote organique dissous

Si(OH)₄= SiO₄ : ion silicium

N : Azote

N₂ : azote atmosphérique

P : Phosphore

Si : Silicium

KR : Kebir-Rhumel

SA-BBH : Station aval barrage de Beni-Haroun (sortie du barrage)

S-E : Station Embouchure de Kebir-Rhumel (Exutoire ou débouché de la Rivière à la mer)

S-EM : Station El-Milia

S-C : Station de la cote

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

PCB : polychlorobiphényles

PH : Le potentiel d'hydrogène

CE : Conductivité électrique (micro-simens ou $\mu\text{S}/\text{cm}$)

Q : Débit : mètre cube par seconde ou $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ou m^3/s

MES : Matière en suspension (mg l^{-1} ou mg/l)

TDS : Substances dissoutes solides ou salinité des eaux douces (mg l^{-1} ou mg/l)

OD : L'oxygène dissout (mg l^{-1} ou mg/l)

T : Température ($^{\circ}\text{C}$)

mg : milligramme

g : gram

Kg : kilogramme

mg/l : Milligramme par litre

m/s : mètre par seconde

t/j : tonne par jour

μM : Micromole par litre ou $\mu\text{mole l}^{-1}$ ou $\mu\text{atg. l}^{-1}$

λ : Longueur d'onde en nanomètre (nm).

m : mètre

m^2 : mètre carrée

m^3 : mètre cube

hm : hectomètre

hm^3 : hectomètre cube

Km : kilomètre

Km^2 : kilomètre carrée

Ha : hectare

mm/an : millimètre par année

DCO : La demande chimique en oxygène

DBO_5 : La demande biochimique en oxygène

MTH : Les maladies à transmission hydrique

OMS : l'organisation mondiale de la santé

VHA : Le virus de l'hépatite A

CO₂ : dioxyde de carbone

Cd : cadmium

Zn : le zinc

Ni : le nickel

Pb : le plomb

CU : cuivre

Hg : le mercure

Ag : le plomb l'argent

Cr : le chrome

Fe ID : fer ferrique

NO_x : oxyde d'azote

NH₄, NH₃ : azote minéral

SO₂ : dioxyde de soufre

O₃ : l'ozone

HCl : L'acide chlorhydrique

H₂S : hydrogène sulfuré

E. coli : bactérie *Escherichia coli*

Gram (+) : bactéries à Gram positif

Gram (-) : bactérie à Gram négatif

DO : la densité optique

DNRA : réduction dissimulatrice du nitrate en ammonium

LISTE DES FIGURES

Figure 1: répartition des ressources en eau au niveau mondial	5
Figure 2: localisation des grands bassins hydrographiques de l'Algérie.	7
Figure 3: situation du bassin versant de Kébir-Rhumel	10
Figure 4: cycle de l'azote; les flèches noires représentent les processus déduction et les flèches grises, les processus d'oxydation	28
Figure 5: cycle du phosphore dans le sol et l'eau	30
Figure 6: cycle biogéochimique global du silicium	31
Figure 7: réseau hydrographique du bassin Kébir-Rhumel	41
Figure 8: profil en long de l'Oued Kébir-Rhumel	42
Figure 9: situation géographique de retenue du barrage de Béni-Haroun.	44
Figure 10: diversité faunistique de la région de Mila	46
Figure 11: différents types des forêts de la wilaya de Mila.....	47
Figure 12 : stations échantillonnées dans le bassin de Kebir-Rhumel.....	48
Figure 13: dosage de l'azote ammoniacal (NH_4)	50
Figure 14: dosage du nitrates (NO_3).....	52
Figure 15: dosage du nitrites (NO_2).....	53
Figure 16: dosage des phosphates (PO_4).....	54
Figure 17: dosage des silicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ ou SiO_4	55
Figure 18: variations des teneurs en nutriments des eaux du bassin d'Oued Kébir- Rhumel au littoral récepteur.....	62
Figure 19: apport atmosphérique en nutriments dans la zone urbaine de Tadjenanet Wilaya de Mila	65
Figure 20: apport atmosphérique en nutriments dans la zone rurale de Minar zaraza Wilaya de Mila	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: exemples des maladies liées à quelques éléments chimiques.	37
Tableau 2: positionnement (latitude, longitude) des stations étudiées.	48
Tableau 3: résumé des méthodes d'analyse des éléments chimiques et biochimiques. ..	49
Tableau 4: variation des paramètres physique des eaux du bassin d'Oued Kébir-Rhumel introduite au littoral récepteur.....	58
Tableau 5: variations des teneurs en nutriments (μM) dans les eaux du bassin d'Oued Kébir-Rhumel introduite au littoral récepteur.....	63
Tableau 6: variations des paramètres physique des eaux de pluie de la région urbaine de Tadjenanet wilaya de Mila.	64
Tableau 7: variations des paramètres physique des eaux de pluie de la région rurale de Minar zaraza wilaya de Mila.	64
Tableau 8: variations des teneurs en nutriments (μM) dans les eaux de pluies de la zone urbaine de Tadjenanet wilaya de Mila.	67
Tableau 9: variations des teneurs en nutriments (μM) dans les eaux de pluies dans la zone rurale de Minar zaraza wilaya de Mila.....	67
Tableau 10: flux de l'azote, du phosphore et du silicium (tonne/j) au littoral récepteur.	68

SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Généralités sur l'eau..... 5

1 Les ressources en eau..... 5

1.1 Eau de surface..... 5

1.2 Les eaux souterraines..... 6

1.3 Les eaux de pluie..... 6

2 Les ressources en eaux en Algérie (souterrain et superficiel) 6

2.1 Les eaux superficielle..... 7

2.2 Les eaux souterraines..... 8

3 Le bassin versant Kebir-Rhumel..... 8

3.1 Les barrages en Algérie..... 8

II. La pollution 10

1 Définition de la pollution 10

2 Les différents types de pollution 10

2.1 Pollution de l'eau 10

2.1.1 Sources de la pollution de l'eau..... 11

2.2 Pollution des sols..... 12

2.2.1 Source de la pollution des sols 12

2.3 Pollution atmosphérique..... 14

2.3.1 Les sources de la pollution atmosphérique 14

2.3.2 Conséquences de la pollution atmosphérique..... 18

2.3.3 Impacts des polluants atmosphériques sur les écosystèmes (sols, végétaux et l'eau) 18

3 Classification des pollutions 20

3.1 Pollutions physiques..... 20

3.1.1 Pollution thermique..... 20

3.1.2	Polluants radioactifs.....	20
3.1.3	Les matières en suspension.....	21
3.2	Pollutions chimiques.....	21
3.2.1	Pollution organique	21
3.2.2	Pollution minérale.....	22
3.3	Pollutions biologiques	23
3.3.1	Pollution microbiologique.....	23
3.3.2	Les matières organiques.....	24
III.	Paramètres d'évaluation de la qualité d'eau.....	24
1	Paramètres physico-chimiques.....	24
1.1	Température (T °C)	24
1.2	Potentiel d'hydrogène (pH).....	24
1.3	Conductivité électrique (CE).....	25
1.4	L'oxygène dissous (OD).....	25
1.5	Chlorure (Cl ⁻).....	25
1.6	Sulfate (SO ₄ ⁻²).....	25
1.7	Matières en suspension (MES).....	26
1.8	Le potentiel redox (PR).....	26
2	Paramètres globaux relatifs à la pollution.....	27
2.1	La demande chimique en oxygène (DCO)	27
2.2	La demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	27
2.3	La biodégradabilité	27
3	Les différentes formes d'azote.....	27
3.1	L'azote ammoniacal (NH ₄).....	28
3.2	Les nitrates et nitrites (NO ₃ ⁻ + NO ₂).....	29
4	Le phosphore (PO ₄).....	29
5	Le Silicium (Si(OH) ₄)	30
6	Paramètres organoleptiques	31
6.1	La couleur	31
6.2	L'odeur et la saveur	32
7	Paramètres bactériologiques	32
7.1	La croissance bactérienne.....	32
7.2	Métabolisme des bactéries	33
7.3	Quelques germes indicateurs de pollution fécale	33
IV.	Maladies à transmission hydrique (MTH)	34

1	Les maladies hydriques d'origine bactérienne	34
2	Les maladies hydriques d'origine virale.....	35
3	Les maladies hydriques d'origine protozoaire	36
4	Les maladies hydriques liées aux éléments chimiques	36

Chapitre 02 : Matériel et méthodes

I.	Localisation et présentation de la zone d'étude	39
1	Présentation du bassin versant du Kébir-Rhumel	39
1.1	Situation géographique.....	39
1.2	Situation hydrographique.....	40
2	Principaux oueds du bassin Kebir-Rhumel	41
2.1	Oued Rhumel.....	41
2.2	Oued-El-Kebir	42
2.3	Oued Endja	42
2.4	Oued Redjas	43
2.5	Oued El-Kotone	43
2.6	Oued Boumerzoug.....	43
3	Barrage de Béni-Haroun.....	43
3.1	Situation et hydrologie du barrage	43
4	Climatologie.....	44
4.1	Pluviométrie	45
4.2	Vent.....	45
5	Cadre Biotique.....	45
5.1	La faune	45
5.2	La flore	46
6	Prélèvement et Méthodes d'analyse chimiques	47
6.1	Prélèvement hydrologique	47
6.2	Méthode d'analyse physico-chimique.....	48
6.2.1	Dosage de l'azote ammoniacal ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$).....	49
6.2.2	Dosage du Nitrates (NO_3)	51
6.2.3	Dosage du Nitrites (NO_2)	52
6.2.4	Dosage des phosphates (PO_4^{3-})	53
6.2.5	Dosage des silicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ ou SiO_4	54

Chapitre III : Résultats et Discussion

1	Paramètres physique des eaux d'Oued Kebir-Rhumel introduite au littoral récepteur.	57
---	--	----

1.1	Potentiel d'hydrogène (pH).....	57
1.2	La Conductivité électrique (CE).....	57
1.3	Taux des sels dissouts (TDS)	57
1.4	L'oxygène dissout (OD)	58
1.5	Débit.....	58
2	Distribution de l'azote, du phosphore et du silicium en aval de Barrage Béni-Haroun et à l'embouchure.	59
2.1	L'azote inorganique dissous ($\text{NH}_4+\text{NO}_3+\text{NO}_2$).....	59
2.2	Silicium (SiO_4)	60
2.3	Phosphate (PO_4).....	60
2.4	L'azote inorganique (NID)	61
3	Paramètres physique des eaux de pluies de la Zone urbaine de Tadjenanet et la zone rurale de Minar Zaraza.	63
4	Les nutriments	64
5	Flux de l'azote, du phosphore et du silicium au littoral récepteur	67

Conclusion

Références bibliographiques

Introduction

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus importantes de notre planète, il est essentiel que le corps humain exerce des diverses fonctions physiologiques non seulement cela, mais sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur terre n'aurait jamais existé donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures ([Henri, 2012](#)).

Les changements climatiques de ces dernières décennies ont engendré un stress hydrique qui s'est répercuté négativement sur la végétation mais sur le niveau des barrages et les retenues collinaires. A cette situation, s'ajoute la qualité de l'eau qui se trouve bien dégradée suite aux multiples facteurs de pollution aussi bien domestiques qu'industrielle ([Ammimer, 2015](#)).

Les déchets liquides et solides issus des activités domestiques constituent une grande source de pollution des eaux de surface. En Afrique, à peine 3% des ménages évacuent correctement leurs eaux usées domestiques. Les eaux usées sont directement déversées dans les rues, dans les cours et dans les caniveaux ; ce qui provoque la stagnation des flaques d'eau de douches ou d'eau de ménages entre habitations ([EAA, 2012](#)).

La pollution agricole est due surtout à l'utilisation intensive et abusive des engrais (chimiques et organiques) et pesticides. La mise en évidence de la pollution causée par les pesticides (herbicides, insecticides et fongicides) est récente ([Carluer et al., 1996](#)). Les industries exercent des activités susceptibles d'engendrer une dégradation de la qualité des écosystèmes. Cette pollution industrielle est générée par les effluents industriels et les divers produits toxiques utilisés. Les effluents, avec ou sans traitement sont déversés dans la mer, dans les rivières ou sur les sols ([Bawa et al., 2005](#)). Ces effluents polluent l'eau de surface par le transfert des polluants, tels que les métaux lourds et les colorants ([Voegborio et al., 2011](#)).

La pollution des eaux peut être minérale ou microbiologique. Les eaux de surface sont très polluées contrairement aux eaux souterraines qui sont bien protégées. Les eaux polluées doivent subir différents traitements d'ordre physique, chimique et biologique selon le degré et la nature de la pollution afin de les rendre potables, Les milieux aquatiques font partie des écosystèmes les plus étudiés du fait de leurs intérêts écologiques et économiques. L'eau est en effet essentielle pour la survie de l'homme et de la faune, et indispensable pour le bon fonctionnement de nombreux secteurs de

l'économie. Cependant, et à cause de l'amplification des activités humaines et l'urbanisation, certaines rivières sont soumises à de réelles agressions nuisibles principalement dans la partie aval de leur cours d'eau ([Gaujous, 1995](#)).

Le barrage de Béni-Haroun est un grand complexe hydraulique stratégique en Algérie, Classé le deuxième grand barrage d'Afrique après Al Sad El Alli d'Egypte ; C'est l'un des 85 barrages en exploitation que compte actuellement notre pays. Avec une capacité de 960 millions de mètres cubes et une hauteur de 120 m, Les eaux du barrage de Béni-Haroun sont destinées à l'alimentation en eau potable de quatre millions d'habitants, répartis sur les wilayas de Constantine, Mila, Jijel, Batna, Oum El Bouaghi et Khenchela. En plus il fournit également une quantité importante d'eau pour l'irrigation ([Barkat, 2016](#)). Ce barrage mobilise les eaux de Oued Rhumel qui reçoit les rejets traités de la ville de Constantine et de Oued Endja où se déversent un grand nombre de rejets sans aucun traitement préalable ([Merabet, 2010](#)).

L'eau destinée à l'alimentation humaine doit présenter un certain nombre de critères aussi bien sur le plan organoleptique (couleur, turbidité, odeur, saveur ...etc), physicochimique (Température, pH, chlorures...etc) et microbiologique (présence d'organismes pathogènes) car, elle constitue un réservoir important pour la survie et la dissémination de microorganisme (bactéries, virus, protozoaires et parasites), ce qui la rend impropre à la consommation humaine. Ces microorganismes véhiculés directement ou indirectement sont pathogènes pour l'homme. Ils sont à l'origine de nombreuses maladies infectieuses (Choléra, hépatite A...ect) dites maladies à transmission hydrique ([Mansour et Djabalah, 2016](#)).

Cette étude vise donc à étudier le transfert et géochimie de l'azote, du phosphore et du silicium au littoral et se focalise sur les effets des activités anthropogéniques.

Après une introduction qui pose le problème, le manuscrit est en conséquence structuré en trois chapitres essentiels. Le premier chapitre est strictement documentaire qui définit et donne des généralités sur les eaux et les grands points sur la pollution et les caractères géochimiques de l'ensemble des éléments étudiés. Le deuxième présente les caractéristiques géographiques de bassin Kebir-Rhumel et montre la méthode de travail, également le troisième chapitre présente l'essentiel des résultats obtenus. Enfin, ce travail s'achève par une conclusion.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

I. Généralités sur l'eau

1 Les ressources en eau

La masse d'eau totale de l'hydrosphère ne varie pas au cours des années. L'eau change d'état au cours de son cycle mais sa quantité globale reste inchangée depuis 3 milliards d'années, date de son apparition sur Terre. C'est l'énergie solaire qui est le moteur du cycle de l'eau en entraînant ses changements d'état (Maurel, 2006). La quantité d'eau sur Terre est élevée : environ 1,4 milliards de km³, d'après les estimations de Shiklomanov et Rodda (2003). Cependant, 97,5 % de cette quantité se trouve sous forme d'eau salée et 2,5 % sous forme d'eau douce, soit environ 35 millions de km³. 69,5 % de l'eau douce se présente sous forme de glace et de neige permanente, 30,1 % sous forme d'eau souterraine, 0,27 % sous forme d'eau dans les lacs et rivières, 0,13 % sous une autre forme (atmosphère, humidité dans le sol, marais, etc.) (Fig. 01).

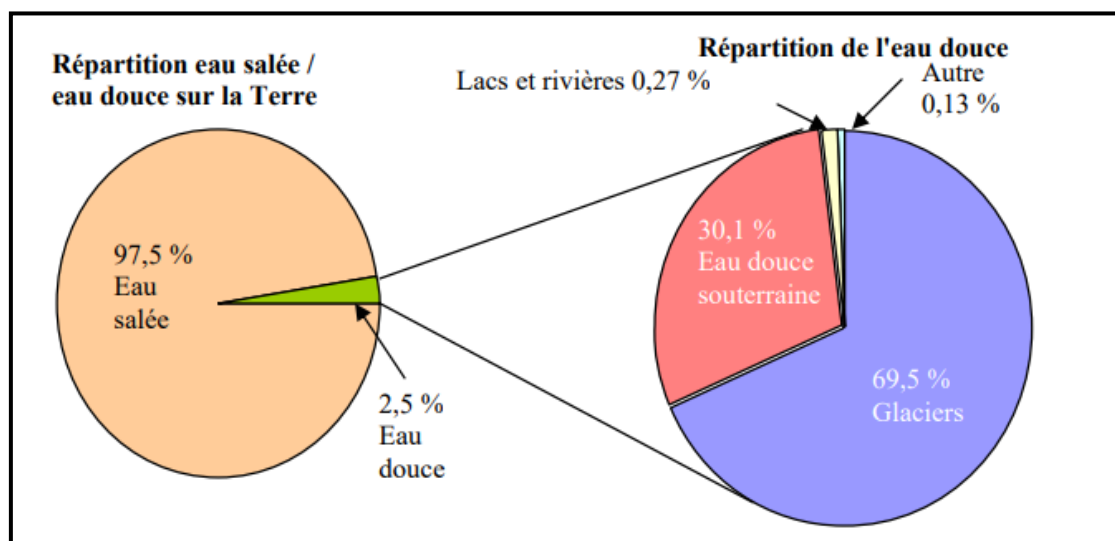


Figure 1: répartition des ressources en eau au niveau mondial (Shikomannv et Rodda, 2003).

1.1 Eau de surface

Les principales sources d'eau potable sont les eaux de surface. Ces eaux s'avèrent souvent impropres à la consommation en raison de la pollution générée par nos activités urbaines, industrielles et agricoles. En effet, la qualité des eaux de surface varie selon les régions et les périodes de l'année. La nature et l'intensité des activités ne permettent pas toujours au cours d'eau de diluer ou de neutraliser la pollution à un niveau acceptable, si

bien que l'eau ne peut pas être utilisée pour la consommation. L'emplacement des prises d'eau par rapport aux sources de pollution est aussi déterminant pour la qualité de l'eau.

Il convient ainsi de situer la prise d'eau en amont d'une source importante de pollution et de protéger cette prise d'eau en interdisant l'émission de contaminants aux alentours dans une zone d'une étendue respectable (Kudri et Belalia, 2006).

1.2 Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont souvent plus stable et de meilleure qualité que les eaux de surface. Ce sont des eaux plus minéralisées, L'eau de pluie agressive qui arrive sur le sol dissout les substances solubles des roches et acquiert de nouvelles caractéristiques physiques et chimiques. Cette minéralisation dépend de la nature des roches traversées, de la solubilité des sels minéraux, du temps de contact de l'eau avec les minéraux, de l'alimentation plus ou moins importante des aquifères. (Viland et al., 2001).

Les eaux souterraines sont pratiquement mobilisées, et capté par des forages et des puits, certaines nappes sont mêmes en surexploitation (Sadoune et al., 2013).

1.3 Les eaux de pluie

Théoriquement, les eaux de pluie ou de précipitation sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine en ajoutant bien sûr à ces eaux les éléments nécessaires pour qu'elles deviennent potables tels que les sels minérales. Il devait s'agir d'eau distillée, mais en réalité et surtout dans les régions industrialisées, ces eaux peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de leurs captage freinent l'utilisation de cette source (Alain, 2006).

2 Les ressources en eaux en Algérie (souterrain et superficiel)

Les ressources hydriques disponibles et mobilisables en Algérie sont réparties à travers cinq grands bassins hydrographiques, regroupant les 17 bassins versants. Cette répartition s'inscrit dans la politique de gestion de l'eau (ABH, 1999).

Le découpage de l'Algérie du Nord en quatre régions repose sur les critères suivants :

- Les caractéristiques géographiques et naturelles des régions ;
- Le groupement des bassins versants et sous bassins hydrographiques, entre

Les quels existent des nécessités de transfert (Fig. 2).

❖ **Les bassins du nord**

- ✓ Oranie Chott-Chergui ;
- ✓ Chelif-Zahrez ;
- ✓ Algerois - Hodna – Soummam ;
- ✓ Constantinois et Seybouse Mellegue.

❖ **Le bassin du sud : Sahara.**



Figure 2: localisation des grands bassins hydrographiques de l'Algérie (ABH, 1999).

2.1 Les eaux superficielle

L'Algérie est un pays semi-aride, voire même Aride (200 à 400 mm), dont les ressources en eau sont faibles, irrégulières et localisées dans la bande côtière. L'apport total des précipitations serait à l'ordre de 100 milliards de m³ d'eau par an dont 12.4 milliards de m³ en écoulements superficiels et seuls 6 milliards de m³ sont mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (Hydrologie, topographie et géologie). Le volume d'eau terrestre sous forme solide, liquide et gazeuse est estimé à 1, 384, 120,000 km³ dont seul 0.26% sont de l'eau douce directement exploitable. On estime qu'il y a théoriquement, l'eau douce suffisamment pour alimenter quelques 20 milliards d'habitants mondiale (Khettab, 2001).

2.2 Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont évaluées à 1.8 milliards de m³ dans le Nord de l'Algérie. Les potentialités du Sud sont estimées à 60000 milliards de m³. Ces dernières sont difficilement exploitables et renouvelables. ([Khettab, 2001](#)).

3 Le bassin versant Kebir-Rhumel

Le bassin de la rivière Kebir-Rhumel ayant une superficie d'environ 8 110 km² ([ABH, 1999](#)), s'étend sur des marges septentrionales des hauts plateaux constantinois au Sud, la mer méditerranée au Nord, le bassin de la Seybouse à l'Est et le bassin de la Soummam à l'Ouest. Le bassin de Kebir-Rhumel résulte de la jonction de deux cours d'eaux (Rhumel et Kebir), drainant respectivement une superficie de 5 315 km² et de 2 160 km² et dont la confluence donne naissance à Kebir-Rhumel ([Bouchareb, 2013](#)).

Dans ce bassin, la végétation est influencée par de nombreux facteurs tels que le climat, le relief, la lithologie et l'activité humaine. Ces facteurs permettent en permanence un couvert forestier plus ou moins dense. Le climat varie légèrement du nord au sud, passant d'un domaine subhumide à un domaine semi-aride, mais d'une manière générale c'est le climat méditerranéen qui y règne : humide et tempéré, caractérise par un hiver doux et un été chaud, avec d'assez riches ressources hydriques d'origine déferentes (pluie, grêle neige). Généralement la neige fait son apparition sur les massifs de hautes altitudes. Les précipitations constituent le facteur essentiel qui gouverne l'écoulement des cours d'eau. En effet, ils ont un effet direct sur le débit. La précipitation moyenne interannuelle sur le bassin versant Kebir-Rhumel est estimée entre 500 à 630 mm. ([Bouchareb, 2013](#)).

Les eaux du Rhumel recèlent un mélange d'apports pluviométriques, domestiques, industriels et agricoles. Plus de 2 500 000 habitants selon l'estimation de 2002, dont l'agglomération de Constantine représente 40% de la population ([ABH, 2002](#)).

3.1 Les barrages en Algérie

A l'Indépendance (1962), le pays hérite de 17 barrages construits par la colonisation, dotés d'une capacité de stockage modeste (864 hm³ au total). Du fait de l'envasement rapide, ces retenues ont beaucoup perdu de leur capacité initiale à raison de 2 à 3 % par an en moyenne ([Remini, 2002](#)). La construction de barrages a été

relancée au début des années 1980 pour faire face aux tensions aiguës sur l'eau entre la ville, l'industrie et l'agriculture. Après les interruptions de chantiers de barrages le long des années 1990, l'Agence Nationale des Barrages et Transferts ([ANBT, 2014](#)) a soutenu l'effort de réalisation pour ramener la capacité de stockage à $5,8 \text{ km}^3$ et le volume régularisé annuel à environ 3 km^3 . Avec la mise en eau et le parachèvement en cours de 13 barrages, la capacité installée est en voie de totaliser $6,6 \text{ km}^3$ permettant d'assurer un volume régularisé annuel de l'ordre de 4 km^3 . Au titre du Plan quinquennal (2010-2014), 19 nouveaux barrages sont en voie de lancement. Le volume régularisé global est de 5 km^3 par an pour une capacité installée de l'ordre de 10 km^3 . Il s'agit d'un seuil maximum de mobilisation, compte tenu des contraintes technico-économiques liées aux sites de barrages. 11,1 milliards de m^3 (90,2 %) de l'écoulement total, celles des hautes plaines ne sont estimées qu'à 0,7 milliards de m^3 (5,7 %) et enfin les bassins sahariens entrent pour 0,5 milliards de m^3 (4,1 %). Ces eaux superficielles sont deux fois plus importantes à l'Est qu'à l'Ouest où se trouvent les terres les plus fertiles. L'écoulement est concentré dans la petite frange Nord du par faisant de l'arrière-pays une zone où l'écoulement est presque inexistant ([Debbih et Naili, 2015](#)).

Le bassin de Kébir-Rhumel comporte trois barrages : Barrage de Béni Haroun, Hammam Grouz et Berla ([Benchabane, 2015](#)).

Dans ce bassin, le barrage de Béni-Haroun a été construit en 2003 pour intercepter le ruissellement à partir des deux principales branches Rhumel et Kebir. Le barrage a été seulement exploité à partir de 2005, principalement pour la consommation de la population et l'irrigation. Le barrage de Béni-Haroun s'impose comme le plus grand d'Algérie par rapport à sa profondeur (118 m) ayant une capacité de 960 millions de m^3 ([Fig. 9](#)). Ce grand ouvrage comporte une station de pompage d'une puissance totale de 180 mégawatts, située à 50 km au Nord-Ouest de Constantine et à 100 km de Jijel. Cette station permet de refouler selon une estimation de l'ANB, un débit global de $22,5 \text{ m}^3/\text{s}$ jusqu'à un bassin d'expansion situé à une hauteur de 880 m transférant l'eau jusqu'au barrage d'Oued Athmenia. A partir du barrage (réservoir) d'Oued Athmenia, dont le volume avoisine 20 millions m^3 , seront directement alimentées les villes de Constantine, d'El Khroub, d'Aïn Smara, de Chelghoum Laïd, d'Oued Athmenia, d'Oued Seguin et de Téléghma ([Bouchareb, 2013](#)).

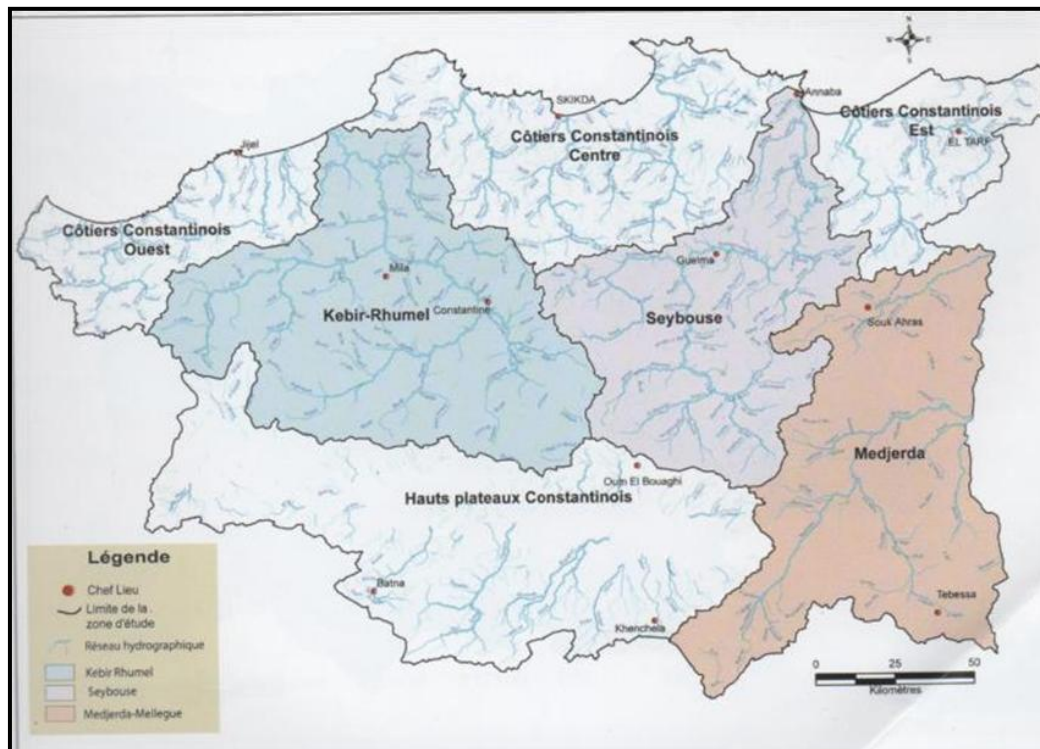


Figure 3: situation du bassin versant de Kébir-Rhumel (ANRH, 1993)

II. La pollution

1 Définition de la pollution

D'après Ramade (1989); Stengel et Gelin (1998), la pollution est une modification défavorable du milieu naturel. (Mazoyer, 2002) en modifie les composantes physiques, chimiques ou biologiques. (Ramade, 1989; Stengel et Gelin, 1998) qui apparait en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers des ressources agricoles en eau et autres produits biologiques.

2 Les différents types de pollution

2.1 Pollution de l'eau

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux souterraines et les eaux superficielles. La pollution de l'eau est provoquée par quatre grandes sources de pollution: domestique, urbaine, agricole, industrielle et naturelle dont l'eau est le véhicule de transport et de dissémination idéal (Castany, 1982).

2.1.1 Sources de la pollution de l'eau

La pollution de l'eau souterraine est provoquée par quatre grandes sources de pollution: domestique, urbaine, agricole, industrielle et naturelle, dont l'eau est le véhicule de transport et de dissémination idéal (Castany, 1982).

2.1.1.1 D'origine domestique et urbaine

Ce sont les rejets d'eaux usées domestiques et municipales (lavage des rues, arrosages). Les eaux utilisées pour la climatisation des immeubles et les dépôts d'ordures ménagères apportent également leur lot de charge polluante (Castany, 1982).

Selon Gaujous (1995), la pollution domestique se caractérise par des germes fécaux. De fortes teneurs en matières organiques, des sels minéraux (azote, phosphore) et des détergents.

2.1.1.2 D'origine agricole

La pollution agricole est causée principalement par l'utilisation irrationnelle d'engrais chimiques et de pesticides. Mais surtout les pratiques de cultures modernes qui en sont la cause (Castany, 1982). La pollution agricole se caractérise par la présence de fortes teneurs en sels minéraux (azote, phosphore, potassium) provenant des engrais, des purins et des lisiers (élevage) et de produits chimiques (pesticides, herbicides...) (Gaujous, 1995).

2.1.1.3 D'origine industrielle

Provenant des usines, elle est caractérisée par une grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau. Tous les produits ou sous-produits de l'activité humaine se retrouvent ainsi dans cette dernière, citons :

- les matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires, équarrissages...) ;
 - les hydrocarbures (raffineries) ;
 - les métaux (traitement de surface, métallurgie) ;
 - les acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...) ;
 - l'eau chaude (circuits de refroidissement des centrales thermiques) ;
 - les matières radioactives (centrales nucléaires. traitement des déchets radioactifs).
- (Gaujous, 1995).

2.1.1.4 D'origine naturelle

Divers phénomènes naturels sont à l'origine de pollution par exemple : une éruption volcanique un épanchement sous marin d'hydrocarbures, le contact avec les filons géologiques (métaux, arsenic. une source thermo minérale) ([Gaujous, 1995](#)).

2.2 Pollution des sols

Le sol est une ressource essentielle pour les sociétés humaines et les écosystèmes. Etant soumis à des pressions de plus en plus importantes (productions agricoles et forestières, développements urbains et industriels, réseaux de transport, activités de loisirs...) et n'étant pas une ressource renouvelable à l'échelle de temps humaine, il est nécessaire pour assurer la protection afin de permettre un développement durable des sociétés ([Citeau, 2008](#)).

La qualité d'un sol, ([Eijsackers, 1983](#)) peut être définie comme le système des caractéristiques abiotiques et biotiques qui assurent le fonctionnement de l'écosystème du sol. Ces caractéristiques doivent par conséquent, posséder un certain minimum au dessus du quel la qualité d'un sol variera en fonction de la phase de succession et du type d'écosystème du sol. Un sol est considéré pollué lorsque la dégradation de sa qualité par l'apport anthropique d'élément toxique peut porter atteinte à la santé humaine et à l'environnement. La présence d'un polluant dans le sol n'est pas en soit un danger. Le risque apparaît dès que ce polluant peut être mobilisé et agit sur l'environnement (faune, flore) ou sur l'homme ([Dubey et Dwividi, 1988](#)).

2.2.1 Source de la pollution des sols

La pollution des sols liés à l'activité agricole proviennent essentiellement de l'existence dans les produits utilisés pour fertiliser ou traiter les cultures et de différents composés toxiques. Ces derniers sont souvent présents en très petites quantité mais leur accumulation lente peut entraîner la contamination de certains sols cultivés, ces substances sont en effet très peu mobiles dans le sol et sont peu absorbées par les plantes ([Mazoyer, 2002](#)). Ces produits toxiques parviennent-ils aux sols par différentes voies :

a) Par le fond pédo-géochimique naturel

Le fond pédo-géochimique moyen de cuivre (Cu) s'élève à 15-30 mg kg⁻¹ (Baker et Senft, 1995). Des émissions naturelles de Cu dans l'atmosphère provenant de poussières et d'aérosols produits par l'érosion éolienne, les éruptions volcaniques, les sels marins et les feux de forêts peuvent parvenir aux sols et modifier leurs teneurs en Cu (Bourrelier, 1998 ; Cetois et al., 2003). Certaines activités anthropiques sont à l'origine d'un enrichissement des sols en éléments en traces métalliques comme le cadmium (Cd), le zinc (Zn), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et Cu. Parmi les sources industrielles et urbaines de contamination des sols en Cu, l'activité minière et le traitement des minerais, l'utilisation d'installations électriques (câblages) en Cu ainsi que la production et l'incinération de déchets municipaux provoquent une pollution localisée des sols (Tiller et al., 1981).

b) Avec les apports de phosphates

Les techniques de travail du sol influencent en premier lieu le mode de distribution dans le sol du phosphore apporté par l'engrais, les matières organiques exogènes et les résidus des cultures. Quelles que soient les techniques mises en œuvre, elles sont sans effet notable sur les teneurs en phosphore, en général très faibles, des couches de sols situées au dessous de la plus grande profondeur de travail. A ce niveau, en raison de la capacité qu'ont les racines à absorber du phosphore dans la solution du sol jusqu'à des concentrations de quelques mg/L (Barber, 1995), les teneurs du sol en phosphore demeurent généralement très faibles avec pour corollaire l'existence d'un fort pouvoir fixateur pour cet élément. Dans l'horizon de surface, les opérations culturales qui réalisent un retournement ou un malaxage du sol tendent à homogénéiser le phosphore dans le volume travaillé. Par contre celles qui n'engendrent pas de mélange des couches travaillées, conduisent à l'instauration d'un gradient de teneurs décroissantes avec la profondeur (Sharpley, 2003), très fortement marqué dans le cas du semis direct. La création de ce gradient s'accompagne d'un enrichissement de la couche de surface qui interagit avec l'eau qui ruisselle. Ce phénomène est d'autant plus fort que les apports de phosphore sont abondants.

c) A la suite de l'utilisation de pesticides (minéraux et organiques)

Les sources de contamination diffuse comme les matières fertilisantes et les produits de traitements des cultures, les engrais issus de gisements minéraux et les

amendements organiques apportent des quantités significatives d'éléments traces. De nombreux traitements pesticides contribuent à la contamination des sols. Des études récentes indiquent que les pesticides organiques actuellement utilisés peuvent perturber l'activité microbienne dans le sol pendant quelques semaines. (Stengel et Gelin, 1998).

d) Au sein de sites pollués

Les sites pollués sont des sites dont le sol ou le sous-sol ou les eaux d'irrigations ont été pollués localement par d'anciens dépôts de déchets ou par l'infiltration de substances polluantes. Les sols comportent naturellement des éléments-traces métalliques, héritage de la roche mère et des retombées atmosphériques d'origine naturelles. (Stengel et Gelin, 1998).

2.3 Pollution atmosphérique

La pollution de l'air est le transfert de quantités nocives de matériaux naturels et synthétiques dans l'atmosphère (Machenzi, 2000), comme l'introduction par l'homme soit directement ou indirectement dans l'atmosphère et les espaces clos des substances ayant des conséquences nuisibles sur la nature, la santé humaine, les ressources biologiques et les écosystèmes et également influencé sur les changements climatiques.

2.3.1 Les sources de la pollution atmosphérique

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution et de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur la santé et les écosystèmes (Lacour, 2001). La pollution atmosphérique peut prendre de nombreuses formes, les plus graves sont dues à l'activité humaine. Les polluants peuvent être d'origine naturelle mais la plus part ont une origine anthropique.

➤ Les sources naturelles

Il y a beaucoup de sources naturelles de pollution qui sont souvent beaucoup plus grandes que leurs équivalents synthétiques, à savoir :

- Les feux de forêts, de cultures ou des prairies contribuent à des émissions importantes de noyaux de condensation, d'imbrûlés et de gaz ;
- Les volcans émettent des gaz comme le dioxyde de soufre, de l'hydrogène sulfureux et des particules de cendres en grande quantité ;
- Les embruns marins sont constitués par des aérosols (des cristaux de sels) ;
- Les végétaux sont à leur tour à l'origine d'une pollution par les pollens, les spores et les champignons ;
- L'ozone formé naturellement à haute altitude à partir de réaction photochimique impliquant l'oxygène de l'air ([Mohammed, 2009](#)).

➤ Les sources anthropiques

Les sources anthropiques peuvent être classées en fonction de plusieurs critères, selon qu'elles sont fixes ou mobiles. Les sources fixes sont les installations de combustion individuelles, collectives ou industrielles, les installations de combustion des déchets et les installations industrielles et artisanales : métallurgie, sidérurgie, pétrochimie et cimenterie. Les sources mobiles sont les transports maritimes, aériens mais surtout terrestres (les véhicules à moteur à allumage commandé ou diesel) ([Droy et al., 2000](#)).

Tous les secteurs d'activité humaine sont susceptibles d'émettre des polluants atmosphériques. On peut les classées en plusieurs catégories d'importance variable selon les agglomérations :

1. les industries

La plus part des branches industrielles sont génératrices de particule dans l'air. Les concentrations les plus élevées en particules dans l'air se rencontrent aux voisinages des installations industrielles. Comme par exemple l'industrie responsable des émissions des particules dans l'atmosphère, on peut citer :

1.1. L'industrie thermo énergétique :

Elle est basée essentiellement sur la combustion. Celle ci introduit dans l'atmosphère de nombreuses variétés minérales, des métaux et des particules carbonées ainsi que des gaz qui se transforment dans l'atmosphère en particules, tels que les NO_x

et le SO₂. Les combustions incomplètes, assez fréquentes dans les petites installations de production d'énergie et des appareils de chauffage des habitations, sont à l'origine de l'émission d'importantes quantités de particules et d'impuretés de combustible. La combustion est classée en premier rang parmi les sources artificielles des particules dans l'atmosphère ([Miquel, 2001](#)).

1.2. L'industrie sidérurgique

Dans ce type d'industrie à cause des impuretés du minerai et de charbon et en raison des opérations technologiques qui ne peuvent être exécutées de façon hermétique, les particules sont émises aux différentes étapes de production de l'acier. L'agglomération des minerais, la cokéfaction, la fusion, dans les hauts fourneaux, le chauffage, le transport,...etc, sont tous des processus responsables de l'émission de particule sous forme de poussière, dont la plus grande partie est émise par les hauts fourneaux. ([Chaboun, 2007](#)).

1.3. La métallurgie des métaux non ferreux

Du fait que les métaux non ferreux se trouvent dans les minerais sous forme de composé, en concentration relativement réduite, leur raffinage nécessite de nombreuses opérations au cours desquelles d'importantes quantités de métaux sont émises dans l'atmosphère.

La métallurgie des métaux non ferreux participe à l'émission d'importantes quantités de cuivre, Zinc, Cadmium, Plomb, Nickel, mercure, aluminium, étain, etc.

1.4. L'industrie des matériaux de construction

Les procédés de production du ciment, ainsi que les autres procédés de fabrication de la magnésie, du plâtre, de la chaux, de laitier, de la brique, de la céramique, du verre, de l'asphalte et de l'amiante sont tous responsables de l'émission d'importantes quantités des particules solides dans l'air. Les cimenteries sont les plus polluantes, du fait de l'importance des quantités du ciment produites et des roches utilisées pour sa production ([Pierre, 2000](#)).

1.5. L'industrie chimique

L'industrie chimique ne représente pas une source importante des particules solides dans l'atmosphère, mais elle contribue de façon indirecte à la pollution

particulaires de l'air du fait des quantités importantes de gaz qu'elle engendre et qui se transforment dans l'air en particules. D'autres branches de cette industrie, peuvent être considérées à l'origine d'émission des particules solides dans l'air, telle que la production d'engrais minéraux. Les raffineries de pétrole participent aussi à l'émission de certains métaux tels que le vanadium et le nickel contenus dans le pétrole et certains hydrocarbures aromatiques polycycliques ([Pierre, 2000](#)).

2. Incinération des déchets

Des quantités importantes de produits déjà utilisés (boîtes de conserves, batteries, piles, plastiques, pneus, étaux,...etc.), dont la composition chimique est très diversifiée finissent leurs vies dans les décharges sous forme de déchets. L'incinération de ces derniers engendre l'émission d'importantes quantités de particules. Ces particules peuvent contenir des métaux tels que: Fer, Zinc, Cadmium, Plomb, Mercure, Aluminium, Sodium...ect, et d'oxydes métalliques divers. L'importance toxicologique de certains métaux émis est considérable ([Chaboun, 2007](#)).

3. Les transports et l'automobile

La pollution due aux transports a longtemps été considérée comme un problème de proximité, essentiellement perçue dans les villes en raison de la densité du trafic. Aujourd'hui, on sait que les transports, essentiellement routiers et en particulier l'automobile, sont une source de pollution importante. Les moteurs à explosion sont ainsi de très loin la première cause d'émissions d'oxydes d'azote et de divers hydrocarbures. Les moteurs diesels, moins polluants pour ce qui concerne ce dernier type d'émissions, sont en revanche à l'origine de particules et de dioxyde de soufre. La contribution des transports à la pollution ne cesse de s'accroître du fait de l'augmentation du trafic directement liée à l'évolution économique, en dépit des nombreux progrès technologiques réalisés au cours des dernières années. Le poids de l'opinion publique peut certes jouer avec autant de force sur les grands choix de sociétés relatifs aux transports (modification des habitudes de déplacement, développement des transports collectifs ...etc.) mais rien n'est moins sûr car les rapports entre citoyens et thèmes environnementaux sont ambigus, tant qu'il s'agit de développer des idées nobles et généreuses à l'échelle de la planète le consensus environnemental est fort, par contre

des que les propositions écologistes touchent aux intérêts financiers et aux modes de vie auxquels sont attachés les citoyens le soutien disparaît ([Subra, 2001](#)).

2.3.2 Conséquences de la pollution atmosphérique

Les conséquences de la pollution atmosphérique sont de deux sortes:

- Impact sanitaire et environnemental : trouble de la santé humaine principalement, mais aussi dégradation des sols et des eaux ou de la végétation.
- Impact climatique : réchauffement de la planète, destruction de la couche d'ozone, les pluies acides, les pics d'ozone.

Les conséquences de la pollution sont aussi nombreuses que les polluants: elles affectent aussi bien l'être humain lui-même que son environnement. Il y a les conséquences à long terme, comme la destruction de la couche d'ozone, l'effet de serre et les changements du climat et les conséquences à court terme telles que la pollution urbaine. Elle entraîne une augmentation des maladies respiratoires (comme asthme, les angines ou insuffisance respiratoire ou bronchiolite) et cardio-vasculaires. Les enfants sont plus sensibles que les adultes à la pollution automobile [\[1\]](#).

2.3.3 Impacts des polluants atmosphériques sur les écosystèmes (sols, végétaux et l'eau)

a) Impact sur la végétation

L'impact de la pollution de l'air sur les végétaux résulte essentiellement de trois polluants : oxydes d'azote (NO_x), dioxyde de soufre (SO_2) et l'ozone (O_3). Il se traduit par une réduction de la croissance des plantes sans dommages apparents, et des nécroses visible en cas de fortes concentrations de polluants ou une résistance amoindrie à certains agents infectieux ([DGAC, 2013](#)). Au niveau régional, les polluants atmosphériques participent à la formation de pluies acides qui contribuent au dépérissement des forêts et à la dégradation des sols.

La pollution atmosphérique représente des dommages qui peuvent se manifester de plusieurs façons. Ils peuvent apparaître rapidement sur le feuillage sous la forme de lésions nécrotiques (tissus morts). Ils peuvent aussi être lents à se manifester et entraîner le jaunissement ou la chlorose de la feuille. On peut aussi remarquer un ralentissement de croissance au niveau de différentes parties de la plante. Il arrive que les plantes meurent tout de suite, mais la mort se produit habituellement après des attaques répétées ([Griffiths, 2003](#)).

L'effet de la pollution sur la végétation dépend en premier lieu de la concentration du polluant, de la durée d'exposition, ainsi que l'espèce végétal affectée et son stade de croissance ([Martin, 2006 et Catinon, 2010](#)).

b) Les pluies acides

Les pluies acides sont un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide (pluies, neige, grêles, brouillard). Le dioxyde de soufre et les dioxydes d'azote sont les principales causes de pluies acides. Ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ou des sels. On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers de kilomètres de leur point d'émissions, (pollution transfrontière à longue distance). Ceci concourt à des dépôts acides et à l'acidification accrue des pluies par rapport à celles résultante de la seule présence de gaz carbonique dans l'air, ce qui fait que le pH « naturel » d'une pluie est toujours acide, de l'ordre de 5,6 ([Belhadj, 2014](#)).

c) L'eutrophisation

L'eutrophisation est due à un apport excessif en nutriments et matières organiques biodégradables issus de l'activité humaine. Elle s'observe surtout dans les milieux aquatiques dont les eaux sont peu renouvelées. Stimulées par un rapport substantiel en certains nutriments dont principalement le phosphore et l'azote, le phytoplancton et certaines plantes aquatiques croissent et se multiplient de manière excessive, ce qui conduit, lorsqu'elles se décomposent, à une augmentation de la charge naturelle de l'écosystème en matières organiques biodégradables. Les bactéries, qui dégradent cette matière organique, prolifèrent à leur tour, en appauvrissant de plus en plus l'oxygène de l'eau ([Ramade, 2002](#)).

d) L'effet de serre

La première conséquence de l'effet de serre, c'est le réchauffement de la planète. Le mécanisme du réchauffement est indispensable à la vie sur Terre mais il est gravement amplifié par l'Homme. Les différents indicateurs sont les concentrations dans l'atmosphère des différents gaz à effet de serre et l'évolution de la température au fil des années. Les premiers signes probables sont les températures exceptionnelles, les pluies abondantes, la fonte de tel ou tel glacier ([Lacour, 2001](#)).

e) Changements climatiques

Après la hausse du niveau des mers, l'effet de serre est accusé de modifier les climats à différents degrés. La modification des climats locaux voire la recrudescence des événements climatiques violents est suspectée. Ces événements s'accompagnent d'autres phénomènes, regroupés sous le terme «effets collatéraux» : risques sanitaires, répercussions économiques, modifications des modes de vie et perturbation des écosystèmes et diminution de la couche d'ozone (Belhadj, 2014).

3 Classification des pollutions

Selon Viala (1998), la classification classique du phénomène de la pollution envisageant ce qui se passe au niveau du sol, de l'air et de l'eau. Mais, actuellement, elle peut se faire selon la nature du facteur ou d'agent polluant considéré :

3.1 Pollutions physiques

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (Baumont et al., 2004).

3.1.1 Pollution thermique

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries...); l'élévation de température qu'elle induit diminue la teneur en oxygène dissous. Elle accélère la biodégradation et la prolifération des germes. Il se trouve qu'à charge égale, un accroissement de température favorise les effets néfastes de la pollution (Galaf, 2003).

3.1.2 Polluants radioactifs

Les déchets radioactifs demeurent le polluant physique le plus dangereux, les centrales nucléaires ne dégagent que des quantités limitées de déchets, mais le risque d'accidents subsiste et les problèmes radioactifs, les déchets restent toxiques pendant des périodes allant de quelques siècles à plusieurs millions d'année (Metiche, 2004).

3.1.3 Les matières en suspension

Les matières solides dans les rivières sont sous forme dissoutes (TDS) ou en suspension (MES). Les MES sont retenus dans le filtre alors que les TDS passent à travers celui-ci. Les MES incluent une large variété de matières : sédiments, plancton, détritiques de végétaux et d'animaux et de rejets domestique et industriel. Dans les rivières, les barrages ou les zones côtières, les MES jouent le rôle de modulateurs des matières transportées (polluants et nutriments) sous forme dissoute ou particulaire. Elles régulent, la transparence des eaux, la profondeur de la zone photique et régulent ainsi la production primaire et secondaire. Elles régulent aussi la production du bactérioplancton (auquel il s'attache) et donc influence la minéralisation et la consommation de la teneur d'oxygène ([Håkanson, 2005](#)). Plusieurs facteurs sont connus pour influencer les MES en milieu aquatique ([Boulion, 1994, 1997; Wetzel, 2001](#)) dont les plus importants sont la production autochtone (plancton et ses excréments), les matières allochtone d'origine atmosphérique et la resuspension des matières.

3.2 Pollutions chimiques

Elle est due aux polluants chimiques de nature organique et minérale générés par les différentes activités anthropiques. Ce type de pollution regroupe les solvants, les métaux (Zn, Pb, Cd,...), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB), les produits pharmaceutiques, les pesticides, les sels,...ect. ([Boulaine, 1957](#)).

3.2.1 Pollution organique

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...), et par les effluents domestique (déjections humaines, graisses,...etc.). La première conséquence de cette pollution c'est la consommation d'oxygène dissous de ces eaux. Les polluants organiques ce sont principalement les détergents, les pesticides et les hydrocarbures ([Encyclopédie, 1995](#)).

a) Les pollutions organiques facilement biodégradables

Il s'agit de matières organiques provenant d'activités biologiques : matières fécales et urines, déchets de l'élevage et des industries agroalimentaires ; feuilles, plantes et animaux morts. La nuisance qui en résulte est due aux germes pathogènes que

peut contenir ces matières organiques ou due à une forte concentration de ces déchets qui annihileront le phénomène d'auto épuration naturelle. Cette pollution est souvent la plus grave, du moins la plus répandue ([Gisèle, 2007](#)).

b) Les pollutions organiques difficilement biodégradables

Elles proviennent d'activités comme la fabrication de pâte à papier, de textiles, de cuirs et peau et aussi les détergents qui produisent des mousses diminuant la capacité d'oxygénation du cours d'eau. La dégradation par le milieu naturel de cette pollution est plus lente. Du fait de la dégradation difficile de ce type de pollution, leur nuisance résulte de leur accumulation dans le milieu naturel ([Gisèle, 2007](#)).

c) Les pollutions organiques toxiques

Elles proviennent des industries pétrochimiques et des raffineries qui rejettent dans leurs effluents des quantités importantes de phénols et d'hydrocarbures. Certains pesticides utilisés en agriculture sont d'origine organique et l'on sait que ce sont des produits toxiques particulièrement nuisant pour la faune aquatique ; ils peuvent atteindre l'homme par accumulation dans la chaîne alimentaire. Ce type de pollution gênera ou empêchera totalement les mécanismes d'épuration ([Gisèle, 2007](#)).

3.2.2 Pollution minérale

La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Le polluant minéral ce sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs ([Mayet, 1994](#)).

a) Les métaux lourds

Sont essentiellement le mercure (Hg), le cadmium (Cd), le plomb l'argent (Ag), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le nickel (Ni) et le zinc (Zn). Ces éléments, bien qu'ils puissent avoir une origine naturelle (roches du sous-sol, minerais), proviennent essentiellement de la contamination des eaux par des rejets d'activités industrielles diverses. Ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants ainsi que dans la chaîne trophique ([Keck et al., 2000](#)).

b) Les éléments minéraux nutritifs

Les éléments minéraux nutritifs tels que les phosphores, les nitrates, les nitrites, les sulfates, l'ammoniaque...etc, provenant essentiellement de l'agriculture et des effluents domestiques (Mayet et al., 1994). 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.

3.3 Pollutions biologiques

On distingue deux catégories de la pollution biologique : Pollution microbiologique et organiques.

3.3.1 Pollution microbiologique

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes (Baumont et al., 2004).

➤ Les virus

Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries (CSHPF, 1995).

➤ Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm. La quantité moyenne de bactéries dans les excréments est d'environ 10¹² bactéries/g (Asano, 1998). Les eaux usées urbaines contiennent environ 10⁶ à 10⁷ bactéries/100 ml dont 10⁵ *proteus* et *entérobactéries*, 10³ à 10⁴ *streptocoques* et 10² à 10³ *clostridium*s. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les *salmonelles* dont on connaît plusieurs centaines de sérotypes différents, dont ceux responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. Des germes témoins de contamination fécale sont communément utilisés pour contrôler la qualité relative d'une eau, ce sont les coliformes thermo tolérants (Faby, 1997).

➤ Les protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées (Baumont et al., 2004). Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer *Entamoebahistolytica*, responsable de la dysenterie amibienne et *Giardialamblia* (Asano, 1998).

3.3.2 Les matières organiques

La présence de matière organique naturelle est une caractéristique fondamentale des eaux peu profondes, dont l'origine principale est le drainage des sols où s'accumulent des matières végétales plus ou moins décomposées.

Selon Madoui, (2011), les principaux composés organiques polluants sont des lipides, des protéides, des glucides, des savons, des détergents, des huiles minérales et des débris cellulaires.

III. Paramètres d'évaluation de la qualité d'eau

1 Paramètres physico-chimiques

1.1 Température (T °C)

La température de l'eau joue un rôle important en ce qui concerne la solubilité des sels et des gaz. Les vitesses des réactions chimiques et biochimiques sont accrues par la température d'un facteur 2 à 3 pour une augmentation de température de 10°C. Dès que l'on augmente la température de l'eau, l'activité métabolique des organismes aquatiques est alors accélérée. La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduelles chaudes (Rodier, 1984).

1.2 Potentiel d'hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène (pH) est une mesure de l'acidité de l'eau et le pH d'une eau naturelle peut varier entre 4 et 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Dans le domaine de l'eau, le pH joue un rôle primordial à la fois dans

- Les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité).
- Les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites de pH.

- L'efficacité et les mécanismes de certains traitements (coagulation, adoucissement, contrôle de la corrosion, chloration) (Rodier, 2005).

1.3 Conductivité électrique (CE)

La minéralisation d'une eau correspond à l'ensemble des sels minéraux dissous dans l'eau et dont la nature dépend des terrains traversés. L'eau contient beaucoup d'ions dissous dont les principaux sont le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sodium (Na^+), le potassium (K^+), les bicarbonates (HCO_3^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les chlorures (Cl^-) (Rodier, 2005).

1.4 L'oxygène dissous (OD)

L'oxygène dissous joue un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique et dans l'autoépuration. Sa présence dans les eaux naturelles est déterminée principalement par la respiration des organismes, par l'activité photosynthétique de la flore, par l'oxydation et la dégradation des polluants et enfin par les échanges air-eau (Chahlaoui, Bengoumi et al., 2013). 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. Une valeur inférieure à un milligramme d' O_2 par litre indique un état proche de l'anaérobiose. Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible (Sigg et al., 1992). Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments (Ramade, 2003).

1.5 Chlorure (Cl^-)

Les chlorures sont fréquents dans les réserves d'eaux douces à un taux de 10 mg/l à 100 mg/l. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées. Les chlorures (Cl^-) doivent être particulièrement suivis les teneurs en chlorures des eaux de surface sont extrêmement variées. Elles sont principalement liées à la nature des terrains traversés (Rodier, 1984).

1.6 Sulfate (SO_4^{2-})

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux, en

particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux. Les teneurs en sulfates des eaux naturelles sont variables de 5 à 200 mg/l. Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates ([Rodier, 1984](#)).

1.7 Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) sont des particules d'origine minérale et organique caractérisées par une faible taille et/ou densité, ce qui leur permet de se déplacer dans les cours d'eau sans toucher au fond ([Tessier, 2003](#)). La teneur et la composition des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau (sables, boues, particules organiques, plancton, etc...). Elles dépendent de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, des rejets, du développement des microorganismes. D'une façon générale, les matières en suspension interviennent dans la composition de l'eau par leurs effets d'échanges d'ions ou d'adsorption, aussi bien sur les éléments chimiques à l'état de traces que sur les micro-organismes. Des teneurs élevées en matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous, ce qui engendre des conséquences graves sur l'état biologique des cours d'eau telles que la mort des végétaux ([Dutordoir, 2014 ; Rodier, 2009](#)).

1.8 Le potentiel redox (PR)

La mesure du potentiel redox permet de caractériser le milieu et de suivre son évolution, en particulier pendant les périodes de faible oxygénation. Le potentiel redox est fonction de l'équilibre entre les formes réduites et les formes oxydées des composés chimiques présents ([Filmed, 2010](#)).

Dans les systèmes aqueux, le potentiel redox affecte les états d'oxydation des éléments (H, C, N, O, S, Fe...). Dans une eau bien oxygénée, les conditions d'oxydation dominent. Quand la concentration d'oxygène diminue, le milieu devient plus réducteur; ce qui se traduit par une réduction du potentiel redox ([De villers, 2005](#)).

Le potentiel d'oxydo-réduction qui traduit l'équilibre entre la forme oxydée et la forme réduite d'un couple d'oxydo-réduction, représente de façon indirecte la teneur en oxygène du sédiment ([Maine et al., 1992](#)). Dans des conditions oxydantes, lorsque le potentiel redox est élevé, le rapport $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ augmente, le phosphate en solution se combine au fer ferrique (Fe ID) et se retrouve sous forme précipitée ou adsorbée. Dans

des conditions de faible potentiel redox où le fer ferrique peut être réduit en fer ferreux, les ions phosphate sont libérés dans l'eau interstitielle du sédiment. Le phosphore dissous peut alors migrer vers la colonne d'eau. Les conditions redox à l'interface eau-sédiment sont donc très importantes dans la capacité du sédiment à fixer ou à libérer du phosphate.

2 Paramètres globaux relatifs à la pollution

2.1 La demande chimique en oxygène (DCO)

Ce paramètre permet de quantifier la matière oxydable contenue dans l'eau par la mesure du taux d'oxygène nécessaire pour la dégrader. La DCO est exprimée en mg d'O₂/l. Les valeurs élevées de la DCO indiquent la présence d'une forte contamination liée à la présence de polluants réfractaires d'origine organique et minérale issus des activités anthropiques ou naturelles ([Diab, 2016](#)).

2.2 La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ mesure la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique par voie biologique (bactéries), cette analyse s'effectue à une température de 20°C pendant 5 jours à l'obscurité. Les valeurs de la DBO₅ montrent la teneur des polluants biologiquement dégradables dans les milieux aquatiques. Elle est exprimée en mg d'O₂/l.

2.3 La biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. Le rapport DCO/DBO₅ donne une première estimation de la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent. Selon ([Bougherira et al., 2017](#)) on convient généralement des limites suivantes:

- $DCO/DBO_5 < 2$: l'effluent est facilement biodégradable ;
- $2 < DCO/DBO_5 < 3$: l'effluent est biodégradable ;
- $DCO/DBO_5 > 3$: l'effluent n'est pas ou très peu biodégradable.

3 Les différentes formes d'azote

L'azote se trouve naturellement dans l'environnement (air, eau et sol). Il joue un rôle primordial dans de nombreux processus biologiques, grâce à son cycle qui permet

son assimilation par les producteurs primaires et sa régénération après dégradation par les bactéries hétérotrophes. Dans le milieu aquatique, l'azote est présent sous trois formes gazeuse, organique et minérale. La forme gazeuse ou azote atmosphérique (N_2) provient principalement de l'atmosphère terrestre contenant 78 % d'azote. L'azote atmosphérique ne peut pas être utilisé par la plupart des organismes, seuls certaines bactéries et quelques algues unicellulaires sont capables de le fixer. Cette fixation permet de convertir l'azote atmosphérique en azote minéral (NH_4 , NH_3). L'azote minéral peut être également originaire de la décomposition de l'azote organique composé de protéines, de l'urée des acides humiques, etc., la minéralisation de l'azote organique donne lieu à la formation d'ammonium (NH_4) qui sera transformé en nitrites (NO_2) et après en nitrates (NO_3).

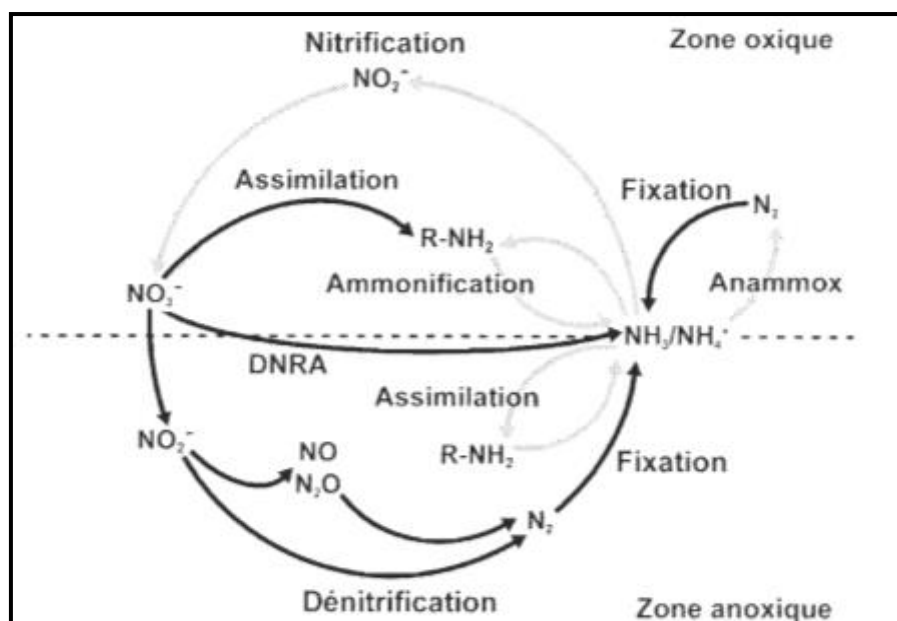


Figure 4: cycle de l'azote; les flèches noires représentent les processus de réduction et les flèches grises, les processus d'oxydation (Madigan *et al.*, 2002).

3.1 L'azote ammoniacal (NH_4^+)

L'azote ammoniacal est fréquent dans les eaux superficielles. Il a pour origine la matière organique végétale et animale des cours d'eau. La nitrification des ions ammonium se fait en milieu aérobie faible. En général, l'ammonium se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation bactérienne (Bremond *et al.*, 1973).

L'ammonium en lui-même n'est pas nuisible. Lorsque le pH augmente, on retrouve de l'ammoniac, qui est un gaz soluble dans l'eau et toxique pour la vie aquatique. Des problèmes apparaissent à partir d'une concentration de 0,1 mg NH₃/l ([De Villers et al., 2005](#)).

3.2 Les nitrates et nitrites (NO₃ + NO₂)

Les nitrites (NO₂) est la forme intermédiaire entre l'ammonium et les nitrates, issus de processus de nitrification. Sa présence dans le milieu aquatique est à l'origine d'un déséquilibre d'oxygénation de la flore bactérienne dans le milieu aquatique, ou à des températures faibles ralentissant les processus bactériens. Les nitrates (NO₃), représentent la forme oxydée finale de l'azote après l'étape de la nitratisation correspondant à la transformation des NO₂ en NO₃. Les concentrations élevées de ce composé proviennent principalement du lessivage des sols agricoles (engrais), des rejets urbains et industriels ([Mekaoussi, 2014](#)).

4 Le phosphore (PO₄)

Le phosphore est un composant essentiel de la matière vivante puisqu'on le rencontre sous forme de nombreuses formes jouant un rôle clés dans le métabolisme des organismes vivants ([Monaghan et Ruttenberg, 1999](#)) : phospho-sucre, adénosine, acides nucléiques (ADN et ARN), phospholipides, phosphonates, réactifs biochimiques intermediares (phosphocréatinine, phsphoenolpyruvate). La présence d'éléments phosphorés dans l'eau est liée à la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Le phosphore présent dans les cours d'eau peut être subdivisé en fraction dissoute (< 0,45µm) inorganique formée par les orthophosphates et polyphosphates inorganiques, et une fraction organique, à l'état colloïdal. La fraction particulaire (≥ 0,45µm) comprend le phosphore organique particulaire, phosphore inorganique particulaire apatitique ou non apatitique. Seul le phosphore inorganique directement ou indirectement assimilable par les algues joue un rôle dans la productivité aquatique. Le phosphate inorganique comprend principalement les orthophosphates (PO₄) assimilés par les plantes.

La plupart, des géochimistes ([Meybeck, 1982 ; Redfield, 1958](#)) admettent que les apports du P des rivières à la mer détermine le niveau de leur production. Cette constatation est basée sur la différence fondamentale entre le cycle de N et P dépendant des conditions d'oxydoréduction de l'environnement. Puisque l'azote provient du

réservoir atmosphérique, un déficit quelconque peut être compensé par la fixation atmosphérique à l'inverse du P qui est un sous produit du lessivage chimique est transporté à la mer presque exclusivement par les rivières (Froelich, 1982 ; Meybeck, 1982).

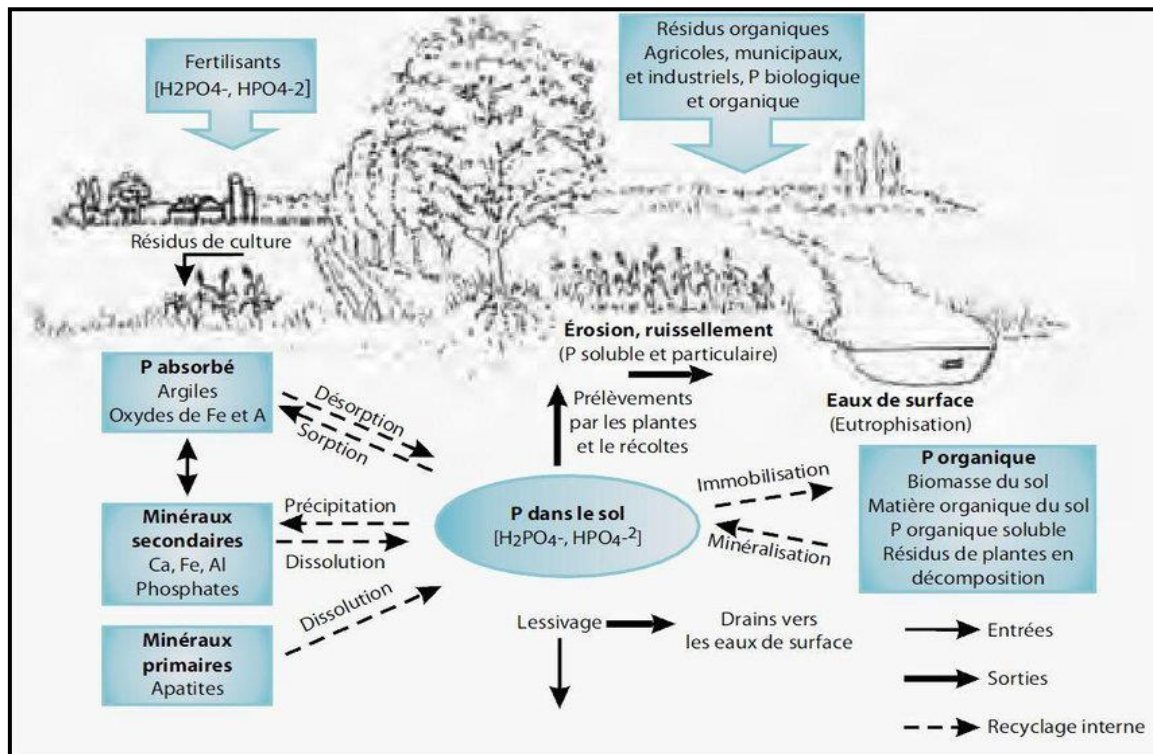


Figure 5: cycle du phosphore dans le sol et l'eau (Ghanimi, 2014).

5 Le Silicium ($\text{Si}(\text{OH})_4$)

Le silicium n'est pas un composant de la matière vivante proprement dite mais il constitue l'essentiel des squelettes de divers organismes marins comme les algues siliceuses, certains radiolaires, les diatomées. Bien que cet élément soit l'un des plus abondants de l'écorce terrestre, sa concentration dans l'eau de mer peut devenir insuffisante par suite de sa très faible solubilité dans l'eau. Au pH habituel de l'eau de mer (= 8,2), le silicium dissous se trouve à 95% sous la forme d'acide ortho-silicique $\text{Si}(\text{OH})_4$ et 5% sous forme ionisée $\text{Si}(\text{OH})_3^-$. En plus du silicium à l'état dissous, les eaux de mer contiennent du silicium à l'état particulaire de nature biogénique (frustules de diatomées), terrigène ou cosmique. Mais ce silicium n'est pas directement assimilable par les organismes vivants; il ne constitue pas un élément nutritif et n'entre pas en compte dans les études. Les concentrations en silicium dissous varient en fonction de

l'origine et la nature des eaux. La silice pure est un minéral dur. Elle existe sous des formes variées dans la nature :

- Principal constituant des roches sédimentaires détritiques (sables, grès), elle représente 27 % de la croûte terrestre ;
- Fréquente dans les roches métamorphiques ;
- Fréquente dans les roches magmatiques : quartz dans les roches magmatiques acides, cristallisée ou amorphe dans les roches volcaniques.

La silice se présente soit sous forme de cristaux non-moléculaires formés de motifs tétraédriques SiO_4 liés entre eux par les atomes d'oxygène de façon régulière, comme dans le quartz, soit sous forme amorphe, comme dans le verre (Chifflet *et al.*, 2004).

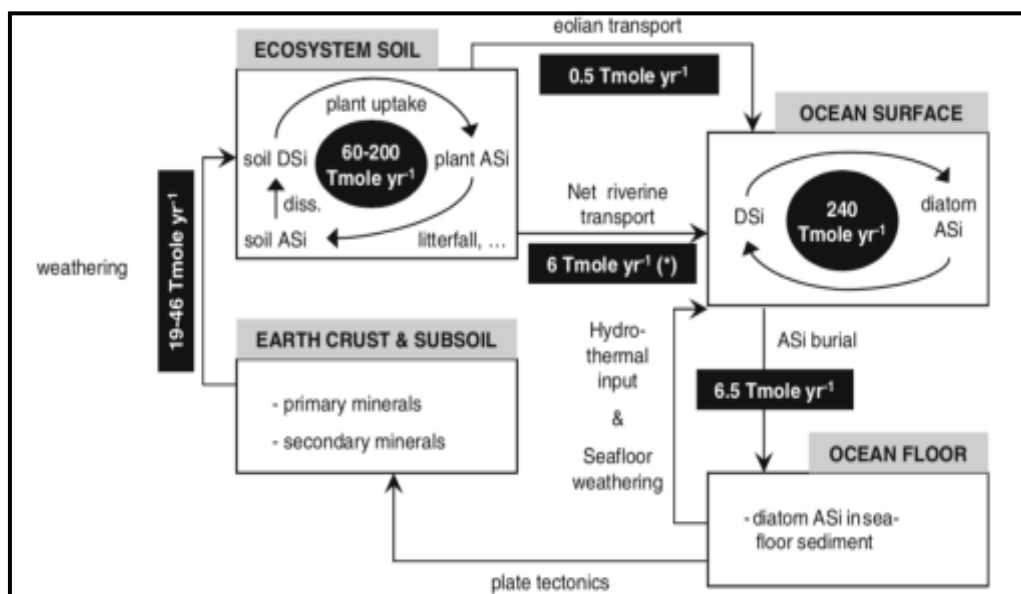


Figure 6: cycle biogéochimique global du silicium (De Struyf *et al.*, 2009).

6 Paramètres organoleptiques

Ces différents paramètres doivent être appréciés au moment des prélèvements et essentiellement par les sens (la vue, le goût et l'odorat). Leur détermination est subjective car elle fait appel aux sens qui sont différents d'un individu à un autre.

6.1 La couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand la substance en suspension y ajoute leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et des eaux de faible turbidité. La

coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle (éléments métalliques, matières humiques, microorganismes liés à un épisode d'eutrophisation etc), soit associée à la pollution (composés organiques colorés). Elle est donc très souvent synonyme de la présence des composés dissous ([Thomas, 1995](#)).

6.2 L'odeur et la saveur

Ces deux paramètres sont regroupés et font appel au même type de traitement. L'odeur et la saveur sont dues à des molécules organiques contenues en très faibles quantités dans les eaux.

Ces molécules peuvent être soit d'origine naturelle (métabolites d'algues, etc.), soit d'origine de pollutions domestiques ou industrielles ([Mebarki et al., 2006](#)). L'eau doit être inodore. Généralement les odeurs désagréables de l'eau résultent de la présence excessive de substances volatiles d'origine biologiques comme H₂S ou industrielles comme le chlore libre actif.

La saveur et le goût peuvent être définis comme des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique comme perçu lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche. Selon les physiologistes, il n'existe que quatre saveurs fondamentales : salée, sucré, aigre et amère ([Gamrasni, 1986](#)).

7 Paramètres bactériologiques

On trouve naturellement dans les eaux usées une grande variété de microorganismes, dont certains peuvent notamment favoriser la décomposition de la matière organique et le recyclage des éléments nutritifs essentiels au maintien de l'équilibre aquatique et de la chaîne trophique ([Hébert et Légaré, 2000](#)). Par contre, d'autres microorganismes proviennent des déjections d'origine animale et humaine et peuvent causer des maladies importantes chez les humains, dont des gastroentérites et des infections cutanées. Des bactéries indicatrices présentes en grand nombre dans le tube digestif des animaux à sang chaud, comme les coliformes fécaux (coliformes thermotolérants) et *Escherichia coli* (*E. coli*), sont utilisés pour évaluer le niveau de décontamination bactériologique des eaux ([Brouillet et Quellet, 2013](#)).

7.1 La croissance bactérienne

Dans une population bactérienne la croissance se traduit par une augmentation du nombre de bactéries c'est-à-dire de la masse cellulaire. La croissance bactérienne

dépend de plusieurs facteurs de nature physiques et chimiques ([Annie et Françoise, 2001](#)).

7.2 Métabolisme des bactéries

Le métabolisme est l'ensemble des réactions biochimiques mises en jeu par un organisme pour permettre sa croissance. Les réactions métaboliques peuvent être classées en deux catégories:

- ✓ Celles qui produisent de l'énergie: catabolisme.
- ✓ Celles qui consomment de l'énergie: anabolisme ou biosynthèse ([Annie et Françoise, 2001](#))

7.3 Quelques germes indicateurs de pollution fécale

a) Les coliformes

Les coliformes sont des micro-organismes appartenant à la famille des Enterobacteriaceae que nous retrouvons partout dans notre environnement, dans notre corps, de même que dans celui de tous les êtres vivants. L'ensemble de ces coliformes se nomme coliformes totaux ([Rodier, 2009](#)).

Elles existent dans la matière fécale mais se développent également dans les milieux naturels ([Leyral et al., 2002](#)). On distingue deux types :

- ✓ **Coliformes totaux** : Les coliformes sont des bâtonnets, anaérobies facultatifs, gram (-), non sporulant. Ils fermentent le lactose en produisant de l'acide et de gaz en 48 heures à des températures variant de 35°C à 37°C ([Cheval, 1982](#)).
- ✓ **Coliformes fécaux** : Ce sont des bâtonnets, aérobies et facultativement anaérobies, gram (-), non sporulant, capable de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz à des températures se situant entre 36°C et 44°C en moins de 24 heures ([Cheval, 1982](#)).

a) Les streptocoques

Ces bactéries appartiennent à la famille de *Streptococcaceae*, au genre *Streptococcus*. Ils sont définis comme étant des *coccis* sphériques légèrement ovales, gram positifs. Ils se disposent le plus souvent en diplocoques ou en chaînettes, se

développent le mieux à 37°C et ils possèdent le caractère homo-fermentaire avec production de l'acide lactique sans gaz ([Manuel de bergey., 1984](#)).

b) Les clostridiums

Le genre *clostridium* est un genre bactérien regroupant des bacilles gram positif anaérobies souvent sporulés anaérobies stricts pour la plupart, mobiles en général par l'intermédiaire de flagelles péritriches ([Annie et Françoise, 2001](#)).

IV. Maladies à transmission hydrique (MTH)

Les maladies à transmission hydrique (MTH), sont à l'origine de la mortalité élevée des populations des pays en voie de développement. L'eau contaminée par les microorganismes est une source d'infections très importante ([Ayad, 2016](#)).

Selon l'organisation mondiale de la santé ([OMS, 1989](#)), plus d'un milliard de personnes à travers le monde n'ont pas accès à une eau salubre. Toujours selon l'OMS en 1989, près de 5 millions d'enfants dans le monde sont morts de maladies à transmission hydrique.

Dans son rapport du 26 juin 2008, l'OMS estime que l'eau sale est à l'origine de 9,1 % des maladies et de 6 % des décès enregistrés chaque année dans le monde. Les enfants sont les premières victimes, Il y a une forte inégalité entre les pays riches et pauvres : l'eau est à l'origine de moins de 1 % de la morbidité dans les pays développés, cette proportion atteint 10 % dans les pays en développement ([Mansour et Djabalah, 2016](#)).

1 Les maladies hydriques d'origine bactérienne

Parmi les affections hydriques dont l'impact est important, on distingue surtout les maladies hydriques d'origine bactérienne dites « maladies de canalisations ». Généralement transmises à l'homme par voie digestive liée à la consommation d'eau ou d'aliments contaminés ([Mansour et Djabalah, 2016](#)).

➤ Le choléra

Le choléra est une maladie diarrhéique causée par des séro groupes toxigènes de la bactérie *Vibrio cholerae*, qui peut causer une déshydratation rapide et la mort. Le choléra est étroitement associé à la pauvreté, un mauvais assainissement et l'absence d'eau potable saine. Ainsi, le fardeau du choléra est concentré en Afrique et en Asie du

Sud, représentant environ 99 % des cas dans le monde entier. Le choléra peut être endémique et provoquer des épidémies. Les bactéries de choléra se propagent par la contamination fécale-orale directe ou l'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés (OMS, 2018).

En Algérie, ce pire est revenu. Le choléra s'est introduit en 1971 avec 1332 cas constaté et 110 décès. Le pic choléra peut être considéré comme une catastrophe épidémiologique nationale. En 1986, le pays a enregistré 8000 cas clinique de choléra et 450 décès. Le nombre de cas de cette maladie a diminué sensiblement depuis le début des années 1990 (Mansour et Djabalah, 2016).

➤ La typhoïde

Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes sont des infections bactériennes systémiques point de départ digestif. Les bactéries responsables appartiennent au genre *Salmonella entericaenterica* sérotypeTyphi ou Paratyphi (A, B ou C). Les patients se contaminent généralement par l'ingestion d'eau et/ou d'aliments contaminés par des selles de personnes infectées ou, via une transmission directe de personne à personne. La maladie aiguë est caractérisée par une fièvre prolongée, des maux de tête, de la fatigue, et des signes digestifs (nausées, constipation ou diarrhée). Il existe des formes plus graves (taux de létalité compris entre 10 à 20 %) avec des complications intestinales, cardiaques ou neurologiques qui peuvent être mortelles sans traitement) (Haboul et Touati, 2019).

2 Les maladies hydriques d'origine virale

➤ L'hépatite A

L'hépatite A est l'hépatite virale la plus répandue au monde avec des zones de haute endémicité en Afrique et en Asie du Sud-est. Elle est bénigne dans près de 99% des cas. L'agent causal de cette maladie est le virus de l'hépatite A (VHA) appartenant à la famille de Picornaviridae genre Héparnavirus. Le virus de l'hépatite A (VHA) se transmet en général par voie féco-orale, soit par contact direct d'une personne à l'autre, soit par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés. La contamination peut être par l'eau de boisson ou de piscine contaminée. Les eaux usées sont également susceptibles de transmettre le VHA au personnel d'entretien des réseaux d'assainissement.

Pour cette maladie virale, il n'y a pas de traitement spécifique. Il y a des vaccins sûrs et efficaces utilisés pour la prévention de l'hépatite A ([Ayad, 2016](#)).

➤ **Poliomyélite**

La poliomyélite (paralysie infantile) est une maladie contagieuse due au poliovirus. La polio se diffuse par contact d'homme à homme, entrant généralement dans le corps par la bouche à cause de la contamination par des fèces de l'eau ou de la nourriture. La maladie est généralement mortelle si les cellules nerveuses du cerveau sont attaquées (poliomyélite bulbaire), entraînant une paralysie des muscles essentiels, tels que ceux contrôlant l'ingestion, les battements du cœur et la respiration. Les cas de polio ont diminué de plus de 99% depuis 1988. Grâce aux efforts mondiaux engagés pour éradiquer cette maladie, plus de 16 millions de personnes ont évité la paralysie. La réduction est le résultat d'un effort considérable pour éradiquer cette maladie ([Baziz, 2007](#)).

3 Les maladies hydriques d'origine protozoaire

➤ **L'amibiase**

L'amébose (ou amibiase) est causée par un protozoaire, qui infecte majoritairement l'homme. Elle se manifeste cliniquement sous deux formes principales :

- ✓ L'amibiase intestinale aiguë
- ✓ L'amibiase hépatique (ou tissulaire, d'autres organes peuvent être atteints).

La fréquence de cette maladie est liée à son mode de transmission féco-orale : dans toutes les régions où il existe des risques de contamination de l'eau et des aliments par les déjections humaines, le risque d'amibiase est important ([Haboul et Touati, 2019](#)).

➤ **Les Giardiasis**

Giardia intestinalis est le protozoaire cosmopolite le plus commun au cours des infections intestinales humaines. Cet organisme unicellulaire flagellé, qui infecte l'intestin grêle de l'homme et de nombreux mammifères, est extrêmement répandu dans le monde et est responsable d'une importante morbidité.

4 Les maladies hydriques liées aux éléments chimiques

Ce sont des maladies d'origine chimique dues à un dépassement de la quantité ou de la valeur admise pour certains éléments. L'eau contient de nombreux oligo-éléments

qui sont bénéfiques à faible concentration comme le fer ou le fluor, mais toxiques à plus forte dose pour l'homme. Par contre certains éléments tels que l'arsenic, le cyanure ou le plomb sont dangereux même à faible dose. (N'diaye, 2008), présente dans le tableau ci-dessous les principales maladies causées par les éléments chimiques.

Tableau 1: exemples des maladies liées à quelques éléments chimiques (N'diaye, 2008).

Eléments chimiques	Maladies
Arsenic	Arsenicisme
Fluor	Fluorose
Nitrate	Méthémoglobinémie
Plomb	Saturnisme
Toxines de cyanobactéries	Impacts sur le foie, le cerveau suivant le type de toxine produite

Chapitre II

Matériel et méthodes

I. Localisation et présentation de la zone d'étude

1 Présentation du bassin versant de Kébir-Rhumel

Le bassin de Kebir-Rhumel résulte de la jonction de deux cours d'eaux le Rhumel et le Kebir, drainant respectivement une superficie de 5 315 km² et de 2 160 km² et dont la confluence donne naissance à Kebir-Rhumel ([Mebarki, 1982](#)).

L'Oued Kébir-Rhumel, est un cours d'eau très important dans l'Est algérien. Il a contribué au façonnement du ravin Constantinois qui est célèbre dans toute l'Algérie. L'Oued-Rhumel s'écoule sur une distance d'environ 208 Km et son bassin versant déborde largement les limites géographiques du Constantinois. Il s'étend des marges septentrionales des Hautes Plaines des sebkhas à la mer Méditerranée au Nord. Il est juxtaposé au bassin de la Seybouse à l'Est et au bassin de la Soummam à l'Ouest. Les limites du Kébir-Rhumel sont très pertinentes sur la partie tellienne où les lignes de crêtes vivent rigoureusement. En conséquence, le calcul de la superficie du bassin versant Kébir-Rhumel diffère souvent d'un opérateur à un autre ; elle est de l'ordre de 8795 km², cependant selon les données de [l'ABH, \(2002\)](#) elle est de 8111 km².

1.1 Situation géographique

Le bassin Kébir-Rhumel est situé à l'Est de l'Algérie. Il est bordé au Sud par les hauts plateaux telliens, à l'Ouest par la montagne de la petite Kabylie, au Nord par la frontière de partage des eaux que forme l'Atlas Tellien, et à l'Est par le bassin du Seybouse.

Le bassin versant Kébir-Rhumel 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, et se divise en deux parties distinctes :

- ✓ La partie occidentale, constituée par le bassin de l'Oued Enndja d'une superficie de 2.169 km², et se caractérise par des précipitations relativement élevées (644 mm/an en moyenne) et une topographie montagneuse. Les cotes atteignent 1.400 m ou davantage.
- ✓ La partie orientale, constituée par le bassin de l'Oued Rhumel, se caractérise par une topographie plus douce et des précipitations modérées (460 mm/an en moyenne). La superficie de ce bassin est de 5.490 Km². dans ce bassin, le terrain s'élève jusqu'à 1.300 m ou davantage ([Marouf, 2012](#)).

Le bassin Kébir-Rumel est limité par:

- Au Nord par les wilayas de : Skikda, Jijel, Bejaia
- Al 'Ouest : Bejaia et Bou Arréridj
- Au Sud : Batna, Oum El bouaghi

1.2 Situation hydrographique

Le bassin à l'amont de Béni-Haroun constitue une partie prédominante (87,6 %) du bassin du Kébir-Rhumel dont l'étendue jusqu'à son embouchure, la mer Méditerranée, est de 8815 km² (Fig. 7). Il se départage, selon le contexte physiographique et climatique très différencié de la région, en trois grandes zones hydrographiques distinctes :

- une zone méridionale « les Hautes Plaines » correspondant au bassin de l'Oued Rhumel supérieur et son principal affluent, l'Oued Boumerzoug code : 10-05 (au total : 4 247 km²) ;
- une zone septentrionale Est ou « Piémont Sud-tellien oriental » assimilée par souci de simplification au bassin inférieur du Rhumel avec son affluent l'Oued Smendou, jusqu'à sa confluence avec l'Oued Endja code : 10-06 (sous-bassin du Rhumel-Smendou : 1 085 km²) ;
- une zone septentrionale Ouest « Piémont Sud-tellien occidental » épousant le bassin de l'Oued Endja jusqu'à sa confluence avec l'Oued Rhumel (sous-bassins de Dehamcha-Kébir amont (code : 10-01) et Kébir-Endja (code : 10-02) : 2 146 km²)

A l'aval de la confluence Rhumel-Endja, jusqu'au site du barrage sur l'Oued El Kébir, la zone des « massifs telliens du Nord » se limite à une surface de 247 km² (Mebarki, 2005).

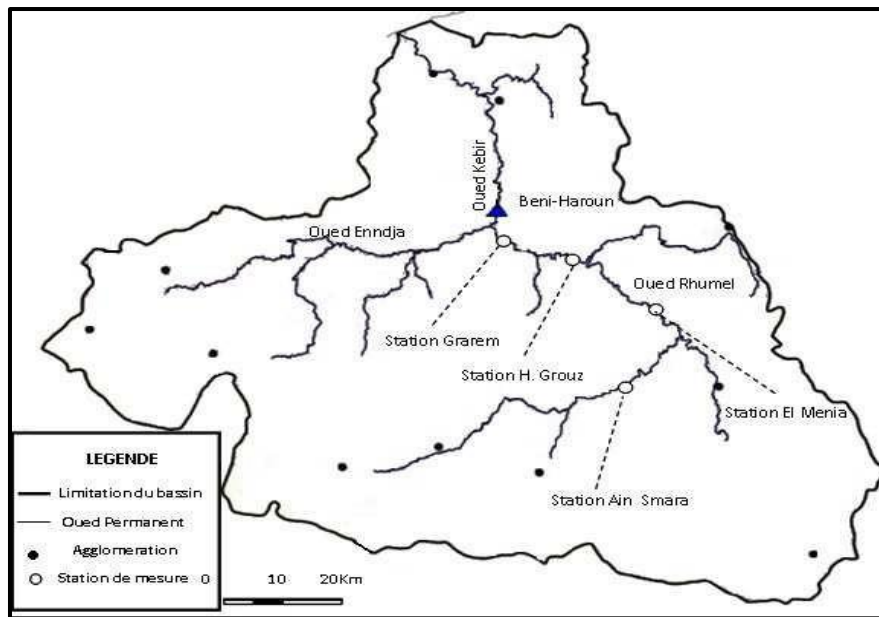


Figure 7: réseau hydrographique du bassin Kébir-Rhumel (Mebarki, 2005).

2 Principaux oueds du bassin de Kebir-Rhumel

Le bassin de Kébir-Rhumel présente un chevelu hydrographique très dense, totalisant un réseau de plus de 4200 km. Quarante oueds ont une longueur supérieure à 10 km (Fig. 8) (Mebarki, 1982).

2.1 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, entaille les gorges de Constantine jusqu'à la confluence de l'Oued Endja et prend ensuite le nom d'El Kébir. 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 Kotone (Mebarki, 1982).

2.2 Oued-El-Kebir

Oued-El-Kebir est un grand fleuve qui coule dans l'est de l'Algérie, traversant, de sa source à son embouchure, les wilayas respectives de Mila, Sétif, Constantine et Jijel. De sa source à la station d'Oued El kebir on l'appelle Rummel. Après avoir cheminé dans la wilaya de Sétif le fleuve traverse la ville de Constantine creusant les gorges dites "du Rummel"; ensuite il passe au nord de la ville de Mila; c'est dans cette zone qu'a été construit le barrage de Béni-Haroun. Après avoir traversé les eaux du lac artificiel créé par le barrage, le fleuve passe dans la wilaya de Jijel et prend une autre appellation, Oued El Kebir, arrosant au passage la station éponyme; il se déverse en mer Méditerranée au niveau de la commune de Sidi Abdelaziz [2].

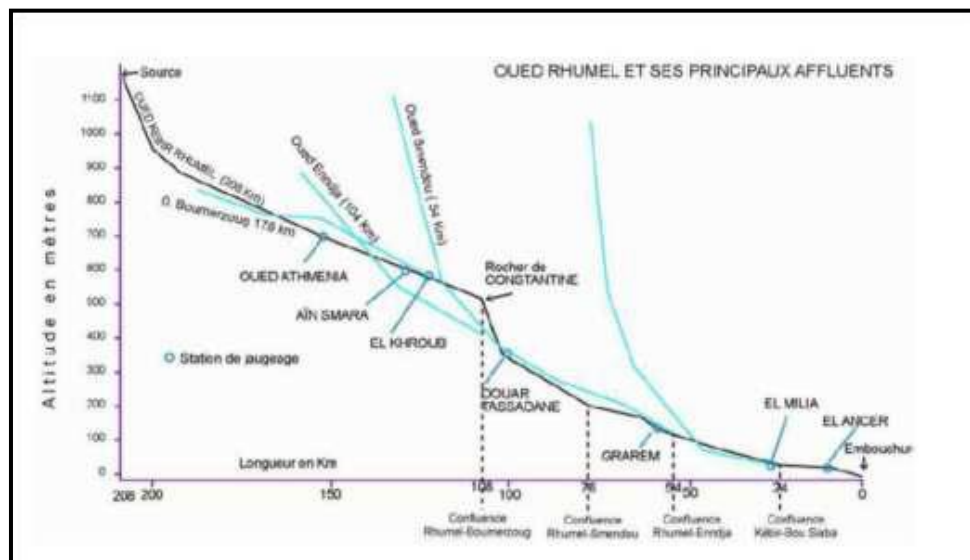


Figure 8: profil en long de l'Oued Kébir-Rhumel (Mebarki, 1982).

2.3 Oued Endja

D'un linéaire de 15 km, 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. 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, 1982).

Ces deux cours d'eau alimentent le barrage Béni-Haroun.

2.4 Oued Redjas

Oued Redjas est à côté de Oued Sabeur situé à Mila, en Algérie a une longueur de 10,87 kilomètres et une altitude de 189 mètres est située à proximité de Oued Melah et au nord-ouest de Mechtat el Melah [3,4].

2.5 Oued El-Kotone

Le sous bassin versant de'Oued El Kotone a une superficie de 10150 ha et se localise à l'aval du sous bassin versant du barrage de Béni-Haroun. Il fait partie intégrante du bassin versant du Kébir-Rhumel. C'est un affluent important de l'Oued Rhumel, ces caractéristiques sont les mêmes que la topographie de tout le bassin versant de Béni-Haroun à savoir un relief accidenté, pente importantes, dénivelés fortes et terrain marneux.

2.6 Oued Boumerzoug

Il est considéré comme le principal affluent de l'Oued Rhumel, il prend sa source dans la région d'Aïn-M'Lila dont les eaux sont largement utilisées pour l'irrigation. L'important groupement thermal d'Ain Fesguia est situé vers la tête de la vallée. Il alimente la ville de Constantine en eau potable, bâtie au confluent de Boumerzoug et du Rhumel (ABH-CSM, 2004).

3 Barrage de Béni-Haroun

3.1 Situation et hydrologie du barrage

Le barrage de Béni-Haroun est situé dans le nord de l'Algérie sur l'Oued kebir à une quarantaine de kilomètre de son embouchure dans la mer méditerranée. La retenue créée par le barrage se trouve au sud de se demie, elle est située à environ 40 km au niveau nord ouest de la ville de Constantine et à 350 km à l'Est d'Alger. Le barrage est situé à l'extrémité amont de la gorge calcaire marneuse de Béni-Haroun et à environ 4 km du confluent d'Oued Rhumel et d'Oued Endja.

Le bassin total d'Oued kebir au site du barrage couvre une superficie voisine de 8 111 km². Tenant compte qu'une partie du bassin du Rhumel est mobilisée par le barrage de Hammam Grouz, la superficie intéressante du barrage de Béni-Haroun est de 6.595 km². L'apport annuel régularisé est estimé à 435 millions de m³, et le volume de la tranche utile situé entre les niveaux 172 et 200 m est de 723 millions de m³ (Marouf N, 2012).

Le barrage couvre une superficie qui représente plus de 60 % de la superficie totale du bassin versant de Kébir Rhumel, Le barrage de Béni-Haroun est de type poids en Béton compacté rouleau ; avec une capacité de 960 millions m³ et d'une hauteur de 118 m au-dessus des fondations, le barrage mobilise les eaux d'Oued Rhumel, Oued Enndja et Oued Smendou. En février 2012, le barrage reçoit un volume d'eau environ de 1 milliard de m³ (Lemzadmi et al., 2017).

Le bilan pluie réservoir permet de déterminer un déstockage net par évaporation, équivalant à une tranche annuelle moyenne de 350 mm. La retenue permet d'emmagasiner 963 Hm³ d'eau, soit un volume utile de 732 Hm³, elle permet de régulariser un apport annuel de 435 Hm³, avec une réserve de 1 milliard de m³ d'eau atteinte le 12 Février 2012. Le barrage a été mis en exploitation en 2005 (Mebarki, 2009).

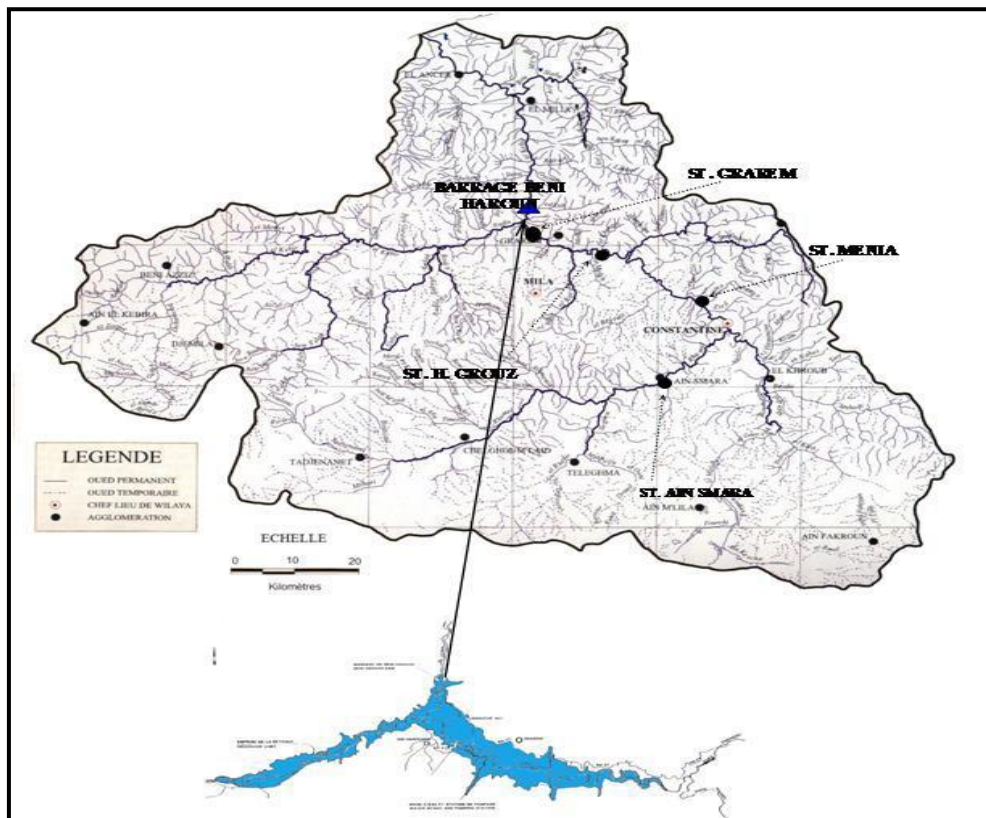


Figure 9: situation géographique de retenue du barrage de Béni-Haroun (ANBT, 2014).

4 Climatologie

Les facteurs climatiques jouent un rôle très important dans les variations hydrologiques de la région. Le climat de type méditerranéen semi-aride au sud et

subhumide au nord de Constantine est caractérisé par une forte chute de la pluie est décroissance du Nord (450 mm/an) au Sud (320 mm/an) (ABHCSM, 1999).

4.1 Pluviométrie

Sur le bassin versant du Kébir-Rhumel, la pluviométrie croît du sud au nord avec une moyenne variable de 318 mm au nord. Ces écarts pluviométriques influencent beaucoup les cours d'eau, en outre, leurs débits et les matières en suspension. Pour l'ensemble du bassin, il existe vingt-deux stations de mesures pluviométriques dont dix seulement sont fonctionnelles.

Sur le bassin versant Kébir-Rhumel, les pluies sont irrégulières et faibles selon les saisons et les stations communiquées par l'ANRH. Le bassin est caractérisé par un climat méditerranéen avec des hivers doux et des étés chauds et secs (ABH-CSM, 2002).

4.2 Vent

Les vents qui prédominent à Constantine sont de direction Nord-Ouest avec des vitesses moyennes qui varient entre 2.2 et 2.9 m/s avec une moyenne annuelle de en ce qui concerne la direction du vent il se diffère suivant la saison : En hiver le vent est dominant du Nord et Nord-Ouest (vents froids). En été, elles proviennent du Nord et Nord-Ouest (vents chauds et secs) 2.4 m/s et une fréquence moyenne de 45 % (Meridga, 2002).

5 Cadre Biotique

Il est nécessaire d'inspecter la richesse vivante de la région d'étude à noter les différents types d'espèces animales et végétales.

5.1 La faune

D'après la conservation des forêts de la wilaya de Mila, les mammifères, les reptiles et les poissons qui se trouvent dans cette région sont représentés dans la figure ci-dessous :

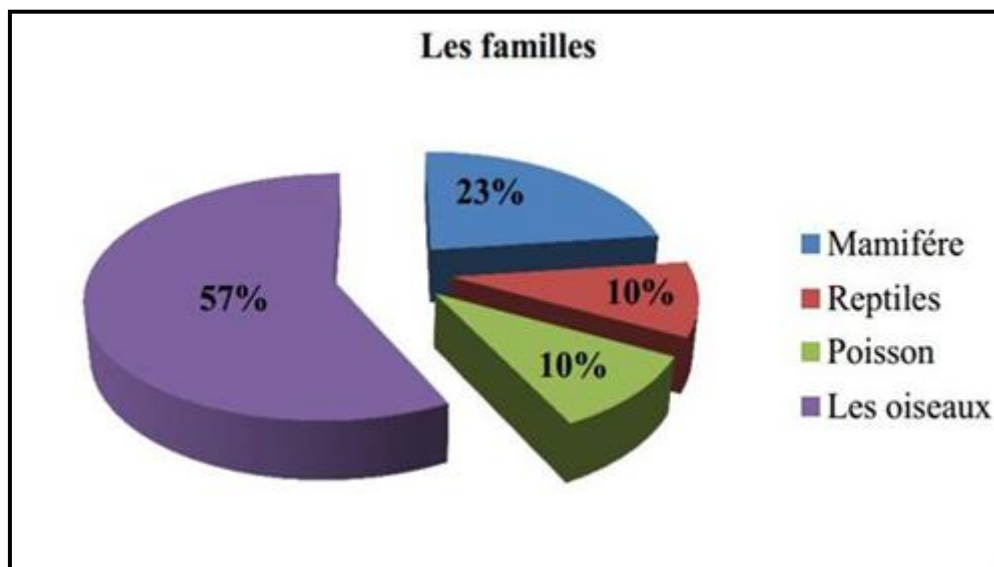


Figure 10: diversité faunistique de la région de Mila ([conservation des forêts de Mila, 2018](#)).

5.2 La flore

La superficie forestière dans la wilaya de Mila couvre 3870 ha soit 9,7 % de la superficie totale de la wilaya. Le pin d'Alep se retrouve généralement dans les forêts de Ferdjioua, Ain Beida, Bouhatem, Mila, Chelghoum-Laid, Teleghma et Tadjenanet. Le chêne-liège occupe les forêts de Grarem, Sidi-merouane, Tassadane et Tarai-beinen. Autres essences forestières.

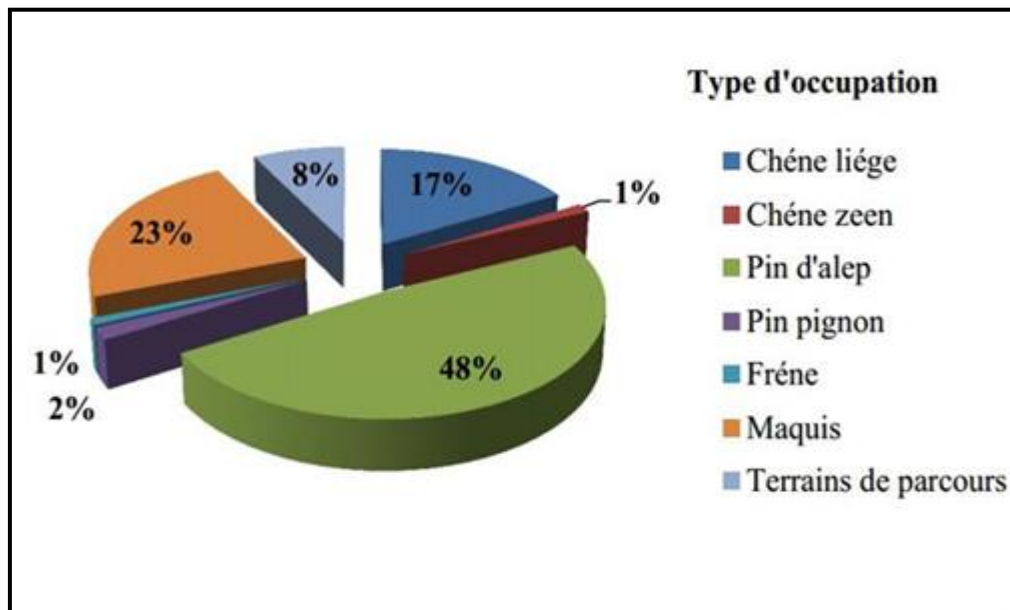


Figure 11: différents types des forêts de la wilaya de Mila ([conservation des forêts de Mila, 2018](#)).

6 Prélèvement et Méthodes d'analyse chimiques

6.1 Prélèvement hydrologique

Les paramètres hydrologiques et les différents nutriments ont été échantillonnés une fois par mois de janvier 2022 à mars 2022 dans quatre stations dans le bassin Kébir-Rhumel ([Figure 12](#)), permet de suivre les modifications des nutriments (N, P et Si) et des facteurs physiques (débits d'eau, TDS, CE...) à partir de l'aval du barrage de Béni-Haroun jusqu'à l'embouchure.

Les vitesses d'écoulement de l'eau aux points de relevés au moment des prélèvements de la masse d'eau même, la vitesse du courant est approximée en suivant un objet lâché sur un trajet de 10 m.

Le débit ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) a été calculé en multipliant la vitesse de l'eau ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) par la surface totale (m^2) de la section mouillée au point de prélèvement de la station embouchure.

La conductivité électrique (CE) et le total des solides dissous (mg l^{-1}) ont été relevés à l'aide d'un multi-paramètre de terrain.

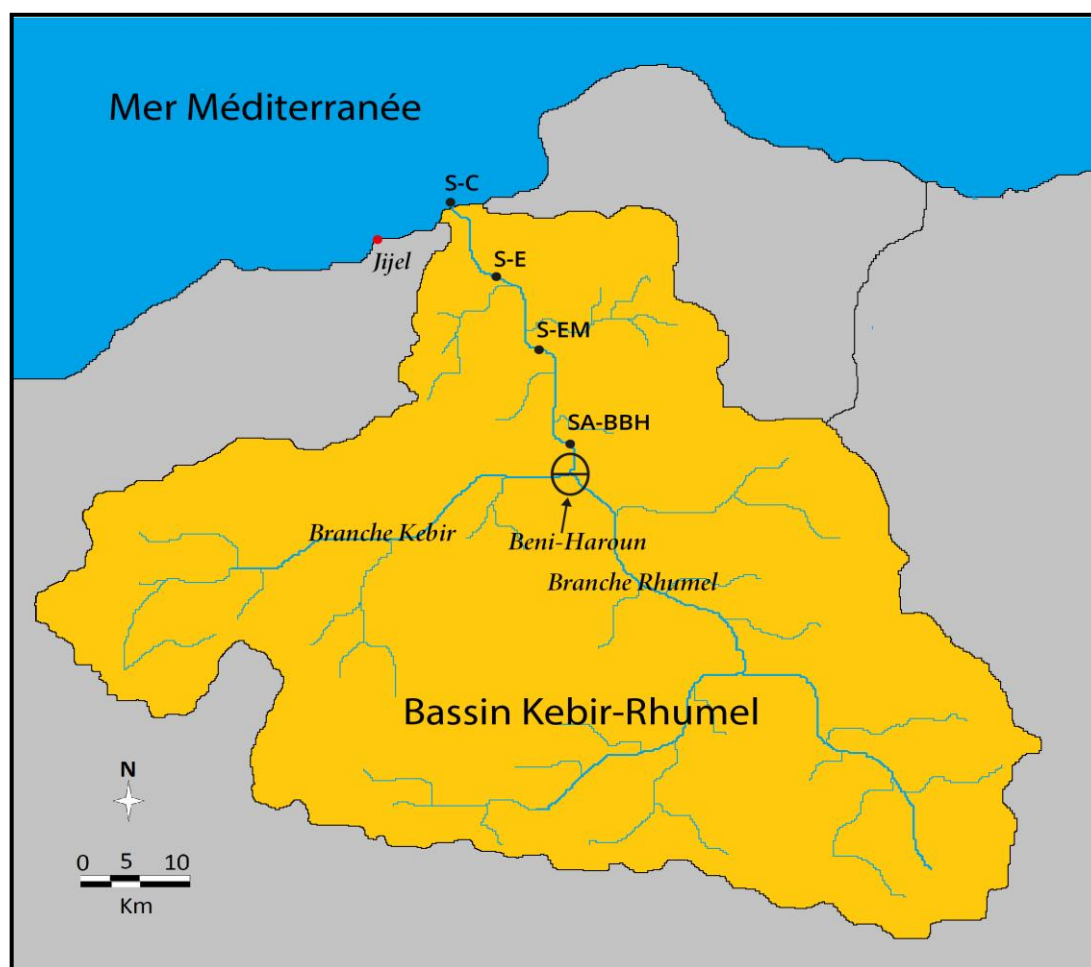


Figure 12 : stations échantillonnées dans le bassin de Kebir-Rhumel.

Tableau 2: positionnement (latitude, longitude) des stations étudiées.

Bassin de rivière	Dénomination	Positionnement
Kebir-Rhumel	KR	/
Station aval du barrage de Béni-Haroun	SA-BBH	36°35'07.3"N 6°16'33.5"E
Station après El Milia	S-EM	36°45'57.9"N 6°14'12.4"E
Station-Embouchure	S-E	36°45'57.9"N 6°14'12.4"E
Station de la Côte	S-C	36°52'16.0"N 6°04'55.1"E

6.2 Méthode d'analyse physico-chimique

Un litre et demis d'eau prélevée au milieu de la section mouillée ont été collectées pour l'analyse des éléments nutritifs. La filtration des échantillons s'effectue le jour même de prélèvement, les analyses chimiques se font dans les deux jours qui suivent

dans laboratoire de recherche des Sciences Naturelles et Matériaux (LSNM) au centre universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila.

Au laboratoire, après filtration des échantillons à travers des filtres en microfibrilles de verre Whatman GF/C (0,5 μm de porosité), les nutriments inorganiques ont été déterminés selon les méthodes standards colorimétriques décrites dans les différents manuels d'analyses des eaux (Tableau 3).

Tableau 3: résumé des méthodes d'analyse des éléments chimiques et biochimiques (1 : Preston *et al.*, 1989 ; 2 : Aminot et Chaussepied 1983).

Eléments	Méthodes	Références
Azote ammoniacal ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4$)	Dosage spectrophoto : $\lambda = 630 \text{ nm}$	1
Nitrates (NO_3)	Dosage spectrophoto : $\lambda = 543 \text{ nm}$	1
Nitrites (NO_2)	Réduction des NO_3 en NO_2 et dosage spectrophoto. des nitrites : $\lambda = 543 \text{ nm}$	1
Phosphate (PO_4)	Dosage spectrophoto : $\lambda = 885 \text{ nm}$	2
Orthosilicates $\text{Si}(\text{OH})_4$ ou SiO_4	Dosage spectrophoto : $\lambda = 810 \text{ nm}$	2

Notre travail consiste à déterminer la qualité des eaux superficielles introduites au littoral par le truchement des analyses physico-chimiques, afin de préciser l'affluent ou l'oued le plus polluant du réseau alimentateur et interpeller ainsi les services concernés pour une intervention visant à réduire le taux de la pollution.

6.2.1 Dosage de l'azote ammoniacal ($\text{NH}_4 + \text{NH}_3$)

Principe

En milieu légèrement basique, l'ammonium forme une monochloramine avec l'acide dichloroisocyanurique. Cette dernière réagit avec le phénol pour former un composé de couleur bleu d'indophénol dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en ammonium. La réaction est accélérée par le nitroprussiate. Cette technique de mesure a été appliquée pour le dosage des faibles concentrations où l'erreur reste inférieure à 5 %.

❖ Réactifs

- **Réactif 1:** Solution de phénol-nitroprussiate.

Dissoudre à froid : 3,5 g de phénol et 40 mg de nitroprussiate de sodium dans 100 ml d'eau distillé ; ce réactif n'est stable qu'après quelques semaines au frais et à l'abri de la lumière.

- **Réactif 2:** Solution de dichloroisocyanurate.

Dissoudre à froid : 28 g de citrate trisodique, 500 mg de dichloroisocyanurate et 1,4g de soude dans 100 ml d'eau distillée. Ce réactif se conserve au frais pendant 1 à 2 mois.

❖ Dosage

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable puis on ajoute dans une cuve de spectrophotomètre :

2 ml de réactif 1,

100 ml $\pm$ 1 ml d'échantillon ou d'étalon,

2 ml de réactif 2,

Après 8h d'attente à l'obscurité, l'absorbance est lue avec un spectrophotomètre à 630 nm.

Les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, ayant pour équation linéaire : $DO = aC + b$

DO est la densité optique ; **C** la concentration ; **a** est la pente = 0,0166 ; **b** l'ordonné à l'origine = 0,0223 et **R²** (0,9982) le coefficient de détermination mesurant la qualité de l'ajustement de la droite au nuage des couples de points **DO** et **C**.

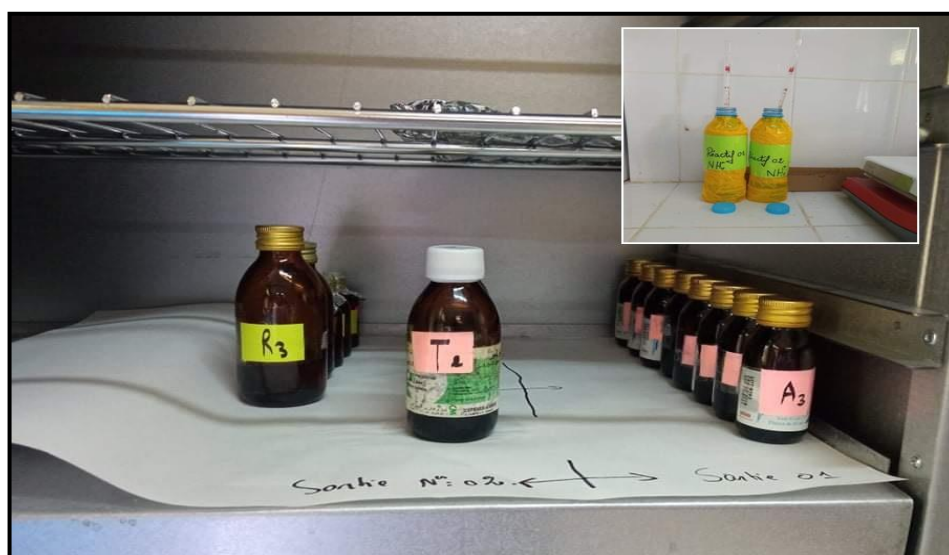


Figure 13: dosage de l'azote ammoniacal (NH_4) (Photo prise par Bey Imane).

6.2.2 Dosage du Nitrates (NO_3)

❖ Principe

L'échantillon, tamponné par une solution de chlorure d'ammonium, passe dans une colonne de cadmium traitée au cuivre qui sert à réduire les nitrates en nitrites.

C'est donc la somme des nitrites présents dans l'échantillon plus ceux formés par la réduction des nitrates qui est mesurée à l'aide des mêmes réactifs que ceux indiqués dans le dosage des nitrites. Le pourcentage d'erreur avec cette méthode est inférieur à 10 %.

❖ Réactifs

- **Réactif 1** : Solution de sulfanilamide

Dissoudre à froid : 2,5 g de sulfanilamide avec 13 ml de HCl concentré et 250 ml d'eau distillé

- **Réactif 2** : Solution de N-Naphtyl-1-éthylène diamine

Dissoudre à froid : autant de milligrammes de N-Naphtyl-1-éthylène diamine que de millilitres d'eau distillée. Cette solution est instable et ne peut pas être conservée longtemps.

- Solution de chlorure d'ammonium

Dissoudre à froid : 10 g de NH_4Cl dans 1 l d'eau distillée.

❖ Dosage

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable. L'échantillon ou l'étalon est injecté dans une boucle, préalablement rincée par l'échantillon ou l'étalon, et qui connectée au circuit via un système de valves. L'absorbance est mesurée en continu par un spectrophotomètre à la longueur d'onde 543 nm.

Les absorbances maximales sont relevées et les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire.

$DO = aC + b \text{ dont } a = 0,0429, b = 0,022 \text{ et } R^2 = 0,9992$
--



Figure 14: dosage des nitrates (NO_3) (Photo prise par AZIEZ Abdelhak).

6.2.3 Dosage du Nitrites (NO_2)

❖ Principe

En milieu acide ($\text{pH} < 2$), les ions nitrites forment de l'acide nitreux HNO_2 qui réagit avec de la sulfanilamide pour former un complexe diazoïque. En présence de N-Naphtyl-1-éthylène diamine, il se forme un complexe rose dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites. Le pourcentage d'erreur avec cette méthode est inférieur à 5 %.

❖ Réactifs

- **Réactif 1:** Solution de sulfanilamide

Dissoudre à froid: 2,5 g de sulfanilamide avec 13 ml de HCl concentré et 250 ml d'eau distillé

- **Réactif 2:** Solution de N-Naphtyl-1-éthylène diamine

Dissoudre à froid: autant de milligrammes de N-Naphtyl-1-éthylène diamine que de millilitres d'eau distillée. Cette solution est instable et ne peut pas être conservée longtemps.

❖ Dosage

Une gamme d'étalonnage doit être réalisée au préalable. Puis, dans une cuve pour spectrophotomètre, on ajoute :

1 ml de réactif 1,

50 ml d'échantillon ou d'étalon,

8 minutes d'attente,

1 ml de réactif 2,

Après 15 minutes d'attente, l'absorbance est lue avec un spectrophotomètre à 543 nm.

Les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire. $DO = aC + b$ dont $a = 0,0421$, $b = 0,0237$ et $R^2 = 0,9959$.



Figure 15: dosage des nitrites (NO_2) (Photo prise par AZIEZ Abdelhak).

6.2.4 Dosage des phosphates (PO_4)

❖ Réactifs

La température des échantillons doit être comprise entre 15 et 30°C.

On procède comme suit :

- Préparer le mélange-réactif.
- Mesurer 50 ml d'échantillon.
- Ajouter 5 ml de mélange-réactif et homogénéiser aussitôt.
- Attendre 5 min et mesurer l'absorbance à 885 nm en cuves de 3 cm de trajet optique, par apport à l'eau distillée.

Les concentrations des phosphates sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire. $DO = aC + b$ dont $a = 0,0227$, $b = 0,013$ et $R^2 = 0,9974$



Figure 16: dosage des phosphates (PO_4) (Photo prise par GHODBANE abderraouf).

6.2.5 Dosage des silicates $Si(OH)_4$ ou SiO_4

❖ Principe

La solution d'heptamolybdate forme avec la silice dissoute (acide silicique) un complexe silicomolybdique qui donne, après réduction, une coloration bleue intense. Le pourcentage d'erreur en analyse flux continu est inférieur à 1 %.

❖ Réactifs

• Solution de molybdate d'ammonium

Dissoudre à chaud ($50^\circ C$): 20 g de molybdate d'ammonium $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ dans 500 ml d'eau distillé.

A conserver à l'abri de la lumière.

Solution d'acide sulfurique à 4,5 M.

- **Réactif 1:** Mélanger 12 ml de (2) et 120 ml de (1) et compléter à 500 ml avec de l'eau distillé

Ce réactif doit être préparé chaque jour.

- **Réactif 2 :** Réducteur (mélange)

Ce réactif réducteur est obtenu en mélangeant successivement les réactifs ci-dessus dans l'ordre et les proportions suivantes :

- ✓ 100 ml de solution de métol-sulfite,
- ✓ 60 ml de solution d'acide oxalique,
- ✓ 60 ml d'acide sulfurique à 50 %,
- ✓ Compléter avec de l'eau distillée pour obtenir 300 ml de solution.

Cette solution doit être préparée juste avant utilisation et ne se conserve pas.

Les concentrations des silicates sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire. $DO = aC + b$ dont $a = 0,0097$, $b = 0,008$ et $R^2 = 0,9986$



Figure 17: dosage des silicates $Si(OH)_4$ ou SiO_4 (Photo prise par BEY imane).

Chapitre III

Résultats et Discussion

1 Paramètres physique des eaux d'Oued Kebir-Rhumel introduite au littoral récepteur.

1.1 Potentiel d'hydrogène (pH)

Au cours de la période d'étude (janvier, février et mars 2022), le pH varié dans l'ensemble des stations étudiées entre (7.7 et 8.86) ce qui indique un pH neutre dans toutes les stations étudiées. Les valeurs du pH les plus faibles sont enregistrés dans le mois de janvier 2022 (tableau 4). A l'aval du barrage les teneurs du pH varient entre (8.16 et 8.86) et la valeur la plus faible s'enregistré dans le mois de janvier 2022 (tableau 4). Après l'agglomération d'El-Milia, les résultats obtenus montre des valeurs constantes en pH en février et mars 2022 et des concentrations faible en janvier par rapport à l'aval du barrage dont les valeurs varient entre (7.72 et 8.7), également à l'embouchure les teneurs de pH resté plus au moins constant dans les trois mois. On observe également dans la station mer des valeurs en pH compris entre (7.87 et 8.61).

1.2 La Conductivité électrique (CE)

En termes de la Conductivité électrique (CE), A l'aval du barrage les valeurs de la conductivité électrique changent entre (1245 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1550 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et la valeur la plus faible s'enregistré dans le mois de mars 2022 (tableau 4). Les résultats obtenus dans l'ensemble des stations varient entre (29,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1748 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dont les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans les mois de février et mars 2022 dans la station de la côte comparé aux autres stations (tableau 4). Après l'agglomération d'El-Milia, les valeurs en CE sont plus ou moins constatant par rapport a la station aval du barrage dont les valeurs varient entre (1208 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 1548 $\mu\text{S}/\text{cm}$), également a l'embouchure les valeurs de CE sont moins élevées dans le mois de janvier et février 2022. A la côte de Jijel (station de la mer) les valeurs en CE dans le mois de janvier est de 1748 $\mu\text{S}/\text{cm}$, contrairement au mois de février et mars, dont les valeurs compris entre (28.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 45.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

1.3 Taux des sels dissouts (TDS)

La composition et la teneur en TDS des eaux de rivières sont liés avec la nature géologique des terrains lessivés, la charge des eaux de pluies, les eaux d'irrigation (chargés en fertilisants) qui retournent aux rivières et également les rejets domestiques. Comme la montre dans le (tableau 4), les teneurs en TDS dans l'ensemble des stations

changent entre (26,5 mg/l et 1670 mg/l) dont les teneurs les plus faibles sont enregistrés dans le mois de mars 2022 (tableau 4). A l'aval du barrage, les teneurs de TDS compris entre (684 mg/l et 887 mg/l). Après l'agglomération d'El-Milia, les résultats obtenus montre des valeurs plus ou moins constatant en TDS par rapport à l'aval du barrage dont les valeurs modifient entre (681 mg/l et 828 mg/l), également à l'embouchure, les teneurs de TDS restent plus au moins élevées dans le mois de février 2022. Au littoral, la mer contient des teneurs important en TDS dans le mois de février 2022, dont valeurs maximal peut aller jusqu'à 1670 mg/l.

On remarque également des valeurs importantes de la salinité dans la station de la côte dont les valeurs compris entre (0,9 à 28,5). A l'embouchure, les valeurs de la salinité changent entre (0,5 à 0,7).

1.4 L'oxygène dissout (OD)

L'oxygène dissout (OD) est un élément important pour l'évaluation de la qualité de l'eau et nécessaire pour les microorganismes aquatique. Durant la période d'étude, les résultats obtenus dans l'ensemble des stations montrent des concentrations en OD changent entre (32.7 mg/l et 41.5 mg/l), et les teneurs les plus faible sont enregistrés a l'embouchure dont les valeurs compris entre (33.4 mg/l et 40.8 mg/l).

1.5 Débit

Le système naturel de réservoirs d'eau, l'écoulement des eaux souterrain et l'écoulement fluvial, les précipitations sont les facteurs le plus influent sur la fluctuation du niveau d'eau est le cycle hydrologique. Au cours de la période d'étude, a l'embouchure, le débit fluctué entre (300 m³/s et 451,53 m³/s).

Tableau 4: variation des paramètres physique des eaux du bassin d'Oued Kébir-Rhumel introduite au littoral récepteur.

26 janvier 2022						
Site	PH	CE	TDS	Salinité	OD	débit
Aval barrage	8,16	1550	887		40,7	
El Milia	7,72	1400	787		40,3	
Embouchure	7,7	1018	543	0,5	37,1	333,33
La côte	7,87	1748	941	0,9	40,3	
26 février 2022						
Aval barrage	8,4	1548	826		40,2	
El Milia	8,26	1548	828		40,3	

Embouchure	8,1	1355	723	0,7	33,4	300
La côte	8,1	29,5	1670	18	40,5	
26 mars 2022						
Aval barrage	8,86	1245	684		41,5	
El Milia	8,7	1208	681		32,7	
Embouchure	8,81	989	532	0,5	40,8	461,53
La côte	8,61	45,7	26,5	28,5	41,3	

Unité : CE $\mu\text{s/cm}$; TDS mg/l ; OD mg/l ; débit en m^3/s

2 Distribution de l'azote, du phosphore et du silicium en aval de Barrage Béni-Haroun et à l'embouchure.

2.1 L'azote inorganique dissous ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$)

Au cours de la période d'étude (janvier ; février et mars 2022), les concentrations de NH_4 dans l'ensemble des stations étudiées fluctuent entre (2,81 μM et 43,53 μM) avec une moyenne de l'ordre de 22,96 μM . A l'aval du barrage les teneurs de NH_4 varient entre (4,38 μM et 13,11 μM) avec une moyenne de 9,86 μM et la valeur la plus faible s'enregistré dans le mois de février 2022 comparé aux autres stations par la suite de l'effet du barrage qui se traduit par la rétention d'ammonium dans le barrage (Fig.18). Après l'agglomération d'El-Milia, les résultats obtenus montrent des concentrations très élevées en ammonium par rapport a l'aval du barrage et les valeurs varient entre (24,80 μM et 43,53 μM) avec une moyenne de l'ordre de 35,28 μM , les fortes concentrations en NH_4 après l'agglomération d'EL-Milia s'explique par les activités anthropogéniques y compris l'activités agricole et domestique et dans un moindre mesure industriel, également à l'embouchure les teneurs d'ammonium resté plus au moins élevée dans le mois de janvier et février 2022. On observe également la mer reçoit des teneurs en NH_4 fluctuent entre (2,81 μM et 41,12 μM) avec une valeur moyenne de l'ordre de 19,07 μM (tableau 5).

En termes de nitrates (NO_3), les résultats obtenus dans l'ensemble des stations montrent des concentrations compris entre (0,89 μM et 14,20 μM) avec une moyenne de l'ordre de 8,51 μM . A l'aval du Barrage de Béni-Haroun, les valeurs moyennes en nitrates à partir de l'aval jusqu'à la côte sont (10 μM ; 8,85 μM ; 12,48 μM et 3,86 μM respectivement). La forte concentration en nitrate dans la station embouchure se traduit par l'utilisation intensives des engrais par les agricoles. Par contre la station de la côte montre des concentrations plus faibles par rapport aux autres stations se qui

explique un faible contact des eaux d'Oued Kebir-Rhumel au niveau de l'embouchure avec les eaux de mer durant la période d'étude exceptionnellement le mois de janvier 2022. Les nitrites (NO_2) montrent des teneurs dans l'ensemble des stations compris entre ($0,05 \mu\text{M}$ et $7,22 \mu\text{M}$) avec une moyenne de l'ordre de $2,91 \mu\text{M}$ et les teneurs les plus faibles sont enregistrés à l'aval du barrage de Béni-Haroun dont les concentrations compris entre ($0,05 \mu\text{M}$ et $0,43 \mu\text{M}$) avec une moyenne de $0,26 \mu\text{M}$ par la suite de l'effet du barrage.

2.2 Silicium (SiO_4)

Au cours de la période d'étude (janvier, février et mars 2022), les concentrations de SiO_4 dans l'ensemble des stations étudiées fluctuent entre ($4,63 \mu\text{M}$ et $163,08 \mu\text{M}$) avec une moyenne de l'ordre de $85,83 \mu\text{M}$, les valeurs de silicate les plus faibles sont enregistrés dans le mois de janvier et mars 2022 à l'aval du barrage de Béni-Haroun comparé aux autres stations (tableau 5), cette diminution s'explique par la rétention des silicates dans le barrage. A l'aval du barrage les teneurs de SiO_4 varient entre ($57,21 \mu\text{M}$ et $128,85 \mu\text{M}$) avec une moyenne de $87,55 \mu\text{M}$. Après l'agglomération d'El-Milia, les résultats obtenus montrent des concentrations élevées du silicium en janvier et mars, les concentrations faibles se trouvent dans le mois de février par rapport à l'aval du barrage dont les teneurs sont changent entre ($34,53 \mu\text{M}$ et $126,58 \mu\text{M}$) avec une moyenne de l'ordre de $85,42 \mu\text{M}$, également à l'embouchure les teneurs de silicium restent plus au moins constants dans les mois de février et mars 2022 et légèrement augmentés dans le mois de janvier 2022. On observe également la mer reçoit des teneurs en SiO_4 fluctuent entre ($4,36 \mu\text{M}$ et $150,50 \mu\text{M}$) avec une valeur moyenne de l'ordre de $57,96 \mu\text{M}$ (Fig.18). La présence et la variation des teneurs en SiO_4 entre les stations à partir de l'aval du barrage jusqu'à la côte est liée à la nature des terrains traversés et également s'explique par l'influence de la précipitation et l'érosion. Les rapports de Redfield sont plus au moins déséquilibrés dans l'ensemble des stations dont le rapport Si/N est varié entre 2,42 et 8,88.

2.3 Phosphate (PO_4)

Le phosphore est un composant essentiel de la matière vivante puisqu'on le rencontre sous forme de nombreuses formes jouant un rôle clé dans le métabolisme des organismes vivants. Au cours de la période d'étude (janvier ; février et mars 2022), les concentrations de PO_4 dans l'ensemble des stations étudiées fluctuent entre ($0,02 \mu\text{M}$

et 0,44 μM) avec une moyenne de l'ordre de 0,21 μM , les valeurs des phosphates les plus faible sont enregistrés dans le mois de janvier 2022 à l'aval du barrage de Béni-Haroun comparé aux autres stations (tableau 5), les faibles valeurs a l'aval du barrage s'explique par l'effet du barrage (Activités biologique interne dans la retenu). À l'aval du barrage les teneurs de PO_4 varient entre (0,03 μM et 0,32 μM) avec une moyenne de 0,02 μM . également après El-Milia, les teneurs des phosphates restés plus au moins élevée dans le mois de janvier et mars 2022. À l'embouchure, les résultats obtenus montre des concentrations plus au moins important en phosphates par rapport à l'aval du barrage et la station après El-Milia, dont les valeurs changent entre (0,20 μM et 0,44 μM) avec une moyenne de l'ordre de 0,29 μM , également la mer reçoit des teneurs en PO_4 fluctuent entre (0,08 μM et 0,32 μM) avec une valeur moyenne de l'ordre de 0,18 μM (Fig.18), la présence et le changement de la concentration du phosphore dans les eaux des rivières étudiées est probablement lié d'une part à la nature des terrains traverses, les utilisations des engrais et d'autre part à la décomposition de la matière organique.

2.4 L'azote inorganique (NID)

En termes d'azote inorganique dissous (NID), les résultats obtenu durant la période d'étude dans l'ensemble des stations montrent des teneurs changent entre (8.00 μM et 57.20 μM) avec une moyenne de l'ordre de 34.88 μM , cette grande variation de concentrations entre les stations s'explique par l'exposition de chaque site avec aux activités humains et les rejets domestique. Les teneurs les plus faible sont enregistrés à l'aval du barrage de Béni-Haroun dont les concentrations compris entre (17.87 μM et 23.31 μM) avec une moyenne de 20.12 μM , la diminution remarquable des teneurs en NID à l'aval du barrage s'exprime par l'effet du barrage. Le rapport du Redfield N/P est fortement déséquilibré dans l'ensemble des stations par suite de l'apport anthropogénique, dont les valeurs changent entre 99,27 et 493.

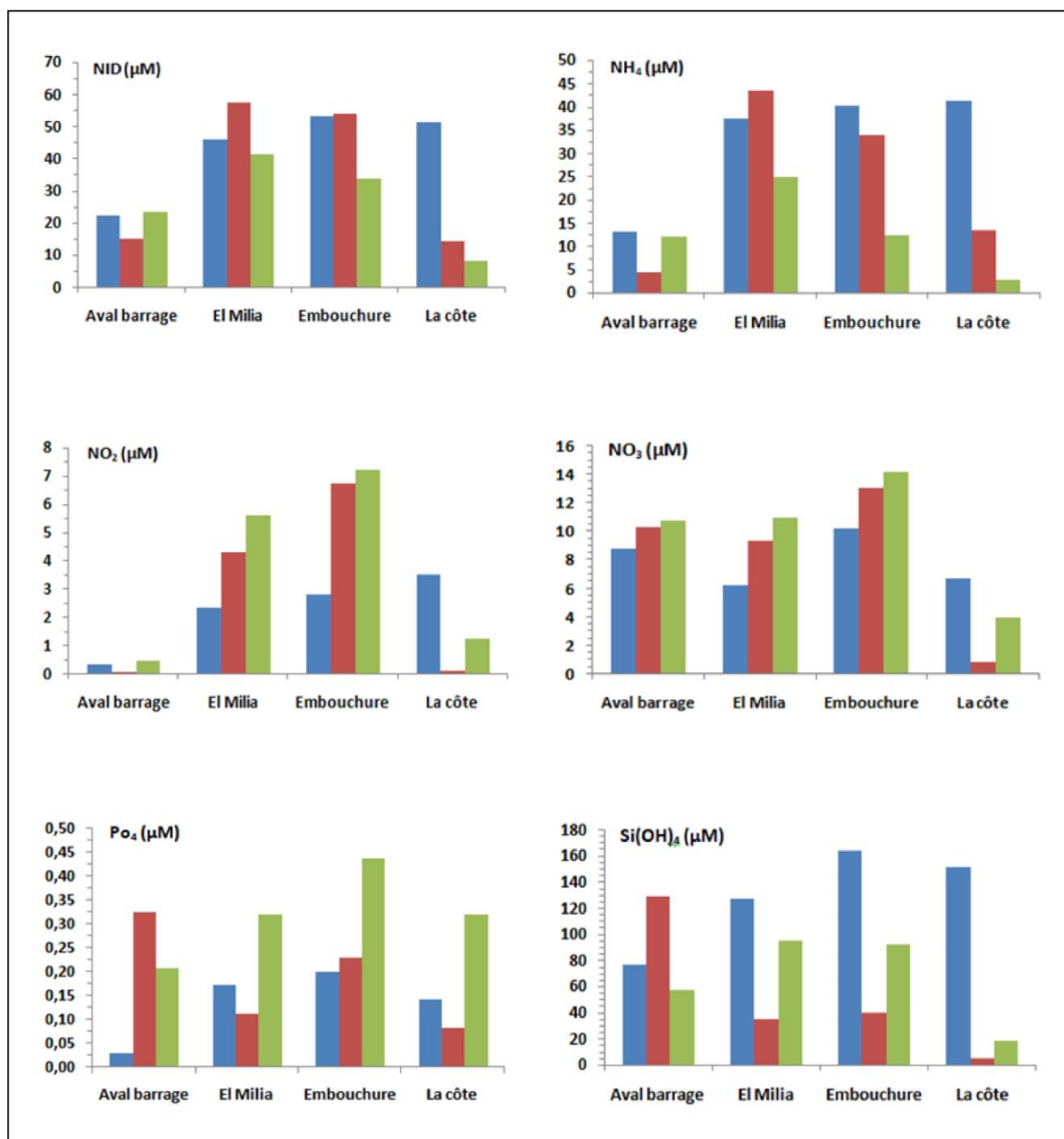


Figure 18: variations des teneurs en nutriments des eaux du bassin d'Oued Kébir-Rhumel au littoral récepteur.

Tableau 5: variations des teneurs en nutriments (μM) dans les eaux du bassin d'Oued Kébir-Rhumel introduite au littoral récepteur.

Site		PO_4	NH_4	NO_2	NO_3	SiO_4	NID	SiO_4/NH_4	$\text{NH}_4 / \text{PO}_4$
Aval barrage	Min	0,03	4,38	0,05	8,84	57,21	14,78		
	Max	0,32	13,11	0,43	10,79	128,85	23,31		
	Moy	0,02	9,86	0,26	10,00	87,55	20,12	8,88	493
El Milia	Min	0,11	24,80	2,30	6,21	34,53	41,32		
	Max	0,32	43,53	5,58	10,94	126,58	57,20		
	Moy	0,20	35,28	4,05	8,85	85,42	48,18	2,42	176,4
Embouchure	Min	0,20	12,27	2,80	10,19	39,48	33,68		
	Max	0,44	40,10	7,22	14,20	163,08	53,77		
	Moy	0,29	28,79	5,58	12,48	98,17	46,85	3,41	99,27
La côte	Min	0,08	2,81	0,07	0,89	4,63	8,00		
	Max	0,32	41,12	3,52	6,74	150,50	51,38		
	Moy	0,18	19,07	1,61	3,86	57,96	24,54	2,94	105,95
$\bar{X}$	Min	0,03	2,81	0,05	0,89	4,63	8,00		
	Max	0,44	43,53	7,22	14,20	163,08	57,20		
	Moy	0,21	22,96	2,91	8,51	85,83	34,88		

3 Paramètres physique des eaux de pluies de la Zone urbaine de Tadjenanet et la zone rurale de Minar Zaraza.

Durant la période humide, dans la zone urbaine (Tadjenanet) le potentiel d'hydrogène (pH) des eaux de pluies change entre (7,47 et 8,33) par contre la zone rurale (Minar zaraza) les valeurs compris entre (6,55 et 7,92). La conductivité électrique (CE) dans la zone urbaine (Tadjenanet) est significativement variable entre (21,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 134,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$) dont la plus forte valeur à été enregistrée dans le mois de février (tableau 6). Egalement dans la zone rurale de Minar zaraza, les valeurs de CE fluctuent (10,73 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 73,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) duquel la valeur maximale à été enregistrée au mois de mars (tableau 7).

En termes du taux des sels dissous (TDS), les eaux de pluies dans la zone urbaine de Tadjenanet contiennent des valeurs en TDS changent entre (11,1 mg/l et 71,3 mg/l) dont la plus forte valeur à été enregistrée dans le mois de février (71,3 mg/l) (tableau 6). Egalement dans la zone rurale de Minar zaraza, les valeurs de TDS fluctuent (5,47 mg/l et 38,2 mg/l) où la valeur maximale en TDS à été enregistrée au mois de mars (38,20 mg/l). L'oxygène dissout (OD) obtenu dans les eaux de pluies au niveau de la zone urbaine Tadjenanet est significativement variable entre (12,8 mg/l et 32,4 mg/l) compare au zone rurale (Minar Zaraza) où les valeurs varient entre (9 mg/l et 31,8 mg/l) (tableau 6-7).

Tableau 6: variations des paramètres physique des eaux de pluie de la région urbaine de Tadjenanet wilaya de Mila.

Zone urbain Tadjenanet	PH	CE	TDS	OD
10 janvier 2022	8,1	76,2	40,6	30
27 février 2022	7,47	26,9	14,3	15,7
28 février 2022	7,47	134,1	71,3	32,4
04 mars 2022	7,97	63,4	35,9	29,9
08 mars 2022	7,96	80,2	45,6	27,2
11 mars 2022	7,86	111,4	58,2	24
17 mars 2022	8,33	62,6	34	20,3
18 mars 2022	8,14	46,4	25,2	17,2
19 mars 2022	7,84	21,7	11,1	12,8

Unité : CE $\mu\text{S}/\text{cm}$; TDS mg/l ; OD mg/l

Tableau 7: variations des paramètres physique des eaux de pluie de la région rurale de Minar zaraza wilaya de Mila.

Zone Rurale Minar zaraza	PH	CE	TDS	OD
06 janvier 2022	6,55	18,94	9,87	13,1
08 janvier 2022	7,71	72,5	37,7	30,3
22 février 2022	7,92	45,8	28,5	21,1
27 février 2022	7,77	10,73	5,47	18
04 mars 2022	7,25	42	35,9	20,9
05 mars 2022	7,80	34,2	19,1	17
08 mars 2022	7,72	26,8	15	12
17 mars 2022	7,62	73,5	38,2	20
18 mars 2022	7,92	36,4	19,3	14,6
19 mars 2022	7,9	17,59	8,86	9

Unité : CE $\mu\text{S}/\text{cm}$; TDS mg/l ; OD mg/l

4 Les nutriments

Au cours de la saison humide (janvier ; février et mars 2022), Les eaux de pluies dans la région urbain de Tadjenanet sont caractérisées par des concentrations très importants en nutriments (NH_4 ; NO_3 ; NO_2 ; NID ; PO_4 et SiO_4) (Fig.19), par apport au zone rurale de Minar zaraza dont les teneurs en nutriments sont plus au moins faibles (Fig.20), se qui montre l'effet de l'urbanisation, les industries et l'agriculture sur l'apport atmosphérique. En termes d'azotes inorganiques dissous (NID), les valeurs moyenne de la zone urbain est de l'ordre de 23,45 μM contre 9,98 μM . au sien de l'azote inorganique dissous les nitrates présente la forme majoritaire dans la zone urbain de Tadjenanet avec une valeur moyenne de 10,03 μM (tableau 8) compare au zone rurale de Minar zaraza dont les concentrations moyenne attient 4,79 μM . également l'ammoniac dans la

région urbaine contient des concentrations plus important par rapport la zone rurale (5,27 μM et 3,98 μM respectivement).

En termes de l'ortho-phosphate (PO_4), durant la saison humide dans la zone urbaine les concentrations du phosphore fluctuent entre (0,05 μM et 1,17 μM) avec une moyenne de l'ordre de 0,50 μM par contre la zone rurale de Minar zaraza montre des valeurs en PO_4 compris entre (0,05 μM et 0,76 μM) avec une moyenne de 0,28 μM (tableau 9).

L'apport atmosphérique en silicates ($\text{Si}(\text{OH})_4$) dans la zone urbaine de Tadjenanet est de 20,81 μM contre 11,61 μM dans la zone rurale de Minar Zaraza.

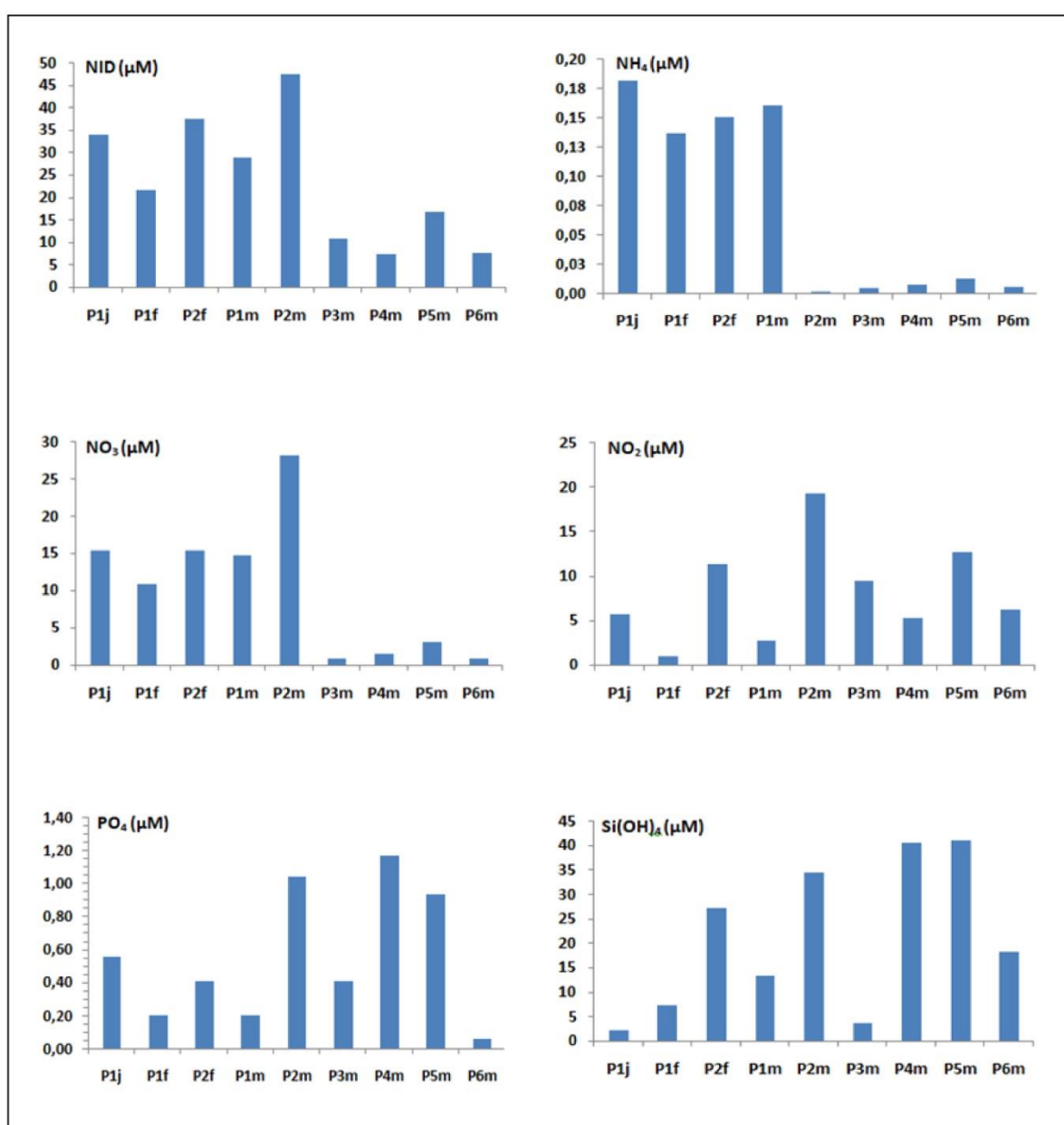


Figure 19: apport atmosphérique en nutriments dans la zone urbaine de Tadjenanet Wilaya de Mila.

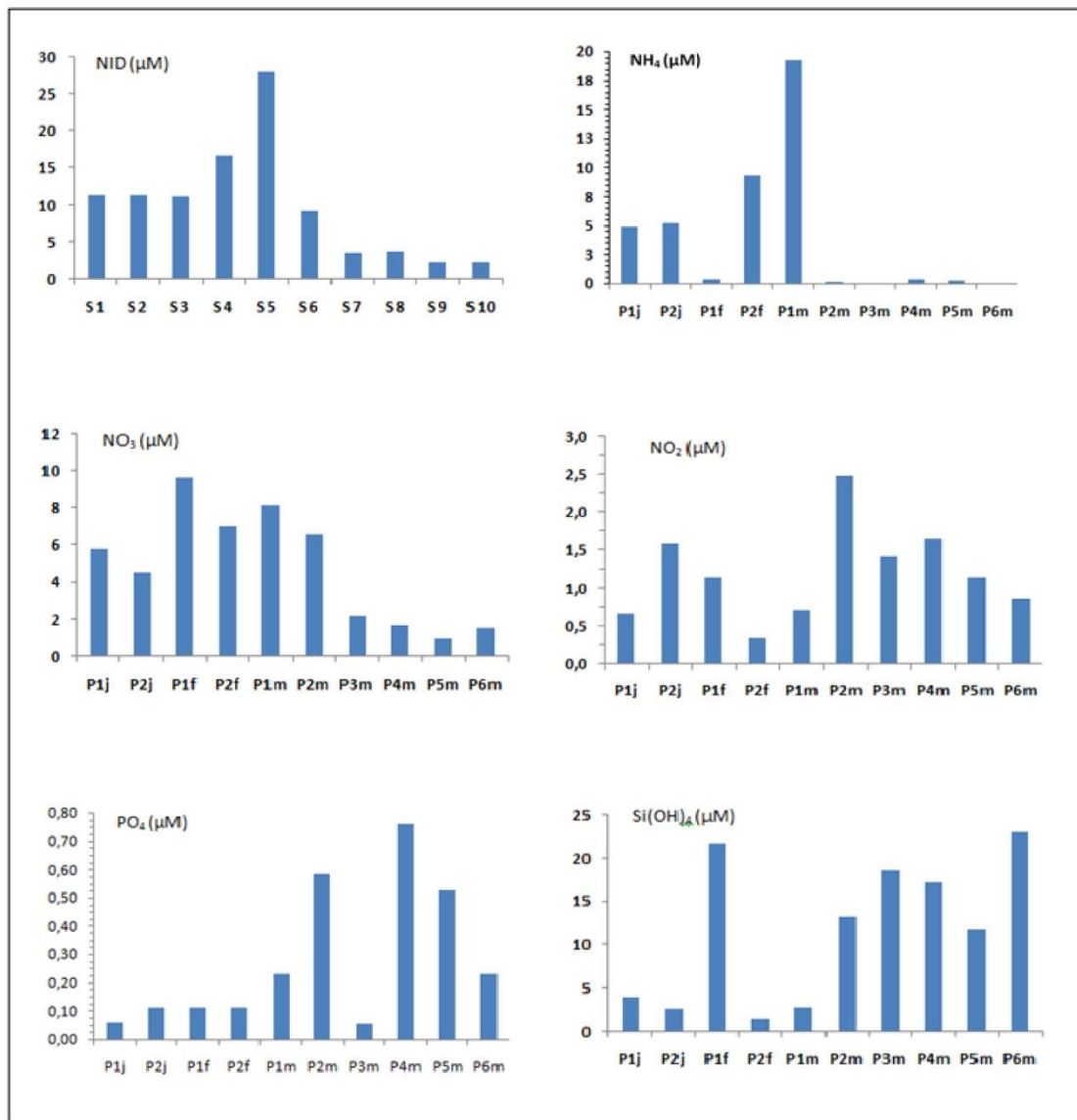


Figure 20: apport atmosphérique en nutriments (μM) dans la zone rurale de Minar zaraza Wilaya de Mila.

Tableau 8: variations des teneurs en nutriments (μM) dans les eaux de pluies de la zone urbaine de Tadjenanet wilaya de Mila.

Zone urbaine de Tadjenanet	PO ₄	Nh ₄	NO ₂	NO ₃	SiO ₄	NID
10 janvier 2022	0,56	12,99	5,68	15,33	2,16	34,00
27 février 2022	0,20	9,79	0,93	10,79	7,31	21,51
28 février 2022	0,41	10,82	11,35	15,25	27,21	37,43
04 mars 2022	0,20	11,48	2,73	14,61	13,29	28,82
08 mars 2022	1,05	0,11	19,17	28,01	34,31	47,29
11 mars 2022	0,41	0,34	9,41	0,89	3,60	10,63
17 mars 2022	1,17	0,58	5,25	1,39	40,51	7,22
18 mars 2022	0,93	0,92	12,64	3,09	40,81	16,65
19 mars 2022	0,05	0,39	6,22	0,89	18,14	7,51
Valeur minimale	0,05	0,11	0,93	0,89	2,16	7,22
Valeur maximale	1,17	12,99	19,17	28,01	40,81	47,29
Valeur moyenne	0,50	5,27	8,15	10,03	20,81	23,45

Tableau 9: variations des teneurs en nutriments (μM) dans les eaux de pluies dans la zone rurale de Minar zaraza wilaya de Mila.

Zone Rurale de Minar zaraza	PO ₄	NH ₄	NO ₂	NO ₃	SiO ₄	NID
06 janvier 2022	0,06	4,86	0,67	5,78	3,91	11,30
08 janvier 2022	0,11	5,22	1,59	4,50	2,47	11,31
22 février 2022	0,11	0,34	1,14	9,67	21,74	11,15
27 février 2022	0,11	9,25	0,36	7,01	1,33	16,62
04 mars 2022	0,23	19,25	0,71	8,17	2,67	28,13
05 mars 2022	0,58	0,16	2,49	6,56	13,19	9,21
08 mars 2022	0,05	0,04	1,43	2,11	18,65	3,58
17 mars 2022	0,76	0,40	1,66	1,64	17,31	3,70
18 mars 2022	0,53	0,28	1,14	0,96	11,74	2,38
19 mars 2022	0,23	0,04	0,86	1,50	23,08	2,40
Valeur minimale	0,05	0,04	0,36	0,96	1,33	2,38
Valeur maximale	0,76	19,25	2,49	9,67	23,08	28,13
Valeur moyenne	0,28	3,98	1,20	4,79	11,61	9,98

5 Flux de l'azote, du phosphore et du silicium au littoral récepteur

L'interaction entre le continent et la mer se traduit principalement par les flux en nutriment et l'eau. Les activités de l'homme modifiée sensiblement les quantités et les qualités des nutriments et des eaux déchargé a la mer par la rétention de l'eau dans les barrages, la diminution des débits des rivières et l'utilisation non contrôlé des produits chimiques dans le domaine agricole. Comme le montre dans le (tableau 10), les flux de phosphore (PO₄) au cours de la période d'étude modifient entre (0.18 t/j et 0.53 t/j) avec une somme de 0.90 t/j. la NID déversé à la côte est compris entre (18.40 t/j et 21.20 t/j) avec une somme 58.98 t/j. Au sien de l'azote inorganique dissous, La mer

reçois des quantités en ammonium (NH_4) compris entre (6,7 t/j et 16 t/j), la plus faible décharge s'enregistré dans le mois de mars (6.7 t/j) (tableau 10). Les nitrates présente un flux à la mer changeant entre (4.06 t/j et 7.75 t/j) avec un flux total peu attient 16.52 t/j, également les décharges en nitrites (NO_2) fluctuent entre (0.08 t/j et 3.9 t/j) avec une somme de 5.14 t/j. La variation des flux en silicium ($\text{Si}(\text{OH})_4$) dans les eaux des rivières et à la mer se traduit principalement par l'altération des roches et les terrains traverses. A l'embouchure les flux en silicium au zone littoral varient entre (13.01 t/j et 100.43 t/j) avec une décharge total de l'ordre de 259.10 t/j.

Tableau 10: flux de l'azote, du phosphore et du silicium (tonne/j) au littoral récepteur.

Flux	PO_4	NH_4	NO_2	NO_3	SiO_4	NID
26 janvier 2022	0.18	16	1.2	4.06	13.01	21.20
26 février 2022	0.18	12.3	0.08	4.70	28.47	19.40
26 mars 2022	0.53	6.7	3.9	7.75	100.43	18.40
Somme	0.90	35	5.14	16.52	259.10	58.98

CONCLUSION

Ce travail vise principalement à estimer le transfert et la géochimie de N, P et Si des eaux du bassin versant Kebir-Rhumel au littoral récepteur et de déterminer l'effet de l'homme sur les transformations biogéochimiques de ces éléments nutritifs depuis l'aval du barrage jusqu'à l'embouchure.

Le bassin versant de Kebir-Rhumel est situé au Nord Est de Algérie (bassin N10) dans le plan national de bassin hydrographique, il draine une surface de 8111km². Il est caractérisé par un climat méditerranéen à forte variabilité spatiale et surtout temporelle.

Les essentielles caractéristiques des eaux étudiées se traduisent par des teneurs faibles en nutriments à l'aval du barrage de Béni-Haroun par suite de l'effet du barrage (rétention), contrairement, après El Milia jusqu'à l'embouchure les résultats obtenus montrent des teneurs élevées en nutriments. Dans le continuum aquatique du système rivière, à partir de l'aval du barrage vers l'embouchure, tous les éléments nutritifs minéraux subissent d'importantes transformations biogéochimiques.

À la sortie du barrage, les teneurs se réduisent sensiblement mais se rechargent de nouveau lors de leur transit vers la mer, depuis l'aval du barrage, par suite d'apports anthropiques.

En aval du barrage, les teneurs en SiO₄ ne sont que d'ordre de 57-128 µM, mais se augmentent quelque peu de nouveau lorsqu'ils aboutissent à l'embouchure par suite d'apports supplémentaires des ruisseaux dans le bas de bassin dont les teneurs comprises entre 39-163 µM.

À l'embouchure et à la station d'El Milia, l'augmentation du NID, NH₄, NO₃ et PO₄ peut être principalement liée aux activités agricoles intensives s'étendant dans le vaste bassin maritime de la rivière.

En raison de la forte rétention dans le barrage, les flux des nutriments à l'embouchure sont considérés comme faibles dans le bassin versant étudié, dont les flux de l'azote inorganique (NID) variant entre 18,40 t/j à 21,20 t/j, l'ammonium (NH₄) compris entre 6,7 t/j à 16 t/j, les phosphates (PO₄) fluctuent entre 0,18 t/j à 0,53 t/j.

On remarque également une augmentation dans les valeurs du SiO₄ dans les eaux de pluies de la zone urbaine Tadjenanet qui s'explique principalement par les activités industrielles intensives. Contrairement, dans la zone rurale Minar zaraza, on remarque des faibles teneurs en nutriments (NH₄; NO₃; NO₂; NID; PO₄ et SiO₄).

On considère que le bassin Kebir-Rumel est fortement anthropisé à plusieurs titres : fortes teneurs en NH_4 , PO_4 , réduction des teneurs en SiO_4 , déséquilibre des rapports Si/N/P, faibles débits à l'aval du barrage et faibles apports en nutriments à la mer.

Références bibliographiques

A

- Agence du bassin hydrographique Constantinois- Seybousse- Mellegue, (1999). Cahiers de l'A.B.H.- C.S.M. n°02, 33p.
- Agence de Bassins hydrographiques Constantinois- Seybousse- Mellegue, (ABH), (2002). Cahiers de l'agence N°7, 32p.
- Agence du bassin hydrographique Constantinois- Seybousse- Mellegue, (2004). Cahiers de l'A.B.H.- C.S.M. n°08, 44p.
- Alain, M., 2006. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres . 2^{ème} édition 11, rue Lavoisier, Paris.
- Aminot, A., Chaussied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin., 395p.
- Ammimer, S., 2015. Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes du Barrage de Boukerdane et des eaux traitées au niveau de la station de traitement des eaux potables de Sidi Amer, Université blida -1-
- ANBT., 2014. Données sur des Ressources en Eau (Algérie), pdf, p2.
- Annie, C., Fronçoise, P., 2001. Le préparateur en pharmacie, dossier 4 : Microbiologie Immunologie, Broché– décembre 2000.
- A.N.R.H., 1993. Agence Nationale des Ressources Hydriques. Annuaire pluviométriques.
- Asano, T., 1998. Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, 1475p
- Ayad, W., 2016. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-harrouch (wilaya de Skikda), mémoire de doctorat, université Badji Mokhtar, ANNABA, Algérie.

B

- Baker, DE., Senft, JP., 1995. Copper. In: Heavy metals in soils (Alloway Ed), 2nd Edition, Blackie academic & professional, 368 pp
- Barber, S., A., 1995. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. John Wiley & Sons.
- Baumont, S., Camard, J-P., Lefranc, A., Franconie, A., 2004. Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.

- Bawa, ML., Djaneye-Boundjou, G., Boukari, Y., 2005. Caractérisation de deux effluents industriels au Togo : étude d'impact sur l'environnement. *Afr. Sci.*, 02: 57 – 68.
- Baziz, N., 2007. Etude sur la qualité de l'eau potable et risque potentiels sur la santé cas de ville de Batna, mémoire de magistère, université Colonel Elhadj Lakhdar Batna, Algérie.
- Barkat, K., 2016. Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du barrage Beni Haroun, mémoire de master, université des frères Mentouri Constantine, 1,12-13p.
- Benchabane, N., 2015. Relation barrage -nappes. Étude de cas : barrage Beni -Haroun, wilaya de Mila, Mémoire de magister, Université des frères Mentouri Constantine1, 17-19, 29, 31, 34-36 p.
- Belhadj, H., 2014. Thèse de doctorat détection de la pollution atmosphérique à l'aide du lichen xanthoria parietina (l.) bio-accumulateur d'éléments traces métalliques dans le centre urbain de la ville de sidi bel abbes (algérie occidentale)
- Boulaine, MJ., 1957. Etude des sols des plaines de Chélif. Thèse de Doctorat. Université d'Alger,, 230 p.
- Boulion, V.V., 1997. General characterization of some lakes in southern Karelia differing in the acidity and humic state. The response of lake ecosystems to changes in biotic and abiotic conditions, (Edited by Alimov, A.F., Boulion, V.V.), Proceedings of the Zoological Institute, St. Petersburg, 272: 5-28.
- Bouchareb, N., 2013. Transferts Et Géochimie De L'azote, Du Phosphore Et Du Silicium Des Bassins Des Oueds Kebir-Rhumel, Kebir Ouest Et Saf-Saf Au Littoral. Thèse de doctorat : Environnement littoral. Université Badji Mokhtar-Annaba.
- Bougherira, N., Hani, A., Toumi, F., 2017. Impact des rejets urbains et industriels sur la qualité des eaux de la plaine de la Meboudja (Algérie). *Hydrological Sciences Journal*.62:1290–1300.
- Brémond, R., Vuichard, R., 1973. Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française, Paris, France, 173p.
- Brouillette, D., 2013. Coûts associés à l'analyse d'un échantillon.courrier électronique à denis Brouillette, conseiller scientifique au MDDEFP, adresse destinataire : Denis.brouillette mddefp.gouv.qc.ca

C

- Castany, G., 1982. Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition Dunod.

- Carluer, N., Gouy, V., Gril, JJ., 1996. Contamination des eaux par les produits phytosanitaires: apports de la modélisation. Ingénieries-EAT, n°6, 3- 15.
- Cetois, A., Quesnoit, M., Hinsinger, P., 2003. Soil copper mobility and bioavailability – A review, 110 p.
- Cheval, A., 1982. Ladésinfection des eaux de consommation étude technique de synthèse, technique de documentation. Paris
- Chifflet, S., Gerard, P., Fichez, R., 2004. Manuel d'analyses chimiques dans l'eau de mer. Biologie marine .Laboratoire de Chimie Marine, Institut de recherche pour le développement (IRD), Nouméa, Calédonie, 83p.
- Chaboun, F., 2007. Evaluation de la pollution atmosphérique par les métaux lourds en milieu urbain : cas de Bab El oued. Mémoire Ingénieur d'état, université de Boumerdes,
- Chahlaoui, B., El moustaine, Belghiti., 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe Plio-Quaternaire dans la région de Mekenèse (Maroc). Larhyss Journal, 14, 21-36.
- Citeau, I., 2008. Transfert eaux-sols-plantes de micropolluants : état des connaissances et application aux eaux de ruissellement urbaines. Rapport pour l'Agence de l'Eau Seine Normandie, INRA Ed., 103 p.
- Conservation des forêts de Mila., 2018.
- Cshapf., 1995. Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines, 22p.

D

- De Struyf, E., Conley, DJ., 2009. Silicat : an essential nutrient in wetland biogeochemistry. Front Ecol Environ 7 :88-94
- De Villers, J., Squilbin, M., Yourassowsky, C., 2005. Qualité Physico-Chimique Et Chimique Des Eaux De Surface. Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement.
- Debbih, H., Naili, B., 2015. Etude de qualité des eaux des barrages de l'Est Algérien, Mémoire de master en hydraulique, pdf, p18

DGAC., 2013. Direction générale d'Aviation Civile (France). Pollution atmosphérique et aviation. Rapport réseau environnement.

Diab, W., 2016. Etude des propriétés physico-chimiques et colloïdales du bassin de la rivière Litani, Liban. Thèse de Doctorat. Université de Lorraine (France), 214 p.

Droy., leroy., 2000. Toxicologie chimique, ED INFOTOX, Strasbourg.

Dubey, B.L., et Dwividi, P., 1988. Projective value of somatic Inkb lot – séries II in casestammering. Journal of personality and clinical studies. 8, 173-176.

Dutordoir, S., 2014. Bilan des flux de métaux, carbone organique et nutriments contenus dans une rivière alpine: part des rejets urbains de l'agglomération de Grenoble et apport amont (Isère et Drac). Thèse de Doctorat. Université de Grenoble (France), 383 p.

E

EAA (Eau et Assainissement pour l'Afrique)., 2012. Eau Hygiène et Assainissement pour l'Afrique. Pollution et éducation sanitaire et environnementale. Stage de recyclage intensif, p. 24

Eijsackers, H., 1983. Soil fauna and soil microflora as possible indicators of soil pollution. Environmental Monitoring and Assessment. 3, 307-316.

Encyclopedia., 1995. Industrial chemistry, Water in Ull man's, Wiley-VCH Verlags, vol.8. épuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 2 : 81-118.

F

Faby, J.A., Brissaud, F., 1997. L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office

Filmed., 2010. Forum Interrégional des Lagunes Méditerranéennes. Journal Pôle relais lagunes méditerranéennes, p 8.

Froelich, P.N., Bender, M.L., Luedtke, N.A., Heath, G.R., Devries, T., 1982. The marine phosphorus cycle. Am. J. Sci., 282: 474-511.

G

Gamrasni, M., 1986. Le goût de l'eau : étude de synthèse. Association française pour l'étude des eaux, 60p.

Gaujous, D., 1995. La pollution des milieux aquatique « aide mémoire ». 2^{ème} Ed, Edition : Technique & Documentation, Lavoisier. Paris, 271 p.

Galaf, F, S., Ghanna, M., 2003. Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site Web sur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur d'état. Université.

Ghanimi, R., 2014. Analyse agro-physiologique de la réaction de la symbiose fève rhizobia sous déficit en phosphore. (Marrakech).

Gisèle, B., 2007. Pollution des eaux des rivières et impact sur les populations riveraines. Université de Dschang, fasa, en gestion de l'eau. 6-117 p

Griffiths, H., 2003. Effets de la pollution atmosphérique sur les cultures agricoles. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales. Antario (Canada).

H

Håkanson, L., 2006. A dynamic model for suspended particulate matter (SPM) in rivers. Global. Ecol. Biogeogr., 15: 93-107.

Haboul, A., Touati, A., 2019. Contribution à l'évaluation de la potabilité des eaux dans quelques régions de la wilaya de Bouira, Mémoire de master, Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira

Henri, L., 2012. L'eau Potable, Édition réimprimée, 190 p.

Hébert, Légaré., 2000. Suivi de la qualité de l'eau des rivières et des petits cours d'eau, par le Ministère de l'environnement et le Gouvernement du Québec.

K

Keck, G., Vernus, E., 2000. Déchets et risques pour la santé, Techniques de l'Ingénieur, Paris, 2450p.

Khettab, A., 2001. Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision. Desalination 136 (2001) 25-33

Kudri, N., belalia, Z., 2006. Etude et traitement de l'eau du Barrage Djorf-eltor de la wilaya Bechar par filtration sur sables. Mémoire de Magister en Eau et environnement. Université Hassiba Benbouaali de chlef.

L

- Lacour, S., 2001. Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique CEREAs « court de pollution atmosphérique inventaire d'émissions »
- Lemzadmi, C., 2017. Perte de capacité de stockage en eau dans quelques barrages de l'est Algérien, Mémoire de Master, l'Université 8 Mai 1945 de Guelma, 11 p.
- Leyral, G., Ronnefoy, C., Guillet, F., 2002. Microbiologie et qualité des industries agroalimentaire, Paris, 245p.

M

- Madoui, F., Sahraoui, M., 2011. Etude de l'impact des caractères physico-chimiques sur la communauté algale des cours d'eaux de la région d'oued Athmenia. pp 11.
- Maine, M., Hammerly, J., Leguizamo, M.S., & Pizarro, M., 1992. Influence of the pH and redox potential on phosphate activity in the Parana Medio system. *Hydrobiologia*, 228: 83-90.
- Mayet, J., 1994. La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, le Moniteur 2^{ème} Edition, p382, Paris.
- Machensi, A., 2000. L'essentiel en écologie. ED BERTI.PI27.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Parker, I., 2002. Brock biology of microorganisms. Pearson Education. NJ, USA.
- Mazoyer, M., 2002. Larousse agricole. Montréal (Québec). Larousse. 767 p.
- Martin, R-R., Naftel, S-J., Macfie, S-M., Jones, K-W., Feng, H., Trembley, C., 2006. High variability of the metal content of tree growth rings as measured by synchrotron micro x-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrometry*, 35, 57-62
- Maurel, A., 2006. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. 2^{ème} édition. Paris : TEC & DOC. 286 p
- Marouf, N., 2012. Etude de la Qualité des Eaux et de Transport Solide dans le Barrage de Beni-Haroun (Mila), Son Impact sur l'Environnement de la Région .Thèse de Doctorat .Université Mohamed Khider – Biskra, 61p
- Mansour, Y., Djaballah, S., 2016. Analyse microbiologique de l'eau distribuée dans la ville de Tébessa, mémoire de master, Université Larbi Tébessi, Tébessa, Algérie
- Manuel, de bergey., 1984. Systematique bactériologie ; 9th edition.P533.

- Meridga, S., 2002. Villes nouvelles -Ali Mendjli- Constantine, production urbaine nouvelle, thèse de magistère Université de Constantine, p.32.
- Meybeck, M., 1982. Carbon, nitrogen, phosphorus transport by world rivers. Am. J. Sci., 282: 401-450
- Mebarki, A., 1982. Le bassin de Khébir-Rhumel (Algérie). Hydrologie de surface et ressources en eau. Thèse de 3^e cycle, Université de Nancy II. Travaux du Laboratoire de Géographie Physique, t. II, 304 p., 44 fig., 10 cartes h.-t.
- Metiche, M., 2004. Modelling of variation with time of flow of membrane desalination permeators: B10 and B9cases
- Mebarki, A., 2005. Hydrologie des bassins de l'Est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement , Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Constantine 1, p. 360.
- Mebarki, K., Smahi, A., 2006. Analyses physico-chimiques et appréciation des eaux de l'Oued Agrioun. Mémoire de fin d'étude, Université de Bejaia, 56p.
- Mebarki, A., 2009. Ressource en eau et Aménagement en Algérie : les bassins hydrographiques de l'Est, Office des Publications Universitaires (OPU), Alger, 389p
- Merabet, S., 2010. Evaluation de la qualité physicochimique des eaux brutes et distribuées du barrage réservoir de Beni Haroun. Mémoire de magister en chimie analytique. Université Mentouri de Constantine. P 4, 5,9.
- Mekaooussi, N., 2014. Comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface de Hammam Debagh (est Algérien). Mémoire de Magister, Université de Batna (Algérie) ,126 p.
- Miquel, G., 2001. Rapport sur les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Assemblée Nationale Française, Paris, 2979, 366.
- Monaghan, E.J., Ruttenberg, K.C., 1999. Dissolved organic phosphorus in the coastal ocean: Reassessment of available methods and seasonal phosphorus profiles from the el River Shelf. Limnol. Oceanogr., 44(7): 1702-1714.
- Mohammed, M., 2009. Experience marocaine en matière de lutte contre la pollution atmosphérique, Atelier sous-régional sur la qualité de l'air en Afrique du Nord Tunis du 23 au 25 novembre 2009.

N'diaye, A., 2008. Etude bactériologique des eaux de boissons vendues en sachet dans quatre communes d'abidjan, thèse doctorat en pharmacie, université de Bamako, Mali.

O

OMS., 1989. Fiche technique : utilisation des eaux usées en agriculture :recommandations à visés sanitaires ; rapport technique n°778-OMS Genève.

OMS., 2008. Rapport de l'OMS sur l'épidémie mondiale de tabagisme, 2008 : le programme MPOWER

OMS., 2018. Choléra, Normes de surveillance des maladies évitables par la vaccination

P

Pierre, M., 2000. Pollution Atmosphérique : Causes, conséquences et solutions. Ed. Ellipses, Paris, 213p.

Preston, S.D., Bierman, J.R.V.J., Silliman, S.E., 1989. An evaluation of methods for the estimation of tributary mass loads. Water Resour. Res., 25(6): 1379-1389.

R

Ramade, F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Paris: Dunod, 1075 p.

Ramade, f., 2003. Elément d'écologie. Ecologie fondamentale. Edition Dunod. 3^{ème} édition, p 704.

Redfield, A.C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment. American Scientist, 46: 205-222

Remini, B., 2002. Contribution à l'étude des fuites dans les barrages Algériens, 1^{ères} journées pluridisciplinaires sur les sciences de l'ingénieur "JPSI'1 2002", Université Hassiba ben Bouali Chlef, 15-17 Décembre.

Rodier, J., 1984. L'analyse de l'eau. Dunod, Paris, France, 1365p.

Rodier, J., 2005. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Résiduaire. Eau de mer. 8^{ème}édition.Dunod. Paris, 1383p.

Rodier, J., 2009. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 9eme édition, Dunod, Paris, France, 1600p.

S

Sadoune, A., Derradji, F., 2013. Vulnérabilité et gestion des ressources des ressources en eau dans la région d'Annaba et El taraf

Sharpley, R., and Telfer, D., 2003. Tourism and Development: Concepts and Issues. Clevedon: Channel View

Shiklomanov, I.A, Rodda, J.C., 2003. World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. Cambridge: Cambridge University Press.

Sigg, L., Behra, P., Stumm, W., 2014. Chimie des milieux aquatiques. Illustration de couverture : canal du MIDI © PHILIPPE BEHRA. 5ème édition.Paris, p 30

Stengel, P., Gelin, S., 1998. Sol interface fragile Ed. INRA- Paris. 213p.

Subra, P., 2001. Le transport routier en France : aspects géopolitiques d'une question environnementale.*Hérodote*, vol. 100, p. 151-179.

T

Tessier, L., 2003. Transport et caractérisation des matières en suspension dans le bassin versant de la Seine: identification de signatures naturelles et anthropiques. Thèse de Doctorat. Ecole des Ponts Paris Tech (France), 349 p.

Thomas, O., 1995. Métrologie des eaux résiduaires. Edition CEBEDOC sprl, pp53-56.

Tiller, KG., Merry, RH., 1981. Copper pollution of agricultural soils. In: Copper in soils and plants Eds Loneragan JF, Robson AD and Graham RD, Academic Press, pp. 25–45

V

Voegborio, RB., Matsuyama, A., Adimado, AA., Akagi, H., 2011. Determination of methylmercury in marine and freshwater fish in Ghana using a combined technique

of dithizone extraction and gas-liquid chromatography with electron capture detection. *Food Chem.*, 124: 1244- 1248.

Viland, M., Montiel, A., Duchemin, J., Lariviere, M., Zarrabi, P., Graphisme, C., 2001. Eau et Santé Guide pratique pour les intervenants en milieu rural africain (ISBN: 2·B6B441).

Viala, A., 1998. Eléments de toxicologie. Ed. Médicales Internationales. Lavoisier-Paris. 521p.

Viland, M., Montiel, A., Duchemin, J., Lariviere, M., Zarrabi, P., Graphisme, C., 2001. Eau et Santé Guide pratique pour les intervenants en milieu rural africain (ISBN: 2·B6B44 1).

W

Wetzel, R.G., 2001. Lake and River Ecosystems, 3rd Editioin , Academic Press ,san Diego. 1006 p

Webographie

[1]: http://cerea.enpc.fr/fich/doc_ENPC_transport.pdf

[2]:<https://artsandculture.google.com/entity/g1232j051?hl=fr>

[3]: <https://mapcarta.com/17313288>

[4]: https://dz.geoview.info/oued_redjas,170043347w