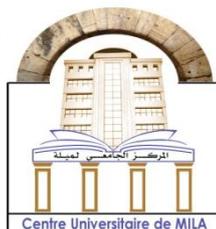


N° Ref : .....



## Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila

Institut des Sciences et de la Technologie

Département Sciences de la Nature et de la Vie

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Protection des écosystèmes

### Thème :

**Analyses physico-chimiques des eaux d'Oued  
Kebir-Rhumel introduite au littoral récepteur**

Présenté par :

**Nebti Fatima**

**Laib Fawzi**

Devant le jury composé de :

Président : Bouzegag Abdelaziz.

MCB

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila

Examineur : Brahmia Hafid

MCB

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila

Encadrant : Bouchareb Nouredine

MCB

Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf-Mila

Année Universitaire: 2017/2018

# REMERCIEMENT

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

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

*Tout d'abord, nous remercions notre encadrant Mr. **Noureddine Bouchareb** Qui a accepté de nous encadrer,*

*Nous remercions par ailleurs vivement les examinateurs:*

***Bouzegag Abdelaziz.***

***Brahmia hafid.***

*Nous remercions également, tous les enseignants, qui nous ont donné les bases de la science,*

*Tous les travailleurs aux laboratoire de la Faculté des Sciences de la nature et la vie (Université Badji Mokhtar-Annaba)*

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

*Laib Fawzi .*

*Nebti Fatima.*

# *Dédicace*

*Avant tout, je remercie le bon dieu tout puissant qui m'a donné  
la force et de m'avoir  
permis d'arriver à ce niveau.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mon père et à ma mère.*

*A ma belle-mère Saïda.*

*A le plus cher que j'ai : mon mari Guermache  
Tarek et ma petite fille liliane.*

*A mes frères et leurs enfants.*

*A mes soeurs et leurs enfants.*

*A mon collègue Laïb Fawzi et sa famille*

*A mon encadrant Bouchareb Noureddine*

*A tout les professeurs qui nous ont enseigné*

*A tout les étudiants de la promotion*

*A tous mes chères amies sans exception*

*A toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur  
contribution à ce travail. Je leur exprime ici toute ma reconnaissance  
et ma gratitude*

*Nebti Fatima.*

# *Dédicace*

*Avant tout, je remercie le bon dieu tout puissant qui m'a donné*

*la force et de m'avoir  
permis d'arriver à ce niveau*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A la mémoire de mon très cher père*

*A ma très chère mère*

*A mes sœurs et leurs enfants*

*A toute ma famille*

*A mon encadrant Boucherbe Noureddine*

*A ma collègue Nebti Fatima et sa famille*

*A toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur  
contribution à ce travail. Je leur exprime ici toute ma reconnaissance  
et ma gratitude*

*Laib Fawzi*

<b>Liste des figures</b>		
<b>Liste des tableaux</b>		
<b>Liste d'abréviation</b>		
<b>Introduction générale</b>		
<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique.</b>		
<b>I</b>	Pollution des eaux	<b>01</b>
<b>I.1</b>	Généralités	<b>01</b>
<b>I.2</b>	Type de pollution (classification selon la répartition géographique)	<b>01</b>
<b>I.2.1</b>	Pollution ponctuelle	<b>01</b>
<b>I.2.2</b>	Pollution diffuse	<b>01</b>
<b>I.3</b>	Source de pollution	<b>02</b>
<b>I.3.1</b>	Pollution naturelle	<b>02</b>
<b>I.3.2</b>	Pollution atmosphérique	<b>02</b>
<b>I.3.3</b>	Pollution urbaine	<b>02</b>
<b>I.3.4</b>	Pollution industrielle	<b>03</b>
<b>I.3.5</b>	Pollution agricole	<b>03</b>
<b>I.4</b>	Principaux polluants des eaux	<b>03</b>
<b>I.4.1</b>	Pollution selon le type de polluant	<b>03</b>
<b>I.4.2</b>	Pollution physique	<b>03</b>
<b>I.4.3</b>	Pollution chimique	<b>04</b>
<b>I.4.4</b>	Pollution biologique	<b>04</b>
<b>I.5</b>	Principaux polluants	<b>04</b>
<b>I.5.1</b>	Matières en suspensions	<b>04</b>
<b>I.5.2</b>	Sels minéraux	<b>05</b>
<b>I.5.3</b>	Matières organiques	<b>05</b>
<b>I.5.4</b>	Métaux lourds	<b>05</b>
<b>I.5.5</b>	Pesticides	<b>05</b>
<b>I.5.6</b>	Matières fertilisantes	<b>05</b>
<b>II.</b>	Principaux paramètres de la qualité physico-chimique de l'eau	<b>06</b>
<b>II.1</b>	La Température	<b>06</b>
<b>II.2</b>	Potentiel Hydrogène (pH)	<b>07</b>
<b>II.3</b>	Conductivité électrique	<b>07</b>
<b>II.4</b>	Les matières en suspension	<b>07</b>
<b>II.5</b>	Les Résidus Secs	<b>07</b>
<b>II.6</b>	L'Oxygène dissous	<b>07</b>
<b>II.7</b>	Les formes azotées	<b>08</b>
<b>II.7.1</b>	L'ammonium (NH <sub>4</sub> )	<b>08</b>
<b>II.7.2</b>	Les Nitrites NO <sub>2</sub>	<b>09</b>
<b>II.7.3</b>	Les Nitrates NO <sub>3</sub>	<b>09</b>

<b>II.7.4</b>	Les Phosphates (PO <sub>4</sub> )	<b>09</b>
<b>III</b>	Les cycles abrégés de l'azote, phosphore et du silicium	<b>09</b>
<b>III.1</b>	L'azote	<b>09</b>
<b>III.1.1</b>	Evolution des puits et source d'azote de l'époque préindustrielle à nos jours	<b>09</b>
<b>III.1.2</b>	Cycle biogéochimique d'azote	<b>10</b>
<b>III.2</b>	Le phosphore	<b>11</b>
<b>IV</b>	Rôles biogéochimiques des matières minérales et organiques	<b>13</b>
<b>IV.1</b>	L'eau et les rivières	<b>13</b>
<b>IV.2</b>	Matières en suspension	<b>14</b>
<b>IV.3</b>	Substances dissoutes solides (TDS)	<b>15</b>
<b>IV.4</b>	Les nutriments	<b>15</b>
<b>IV.4.1</b>	L'azote	<b>15</b>
<b>IV.4.2</b>	Le phosphore	<b>16</b>
<b>IV.4.3</b>	Le silicium	<b>17</b>
<b>V</b>	Impacts d'activités anthropiques dans les bassins versants	<b>17</b>
<b>Chapitre II : Matériel et Méthodes</b>		
<b>I.</b>	Présentation de bassin du Kebir-Rhumel	<b>20</b>
<b>I.1</b>	Climatologie	<b>22</b>
<b>I.1.1</b>	La pluviométrie	<b>22</b>
<b>I.1.2</b>	La température	<b>23</b>
<b>I.1.3</b>	Les vents	<b>23</b>
<b>II</b>	Echantillonnage	<b>23</b>
<b>III</b>	Méthodes d'analyses chimiques	<b>23</b>
<b>Chapitre III : Résultats et discussion</b>		
<b>I.</b>	Distribution de N, P et Si en aval, après El Milia et à l'embouchure d'Oued Kebir-Rhumel	<b>30</b>
<b>I.1</b>	Distribution de phosphore (PO <sub>4</sub> )	<b>30</b>
<b>I.2</b>	Distribution de Silicium (SiO <sub>4</sub> )	<b>31</b>
<b>I.3</b>	Distribution des formes azotées (NH <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , NID, NOD)	<b>32</b>
<b>I.3.1</b>	Distribution des Nitrites (NO <sub>2</sub> )	<b>32</b>
<b>I.3.2</b>	Distribution des Nitrates (NO <sub>3</sub> )	<b>33</b>
<b>I.3.3</b>	Distribution de l'ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	<b>34</b>
<b>I.3.4</b>	Distribution de l'azote organique dissous (NOD)	<b>35</b>
<b>I.3.5</b>	Distribution de l'azote inorganique dissous (NID)	<b>36</b>
<b>II</b>	Flux des nutriments à l'embouchure d'Oued Kebir-Rhumel	<b>37</b>
<b>III</b>	Evaluation des bilans en eau, matière en suspension (MES) et le taux des sels dissous (TDS) à l'embouchure d'oued Kebir –Rhumel	<b>38</b>
<b>Conclusion</b>		



N° de Figure	Légende	N° de page
<b>Figure 01</b>	Réservoir d'azote	<b>10</b>
<b>Figure 02</b>	Processus majeurs du cycle de l'azote au sein de l'écosystème	<b>11</b>
<b>Figure 03</b>	Le cycle du phosphore	<b>12</b>
<b>Figure 04</b>	Schéma des impacts d'activités anthropiques dans les bassins versants	<b>18</b>
<b>Figure 05</b>	Carte du Bassin versant Kebir- Rhumel présentant le positionnement des stations échantillonnées au cours de La période d'étude	<b>20</b>
<b>Figure 06</b>	Carte géographique du barrage Beni-Haroun	<b>22</b>
<b>Figure 07</b>	Variations mensuelles des teneurs en $\text{PO}_4$ au cours de la période d'étude	<b>30</b>
<b>Figure 08</b>	Variations mensuelles des teneurs en $\text{SiO}_4$ au cours de la période d'étude	<b>31</b>
<b>Figure 09</b>	Variations mensuelles des teneurs en $\text{NO}_2$ au cours de la période d'étude	<b>32</b>
<b>Figure 10</b>	Variations mensuelles des teneurs en $\text{NO}_3$ au cours de la période d'étude	<b>33</b>
<b>Figure 11</b>	Variations mensuelles des teneurs en $\text{NH}_4^+$ au cours de la période d'étude	<b>34</b>
<b>Figure 12</b>	Variations mensuelles des teneurs en <b>NOD</b> au cours de la période d'étude	<b>35</b>
<b>Figure 13</b>	Variations mensuelles des teneurs en <b>NID</b> au cours de la période d'étude	<b>36</b>

N°de tableau	Légende	N°de page
<b>Tableau 01</b>	Positionnement des stations étudiées novembre 2017- mars 2018	<b>23</b>
<b>Tableau 02</b>	Résumé des méthodes d'analyse des éléments chimiques	<b>24</b>
<b>Tableau 03</b>	Flux (kg/j) des nutriments à l'embouchure d'Oued Kebir-Rhumel au cours de la période novembre 2017-mars 2018	<b>37</b>
<b>Tableau 04</b>	Bilans en eau, MES et TDS au cours du période d'étude novembre 2017-mars 2018	<b>38</b>

<b>ABH</b>	Agence des Bassins hydrographiques
<b>ADN</b>	Acide Désoxyribonucléique
<b>Al</b>	Aluminium
<b>ANB</b>	Agence National des Bassins
<b>ARN</b>	Acide Ribonucléique
<b>ATP</b>	Adénosine-Triphosphate
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	Calcium
<b>Cd</b>	Cadmium
<b>CE</b>	Conductivité Electrique
<b>Cl<sup>-</sup></b>	Chlore
<b>Cr</b>	Chrome
<b>Cu</b>	Cuivre
<b>ITP</b>	Institut technique de parc
<b>DBO5</b>	Demande Biologique en Oxygène en 5 jours
<b>DDT</b>	Dichloro Diphényl Trichloroéthane
<b>Fe</b>	Fer
<b>HCl</b>	Acide chlorhydrique
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Bicarbonate
<b>Hg</b>	Mercure
<b>K<sup>+</sup></b>	Potassium
<b>MES</b>	Matières en suspension
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	Magnésium
<b>Na<sup>+</sup></b>	Sodium
<b>NH<sub>4</sub></b>	Azote ammoniacal
<b>NID</b>	Azote inorganique dissous
<b>Ni</b>	Nickel
<b>NOD</b>	Azote organique dissous
<b>NO<sub>2</sub></b>	Nitrite
<b>NO<sub>3</sub></b>	Nitrate
<b>Pb</b>	Plomb
<b>pH</b>	Potentiel Hydrogène
<b>PNUE/PB</b>	Les pays méditerranéens /Plan Bleu
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	Phosphate
<b>Si(OH)<sub>4</sub></b>	Acide orthosilicique
<b>SiO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de Silicium
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	Sulfate
<b>TDS</b>	Substances dissoutes solides
<b>US/EPA</b>	United states Environmental Protection Agency
<b>Zn</b>	Zinc

**Introduction :**

L'eau est une ressource limitée et vulnérable, vitale pour l'homme, à sa survie, à sa santé et son alimentation ; elle est également pour ses activités agricoles, économiques et la qualité de son environnement en dépend étroitement. Cependant, elle est le réceptacle universel de tout type de pollution.

L'augmentation des forces productives en agriculture et l'industrie a suscité de graves modifications de l'environnement tant au niveau de la qualité des sols qu'au niveau de la qualité des eaux de surface et des eaux marines, en effet les travaux antérieurs sur l'évaluation de la qualité générale des eaux littorales (**Ounissi et al., 1998 ; Ounissi et Frehi, 1999**) rapporte que le secteur sud-ouest est toute l'année sujet à de forte eutrophisation.

Ces eaux polluées ou résiduaires véhiculent souvent des substances chimiques toxiques, du continent vers le milieu marin qui constitue le siège ultime de l'accumulation de ces produits, ayant des répercussions néfastes sur l'environnement même et sur la santé humaine. Avant leur arrivée dans l'océan, elles peuvent transiter ou s'accumuler dans les eaux de transition comme les lagunes, les estuaires et les zones humides plus généralement. (**Ounissi et al., 1998 ; Ounissi et Frehi, 1999**)

la construction des barrages sur les rivières et les prélèvements d'eau pour l'irrigation ont évolué depuis les années 1960 et ont largement réduit le débit des rivières d'au moins 20% ce qui a profondément modifié le fonctionnement naturel des cours d'eau méditerranéens. (**Humborg et al., 2008 ; Ludwig et al., 2009**) or, rien n'est plus important au fonctionnement du littoral que les quantités et la durée des apports d'eau douce, rapportent Montagna et al. (2002). En outre, le transfert des nutriments à la mer joue un rôle clé dans l'équilibre hydrologique, du carbone, des nutriments dissous (azote, phosphore et silicium), des sédiments et de la biodiversité des eaux de surface. (**Meybeck, 2003**). Malgré le rôle hydrologique clé qu'elles ont occupé, les rivières sont également connues pour jouer un rôle particulier dans le soutien à la production de la Méditerranée où les zones de production sont limitées aux côtes adjacentes (**Bosc et al., 2004**). Pourtant, (**Turley (1999)**) souligne le fait que les ressources côtières représentent l'immensité du revenu des résidents locaux tandis que les systèmes aquatiques méditerranéens sont très sensibles et leur avenir ne semble pas 'rose'.

La méditerranée reçoit d'importantes charges de nutriments d'origine naturelle et anthropique drainées par les eaux fluviales et véhiculées par voie atmosphérique (**Margat, 2004**). Parmi ce nutriment on peut citer le phosphate, l'azote et le silicium.

Pourtant les études biochimiques montrant la pauvreté de valeur de rapport N/P souvent être supérieure aux valeurs normes de Redfield (**Krom et al,1991 ;Moutin et Raimbault, 2002 ;Raimbault et Coste,1990 ;Béthouse et al,1998**). L'environnement côtier peut donc être hautement contrôlé par l'enrichissement en nutriment d'origines fluviale et estuarienne.

Notre travail consiste à étudier la qualité physico-chimique des eaux de l'Oued Kebir-Rhumel et s'articule en 3 chapitres :

- Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique sur la pollution, le rôle biogéochimiques des l'azote, le phosphore et le silicium ainsi que l'impact des activités anthropiques sur les bassins versants.
- Le deuxième chapitre, consacré à la présentation de la zone d'étude ainsi il porte sur le matériel et les méthodes d'analyse physico-chimiques des eaux de l'Oued Kébir-Rhumel.
- Le troisième chapitre englobe la présentation et l'interprétation des résultats obtenus.

**Chapitre I :**  
**Synthèse**  
**bibliographique**

## **I. Pollution des eaux :**

### **I.1. Généralité :**

La pollution comme étant toute modification défavorable des propriétés physiques, chimiques ou biologiques, ou tout rejet de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau de façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse d'utilisée. La pollution de l'eau est due essentiellement aux activités humaines ainsi qu'aux phénomènes naturels. Elle a des effets multiples qui touchent aussi bien la santé publique que les organismes aquatiques, ainsi que la flore et la faune terrestre. **(Benayache;N.2014)**

L'ensemble des éléments perturbateurs parviennent au milieu naturel de deux façons différentes: par rejets bien localisés (villes et industries) à l'extrémité d'un réseau d'égout ou par des rejets diffus (lessivage des sols agricoles, des aires d'infiltration dans les élevages, décharges, ...). L'introduction dans le sous-sol provoque une pollution des eaux souterraines qui est caractérisée par une propagation lente et durable (une nappe est contaminée pour plusieurs dizaines d'années) et une grande difficulté de résorption ou de traitement. **(Benayache;N.2014)**

### **I.2. Type de pollution (classification selon la répartition géographique) :**

On a deux types de pollution selon la répartition géographique : pollution diffuse et ponctuelle.

#### **I.2.1. Pollution ponctuelle :**

Une pollution ponctuelle est une pollution provenant d'un site facile à localiser, et peut être par exemple le point de rejet d'un effluent ou une zone contaminée. C'est une source fixe et généralement d'émission polluantes importantes. **(Benayache;N.2014)**

#### **I. 2. 2. Pollution diffuse :**

Sont des pollutions dues non pas à des rejets ponctuels et identifiables, mais à des rejets issus de toute la surface d'un territoire et transmis à l'environnement de façon indirecte. Les sources diffuses se caractérisent par des apports de substances émises par des sources mobiles, des sources couvrant de larges étendues ou un grand nombre de sources de pollution d'émission faible. Les pollutions par des sources ponctuelles sont souvent plus faciles à traiter (en installant par exemple un filtre au niveau du tuyau par lequel les produits polluants sont rejetés dans le milieu naturel), alors que les émissions polluantes provenant de sources diffuses sont difficiles à recenser, à mesurer et donc à contrôler. **(Håkanson, 2005).**

### **I.3. Source de pollution :**

#### **I.3.1. Pollution naturelle :**

Grâce aux développements technologiques et analytiques qui ont permis des mesures de plus en plus fines pour de nombreux éléments polluants, il a été montré que certains polluants dans les eaux et les sols peuvent également avoir une origine naturelle. On retrouve le plus souvent ces polluants dits géogéniques dans des zones où ils sont naturellement concentrés. Cette accumulation naturelle résulte de processus géologiques. Par exemple, le contact de l'eau avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution, engendrer des concentrations inhabituelles en métaux lourds (exp : arsenic...). Des irrptions volcaniques, des épanchements sous-marins d'hydrocarbures peuvent aussi être à l'origine de pollutions.

**(Benayache;N.2014)**

#### **I. 3.2. Pollution atmosphérique :**

En ce qui concerne l'eau de pluie, bien que longtemps considérée comme propre, l'eau d'origine pluviale est en fait relativement polluée. L'origine de cette pollution peut provenir des gaz ou solides en suspension rejetés dans l'atmosphère par les véhicules, les usines ou les centrales thermiques. Ces polluants (oxyde de carbone, dioxyde de soufre, poussière...) sont envoyés vers le sol à la moindre averse. Lorsqu'elle ruisselle, l'eau de pluie a un second effet nocif: elle transporte les hydrocarbures, les papiers, les plastiques et les débris végétaux accumulés sur la terre et les toitures. De plus, cette pollution est déversée sur de courtes périodes et peut atteindre des valeurs très élevées ce qui provoque un effet de choc sur le milieu biologique. **(Håkanson, 2005).**

#### **I.3.3. Pollution urbaine :**

Ce sont les eaux des habitations et des commerces qui entraînent la pollution urbaine de l'eau. Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération notamment des rejets industriels rejetés par les entreprises en quantités variables selon l'importance de l'agglomération et son activité. Les eaux résiduaires urbaines peuvent être considérées comme la plus importante industrie en termes de masse de matériaux bruts à traiter ; Dans la communauté européenne il est produit quotidiennement un volume proche à 40 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées. **(Håkanson, 2005).**

### **I.3.4. Pollution industrielle :**

Le développement accéléré des techniques industrielles modernes a engendré une pollution très importante. En effet, celle-ci est devenue plus massive, plus variée et plus insidieuse. Devant l'extrême diversité de ces rejets, une investigation propre à chaque type d'industrie est nécessaire : il est donc primordial d'être parfaitement informé sur les procédés de fabrication et le circuit des réactifs et des produits. Il est évident que les effluents déversés sans traitement approprié entraînent des changements indésirables dans le milieu récepteur et des pollutions très néfastes. (Håkanson, 2005).

### **I.3.5. Pollution agricole :**

Ce type de pollution s'intensifie depuis que l'agriculture est entrée dans un stade d'industrialisation. Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui ont trait aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage (lisiers et purins). Néanmoins, le problème de la pollution agricole est un peu différent, dans la mesure où cette source de pollution n'arrive qu'indirectement à la station. C'est le cas en particulier des engrais et pesticides qui passent d'abord à travers les milieux naturels (nappes phréatiques, rivières...). C'est aussi le cas des déchets solides issus des industries agro-alimentaires et des concentrations des élevages qui entraînent un excédent de déjections animales (lisiers de porc, fientes des volailles...) par rapport à la capacité d'absorption des terres agricoles ; celles-ci, sous l'effet du ruissellement de l'eau et de l'infiltration dans le sous-sol, enrichissent les cours d'eau et les nappes souterraines en dérivés azotés et constituent aussi une source de pollution bactériologique.

## **I.4. Principaux polluants des eaux :**

Il existe plusieurs manières de classer la pollution. Selon le type de polluant, on peut classer la pollution en trois catégories : pollution physique, pollution chimique et pollution biologique.

### **I.4.2. Pollution physique :**

On parle de ce type de pollution quand le milieu pollué est modifié dans sa structure physique par divers facteurs. Elle regroupe la pollution mécanique, il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variées dans l'eau; qui lui confèrent un caractère trouble.

On distingue aussi les matières décantées (plus lourds que l'eau elle-même), les matières flottables (plus légères que l'eau elle-même) et les matières non séparables (de même densité que l'eau).

La pollution physique désigne autre type de pollution, telle que la pollution thermique due à la température élevée qui cause une diminution de la teneur en oxygène dissous ainsi qu'une réduction de la solubilité des gaz.

#### **I.4.3. Pollution chimique :**

La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eaux, à savoir les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et autre sels, ainsi que des ions métalliques. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses. Ainsi résulte de la pollution radioactive où la radioactivité des eaux naturelles est peut être d'origine naturelle ou artificielle (énergie nucléaire). Les polluants chimiques sont classés à l'heure actuelle en cinq catégories: les substances chimiques dites indésirables, les pesticides, les produits apparentés, les détergents et les colorants et autre éléments toxiques. **(Benayache;N.2014)**

#### **I.4.4. Pollution biologique :**

Un grand nombre de micro-organismes peut proliférer dans l'eau qui sert l'habitat naturel ou comme une simple moyenne de transport pour ces microorganismes. L'importance de la pollution de l'eau dépend également des conditions d'hygiène, des populations, mais aussi des caractéristiques écologiques et épidémiologiques. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient dans l'eau sont: les bactéries, les virus, les parasites et les champignons, on parle ainsi de la pollution bactérienne, viral où parasitaire. **(Benayache;N.2014)**

### **I.5. Principaux polluants :**

#### **I.5.1. Matières en suspensions :**

Elles désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Les MES confèrent à l'eau un aspect trouble au fur et à mesure que les sédiments se déposent au fond ; elles diminuent la luminosité dans l'eau, donc freinent la photosynthèse. Les espèces végétales se développent plus difficilement, l'oxygène qu'elles produisent diminue dans le milieu, et les espèces animales en souffrent. Elles peuvent rendre les eaux très opaques et provoquer aussi une eutrophisation. **(Håkanson, 2005).**

**I.5.2. Sels minéraux :**

Présents naturellement dans l'eau en faible quantité, les sels minéraux (chlorures ou sulfates de calcium, de magnésium, de sodium ou de potassium) peuvent voir leur concentration s'élever à la suite de rejets industriels. Cela peut nuire à la biologie aquatique.

**I.5.3. Matières organiques :**

Ce sont tous les déchets carbonés tels que la cellulose produite par les papeteries, le sucre et le lactosérum des industries agroalimentaires ainsi que les hydrocarbures. A l'inverse de MES, ces matières constituent une nourriture de choix pour les micro-organismes de l'eau et provoquent leur prolifération. Les microorganismes se mettent alors à vider le milieu de son oxygène, ce qui s'avère fatal pour la vie aquatique. Lorsque le milieu se retrouve totalement vidé de son oxygène, les micro-organismes vont le chercher dans les sulfates dissous ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), qu'elles réduisent en sulfure, qui se dégage sous forme de sulfure d'hydrogène en engendrant une odeur d'oeufs pourris. Cette odeur nauséabonde est caractéristique d'une eau très polluée.

**(Benayache;N.2014)**

**I.5.4. Métaux lourds :**

Les éléments possédant une masse volumique supérieure ou égale à  $5 \text{ g.cm}^{-3}$ . Les métaux lourds constituent des polluants qui ne se dégradent pas dans l'environnement. Ils s'accumulent dans les organismes vivants et peuvent contaminer l'ensemble d'une chaîne alimentaire. Certains métaux lourds sont particulièrement toxiques comme le cadmium (Cd), le mercure (Hg), Plomb (Pb), le nickel (Ni), le chrome (Cr), et à un degré moindre le cuivre (Cu) et le zinc (Zn). Le fer (Fe) et l'aluminium (Al) le sont moins. **(Benayache;N.2014)**

**I.5.5. Pesticides :**

Les pesticides constituent un problème majeur pour l'environnement. On inclut dans les pesticides toutes les substances avec lesquelles on combat les animaux et les végétaux nuisibles à l'Homme et aux êtres vivants supérieurs. Sur le plan chimique, on distingue plusieurs groupes de pesticides qui sont caractérisés par des persistances différentes. Les plus persistants sont les hydrocarbures chlorés comme le DDT (Dichloro Diphényl Trichloroéthane) qui s'accumule dans les tissus graisseux. **(Benayache;N.2014)**

**I.5.6. Matières fertilisantes :**

La présence d'azote et de phosphore en quantité excessive dans les cours d'eau entraîne la prolifération d'algues qui diminuent la luminosité et surtout consomment l'oxygène dissous dans l'eau (phénomène d'eutrophisation). Cette pollution est produite par les eaux usées urbaines, certains effluents industriels, et le ruissellement des eaux chargées d'engrais apportés en excès aux cultures. Et ainsi la pollution biologique l'un des principaux polluants des eaux.(**Benayache;N.2014**)

## **II. Principaux paramètres de la qualité physico-chimique de l'eau :**

La qualité physico-chimique de l'eau informe sur la localisation et l'évaluation d'un niveau de pollution en fonction d'un ensemble de paramètres, basée sur des valeurs de référence et elle s'apprécie à l'aide de plusieurs paramètres

- **Qualité physique** : matière en suspension, turbidité, transparence, température, conductivité et salinité ;
- **Qualité chimique** : pH, sels minéraux, matière organique (Demande Biologique en Oxygène en 5 jours, Carbone Organique Dissous), oxygène dissous, nutriments (nitrites, nitrates, ammonium, phosphate, silice), pesticides, etc.

Ces paramètres permettent d'acquérir des connaissances de base, de développer une surveillance pour détecter des perturbations et de mettre en place un suivi pour rétroagir sur la gestion.

### **II.1. la Température :**

La température est un facteur écologique majeur. Ses variations affectent diverses propriétés de l'eau telles que la densité, la viscosité, l'évaporation, la solubilité des gaz surtout l'oxygène et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques.

Les basses températures stoppent les réactions d'oxydation qui conduisent à une autoépuration, tandis que les hautes températures accélèrent l'oxydation avec une diminution de la solubilité d'oxygène. La température a également une grande influence sur l'activité biologique car chaque espèce aquatique à un référendum thermique hors duquel elle peut disparaître.(**Sebihi ;Z.2015**)

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ

de densité et des courants. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond (**Hamed. m et al, 2012**).

## **II.2. Potentiel Hydrogène (pH) :**

Le pH représente le caractère acide ou alcalin d'une masse d'eau. Il est mesuré sur une échelle de 1 à 14. Le pH 7 représente la neutralité. Ce paramètre est sensible à la température et joue un rôle primordial à la fois dans les propriétés physico-chimiques (Acidité, Agressivité) et dans les processus biologiques (dont certains exigent des limites très étroites de pH) ainsi dans l'efficacité de certains traitements (coagulation, adoucissement, contrôle de la corrosion, chloration).

La détermination du pH est donc l'une des mesures que l'on doit effectuer le plus fréquemment (**Tardat-Henry et Beaudry, 1984**).

## **II.3. Conductivité électrique :**

Dans une solution, la conductivité électrique est proportionnelle à la concentration en équivalent-gramme du sel dans la solution, multipliée par le coefficient de dissociation ionique de ce sel. Elle constitue une bonne appréciation des matières en solution.

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution. D'une façon générale, la conductivité s'élève progressivement de l'amont vers l'aval des cours d'eau ; les écarts sont d'autant plus importants que la minéralisation initiale est faible, en particulier dans les zones à substrat acide ou à sous-sol siliceux. (**Afri Mehannaoui, 1998**).

## **II.4. Les matières en suspension :**

Elles constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques dans une eau naturelle ou polluée. Dans les eaux superficielles non polluées, les matières en suspension ont surtout pour origine le bassin versant sous l'effet de l'érosion naturelle, les détritiques d'origine organique (débris végétaux...etc.) et le plancton. La nature des MES est donc souvent minérale et leur taux relativement bas sauf en périodes de crues des cours d'eau. Les eaux naturelles ne sont jamais exemptes de matière en suspension et on admet une teneur inférieure à 30 mg/l (**Afri Mehannaoui, 1998**).

## **II.5. Les Résidus Secs:**

Reliquat obtenu à partir d'un prélèvement d'échantillon après dessiccation totale au four à 105°C. C'est un indicateur qui exprime le taux de minéraux. (**Sebihi Zineb2015**).

## **II.6. L'Oxygène dissous:**

L'oxygène dissous dans l'eau est un facteur écologique essentiel de la qualité d'un écosystème aquatique. La concentration de l'oxygène dissous dans une eau naturelle est directement conditionnée par la température, la salinité et la pression atmosphérique. L'élévation de la température et de la salinité réduisent la solubilité de l'oxygène, et inversement une eau froide et douce favorise la dissolution de l'oxygène. Sa présence dans les eaux de surface joue un rôle prépondérant dans l'autoépuration des charges polluantes et donc dans le maintien de la vie aquatiques. Les rejets polluants sont souvent pauvres en oxygène.

En plus de la concentration en mg/l, l'oxygène est également exprimé en « pourcentage de saturation » qui est le pourcentage d'oxygène dissous réel présent dans l'eau par rapport au maximum possible d'oxygène soluble compte tenu la température et de la pression atmosphérique et de la salinité. Cette saturation est souvent influencée par les phénomènes de photosynthèse des végétaux aquatiques.(Sebihi ;Z.2015).

Un excès d'oxygène provoque des troubles et même la mort chez les organismes. De même, les faibles teneurs en oxygène engendrent des effets néfastes qui peuvent se traduire par des migrations, des adaptations ou par des mortalités massives des organismes.(Sebihi ;Z.2015)

## **II.7.Les formes azotées :**

L'azote ammoniacal, les nitrites et les nitrates sont différents formes azotées susceptibles de se trouver dans les eaux d'un oued et pouvant être un critère de pollution.

### **II.7.1. L'ammonium (NH<sub>4</sub>) :**

Le cation NH<sub>4</sub> est produit par réaction acido-basique de l'eau et de façon générale de tout acide avec l'ammoniac NH<sub>3</sub>. En revanche, en milieu basique à pH supérieur à 9,2, le NH<sub>3</sub> se dégage dans l'atmosphère. L'azote ammoniacal, assez souvent rencontré dans les eaux, traduit un processus de dégradation incomplète de la matière organique. Il peut avoir diverses origines dont la plus grande part de l'azote des eaux superficielles provient de la décomposition des matières organiques contenues dans les débris végétaux des algues, plantes ou herbes du lit ou des berges à l'oued. Les urines humaines ou animales contiennent de grandes quantités d'urée qui induisent la présence d'azote ammoniacal en quantité relativement importante.

A ces origines s'ajoutent un certain nombre d'industries responsables d'une augmentation de la teneur des eaux en azote ammoniacal telles les industries chimiques et les industries de textiles L'ammoniaque stimule les poussées planctoniques. Il est toxique pour

les poissons, surtout en milieu alcalin, sous forme de gaz qui diffuse facilement à travers les membranes.

En milieu oxydant, l'ammoniaque se transforme en nitrites puis en nitrates, ce qui induit une consommation d'oxygène.

### **II.7.2. Les Nitrites $\text{NO}_2$ :**

Les nitrites se forment lorsque les conditions sont réductrices. Ce sont des molécules intermédiaires qui apparaissent dans la dénitrification de l'ion nitrate sous l'action de bactéries telles les *Pseudomonas*, ou bien elles dérivent de l'oxydation de l'ammoniaque ( $\text{NH}_4$ ).

### **II.7.3. Les Nitrates $\text{NO}_3$ :**

Sels minéraux de l'acide nitrique, les nitrates sont des éléments minéraux nutritifs tant pour les organismes autotrophes terrestres qu'aquatiques. Ils constituent le stade finale de l'oxydation biologique de toutes les formes d'azotes (azote organique, ammoniacale, nitrites...). La présence naturelle des nitrates dans les eaux est liée en grande partie au lessivage des sols constituant le bassin versant. La nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence, tandis que la pollution par les nitrates est due à la minéralisation de matière organique, à l'utilisation abusive des engrais azotés, aux résidus animaux, fumiers, purins, aux eaux usées domestiques et éventuellement aux effluents des stations d'épuration.

### **II.7.4. Les Phosphates ( $\text{PO}_4$ ) :**

Sels de l'acide ortho phosphorique, les phosphates représentent des éléments essentiels pour les végétaux autotrophes. Dans les écosystèmes aquatiques, les sédiments stockent des phosphates et constituent ainsi un puits pour ces derniers.

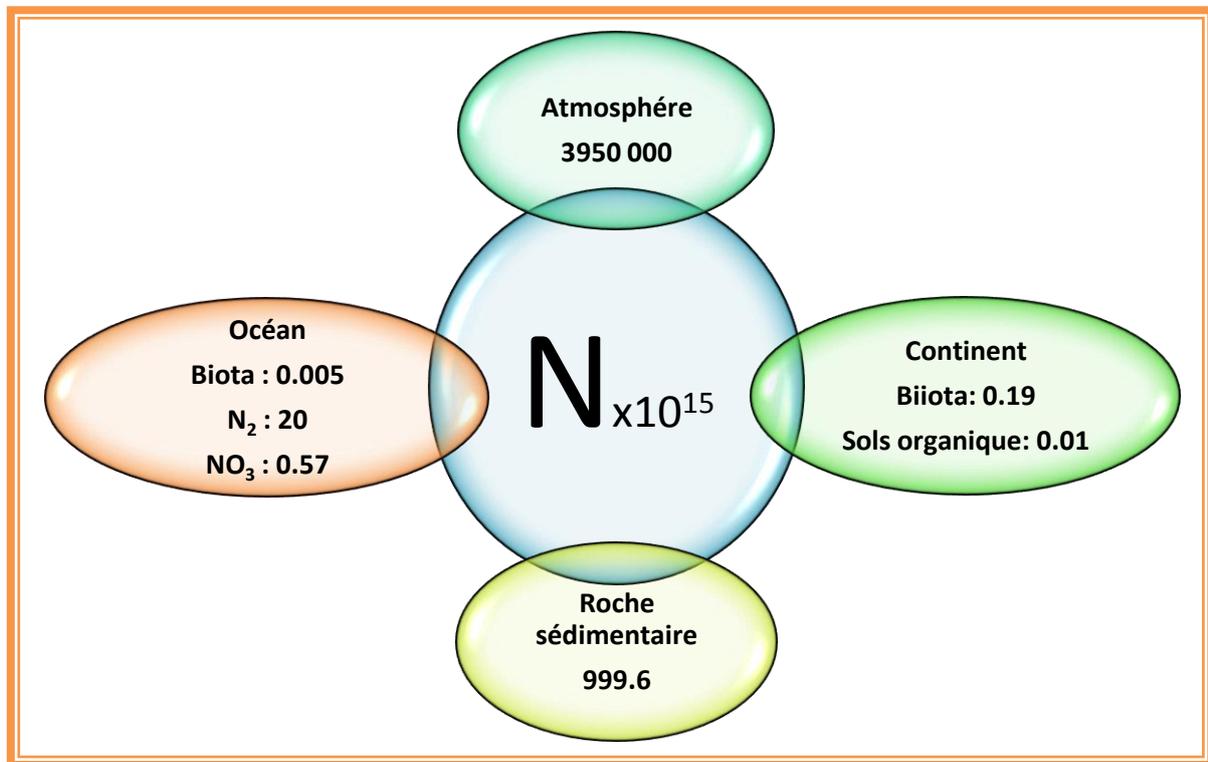
L'origine naturelle des phosphates est liée au lessivage des terrains traversés et aux produits de décomposition de matière vivante. Ils peuvent également être disponibles par la contamination fécale, les détergents, l'industrie chimique et les engrais.

## **III. Les cycles abrégés de l'azote, phosphore, et du silicium :**

### **III.1. L'azote :**

#### **III.1.1. Evolution des puits et source d'azote de l'époque préindustrielle à nos jours :**

Le budget global de l'azote est estimé à 5.1021g de N dont 79,5 % est stocké dans l'atmosphère terrestre. Le deuxième réservoir d'importance, 20,1%, est constitué par les roches sédimentaires. La biomasse continentale et marine ne contient qu'une infime fraction d'azote, mais c'est un réservoir bio-disponible (Mathieu ; C. 2009).



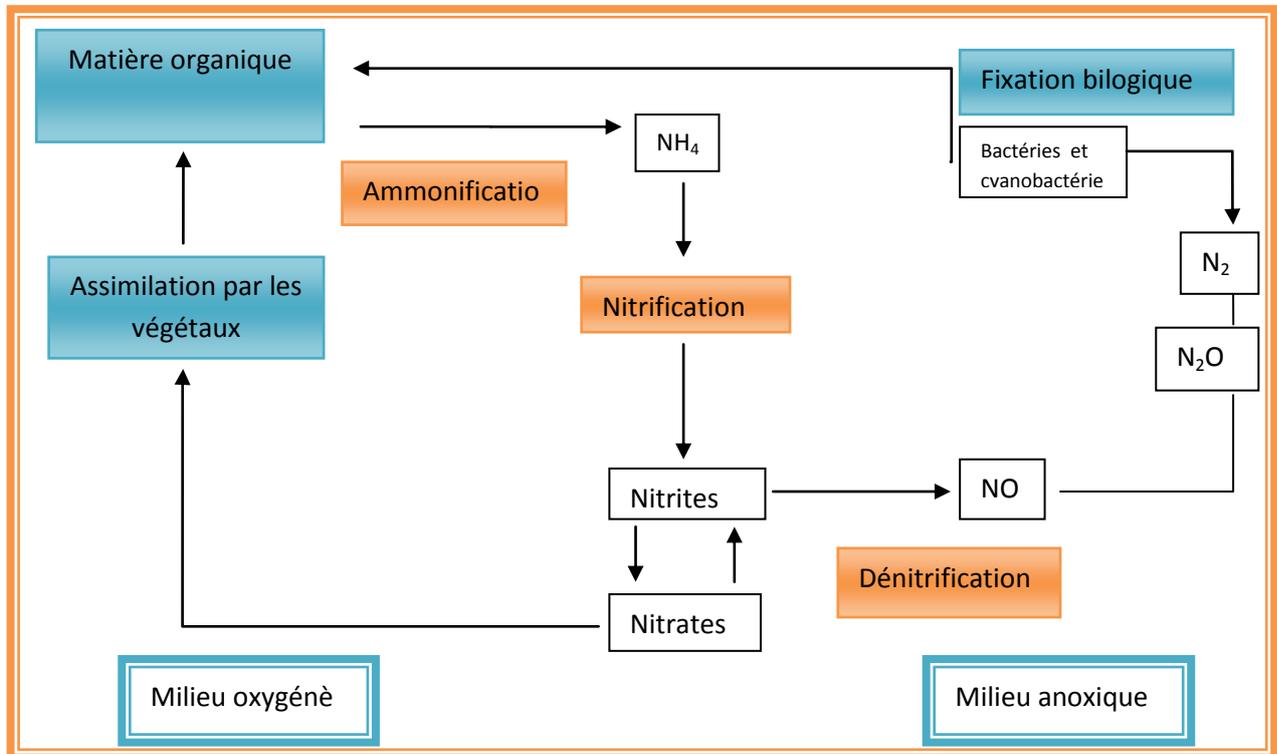
**Figure 1:** Réservoir d'azote.(Mathieu ;canton.2009).

L'azote de la biomasse réactif, représente 770 500 Tg. Ce stock est constamment recyclé. A l'époque préindustrielle, les entrées d'azote réactif dans le système étaient dues à la fixation et à l'ionisation. On remarque que ces entrées sont équilibrées par des sorties à peu près équivalente : dans la dénitrification en milieu continental, dans les aquifères et dans les eaux superficielles. En milieu marin, la dénitrification a lieu préférentiellement dans les estuaires surtout s'ils sont anthropiens, la zone intertidale le plateau continental (Mathieu canton 2009).

### III.1.2. Cycle biogéochimique d'azote :

Au sein des sphères externes de notre planète, la biosphère accélère le transfert d'éléments. Les nutriments sont incorporés aux constructions organiques où ils participent du monde vivant. Ces éléments sont ensuite restitués au monde minéral à la mort de l'animal. Les éléments sont également échangés au cours des fonctions vitales des organismes à une vitesse plus rapide. Les différents niveaux alimentaires au sein de la biosphère (plante-

herbivore-carnivore...) permettent également la mobilité des éléments au sein de l'écosystème. Pour caractériser ces échanges, on se focalise sur un élément en particulier pour illustrer l'ensemble des formes et des interactions entre les différentes parties de l'écosystème planétaire. On illustrera deux cycles dans lesquels l'homme exerce une forte influence.



**Figure 2 :** Processus majeurs du cycle de l'azote au sein de l'écosystème. (site web).

**Le processus de nitrification :** Lorsqu'il est restitué au milieu, les conditions oxydantes de l'atmosphère et du sol conduisent rapidement à la transformation de l'ammoniac en nitrites puis en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). Sous cette forme, l'azote est très soluble et il peut être transporté dans les rivières et les eaux souterraines. (site web).

**Le processus de dénitrification :** Dans certains milieux (zones humides, marais, fond d'étangs mal oxygénés, microsites dans les sols...), en l'absence d'oxygène, les nitrates peuvent être respirés par les bactéries qui vont l'utiliser pour dégrader les molécules organiques et en retirer l'énergie dont elles ont besoin. Les nitrates sont alors convertis en azote moléculaire qui s'échappe vers l'atmosphère. (site web).

En découvrant les procédés de création d'engrais à partir de l'azote atmosphérique, l'activité humaine a perturbé le cycle de l'azote. Elle a introduit un mécanisme supplémentaire qui introduit un transfert d'azote de l'atmosphère vers des produits minéraux.

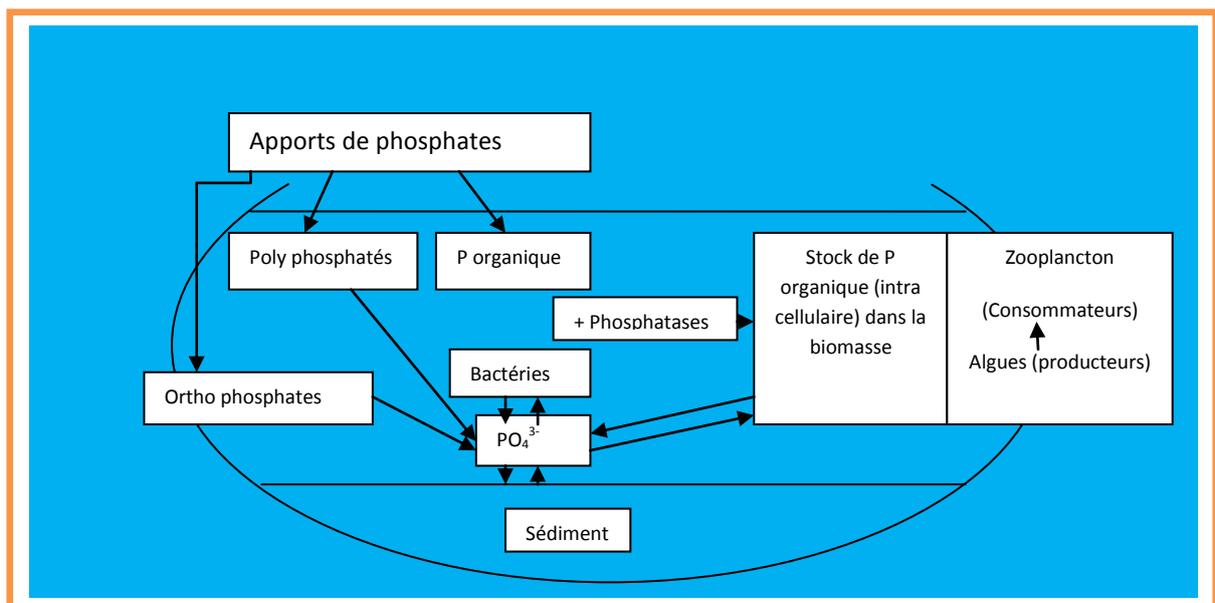
Ces produits sont utilisés par les plantes pour leur croissance et, souvent, ils sont ensuite assimilés par le bétail dans les modèles d'agriculture productiviste des pays développés. Une part de l'azote apporté sur les terres (soit sous forme d'engrais, soit sous forme des déjections des animaux d'élevage) n'est pas utilisée par les plantes pour lesquelles il est disposé et reste présent sous forme organique dans les sols. L'azote, sous sa forme nitrate pénètre alors dans le cycle de l'eau et va être emporté par les rivières ou l'eau qui s'infiltré vers les réservoirs souterrains. Dans les régions de production agricole, les apports ont conduit à une pollution chronique du milieu. (**site web**).

### III.2. Le phosphore:

Le phosphore est le onzième élément par ordre d'abondance constitutif de la croûte terrestre (0,12%). A l'état naturel il se trouve principalement dans les roches sédimentaires sous forme de phosphates de calcium (apatite).

Dans les sols, le phosphore se trouve à 98% sous forme ortho phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) pouvant être ou non combinés à de la matière organique (composés phospholipides, acides nucléiques,...) et minérale (principalement Al, Fe et Ca). Dans la solution du sol, l'élément P se trouve essentiellement sous forme d'ion ortho phosphate ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) qui dépend du pH de la solution (**ITP 2013**).

Le phosphore intervient au niveau du métabolisme des êtres vivants puisqu'il est constitutif des acides nucléiques et donc de l'ADN (support d'hérédité), de l'ARN (synthèse de nouvelles cellules) et de l'ATP (processus énergétique).(**ITP 2013**).



**Figure 3 :** cycle du phosphore. (**site web**).

Le phosphore est un élément peu abondant dans la lithosphère et n'a pas de réservoir atmosphérique. Aux pH des eaux superficielles, le phosphore minéral est sous forme d'ions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  et  $\text{HPO}_4^{2-}$ . On dose en général la somme de 2 formes exprimée en ortho phosphatases :  $\text{PO}_4^{3-}$ . La dissociation s'effectue à partir de l'acide phosphorique selon la formule suivante :  $\text{H}_3\text{PO}_4 \Leftrightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}^+ \Leftrightarrow \text{HPO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \Leftrightarrow \text{PO}_4^{3-} + 3\text{H}^+$ . Le phosphore se trouve originellement dans les roches qui composent le **globe terrestre**. Il arrive dans le milieu marin de plusieurs façons :

- Phosphore issus des sols, résultant de l'érosion éolienne et hydrique des roches contenant les minéraux primaires phosphatés tels les fluors apatite.
- Phosphore provenant du lessivage de sols cultivés, qui s'y trouve sous forme adsorbé, minéral (de type apatite), et organique ou d'engrais excédentaire.
- Phosphore qui est contenu dans les effluents domestiques (en majorité détergents phosphatés, urines et selles).
- Remontées sources marines chaudes et volcanisme marin Le passage du phosphore organique à inorganique est assuré par les bactéries (eubacillus et bacillus) ou des champignons (saccharomyces et penicillium). (**site web**).

#### IV. Rôles biogéochimiques des matières minérales et organiques :

##### IV.1. L'eau et les rivières :

Le cycle de l'eau continentale joue un rôle décisif pour le climat, l'écologie et la biogéochimie du système terrestre. Cependant, ce cycle est modifié par les activités anthropiques telles que l'irrigation, les barrages et bien d'autres besoins de la population (**Vörösmarty and Sahagian, 2002**). De part la réduction du capital en eau terrestre à partir des années 1970 (**Shiklomanov, 2000**). L'usage global de l'eau a exponentiellement augmenté avec la croissance de la population mondiale et de son développement économique. Les barrages construits pour les différents besoins (irrigation, énergie hydroélectrique, consommation humaine), conduisent à l'emprisonnement des écoulements des eaux douces dans les continents au lieu d'atteindre leur milieu naturel, la mer. Ce stockage des eaux des rivières, augmente l'évaporation, modifie ainsi le budget de l'eau à l'échelle du bassin versant et augmente la durée de l'écoulement vers la mer.

Les ressources en eau sont limitées et la pression sur les rivières devient particulièrement importante sous l'effet de la construction des barrages et l'irrigation des terres agricoles (**Margat and Treyer, 2004**). De plus, lorsque les eaux de rivières sont

interceptées dans les barrages, leur vitesse d'écoulement diminue, ce qui favorise la sédimentation des particules, diminue la turbidité et fait augmenter ainsi la production primaire.

#### **IV.2. Matières en suspensions :**

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, 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.

En outre, les MES dans les rivières reflètent aussi l'importance de l'érosion des terres drainées et la fertilité des sols. L'érosion signifie un transfert de matières (ablation de matériaux), et parfois de fertilité, d'un lieu à un autre. Les impacts sont de natures différentes, d'une part sur le lieu même où se produit l'érosion et d'autre part sur les lieux où ces matériaux sont accumulés. L'érosion due au ruissellement de l'eau constitue ainsi une grave menace pour les sols méditerranéens (**PNUE/PB, 2003**). Lorsque l'action de l'eau se concentre dans les ravines et les rivières, la charge solide devient importante (5 à 130 g/l) et l'érosion devient significative (**Roose, 1991**). La fertilité d'un sol est à la fois sa fertilité en sels, biologique et physique. Elle exprime la capacité qu'a le sol à fournir également un bon ancrage, de l'eau et de l'oxygène aux racines des plantes ; elle dépend de sa texture, de sa structure, de sa composition, de sa perméabilité, de sa porosité, de sa profondeur, de sa capacité de réserve en eau (**Roose, 1991**). Lorsque certains éléments chimiques sont lessivés et exportés, ceci entraîne un épuisement des sols en sels (N, P, K en particulier) ou à l'inverse, deviennent surabondants ce qui conduit à la salinisation, acidification, eutrophisation ou pollution par des substances toxiques. Le rapport **PNUE/PB (2003)** démontre qu'il suffit d'une perte des MES de 12 à 15 t/ha/an pour dépasser la vitesse moyenne d'altération des roches, ce qui déséquilibre le rapport morphogénèse et pédogénèse des sols.

### IV.3. Substances dissoutes solides (TDS) :

Les substances solides dissoutes ou total des solides dissous (TDS) sont par définition les sels minéraux, les matières organiques et d'autres matières dissoutes dans l'eau (**US/EPA, 2001**). Dans la littérature, très souvent les TDS sont assimilés ou confondus avec la salinité de l'eau. En eau douce, les TDS incluent les sels solubles comme  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ . Les TDS regroupent les matières solides qui peuvent passer un filtre de porosité 0,45  $\mu\text{m}$  et mesure donc la quantité de matières dissoute dans l'eau. Selon **Wetzel (1983)** l'eau douce à une teneur en TDS inférieure à 1000 mg/l. Les TDS sont parfois utilisées en tant que "watchdog" dans les suivis de la qualité de l'environnement aquatique. Un changement quelconque de la composition ionique entre le site test dans la rivière peut être rapidement détecté par les conductimètres. La relation conductivité électrique (CE) et les TDS varie fortement selon la rivière (TDS = 0,4 à 0,93 CE). Par défaut, les conductimètres sont conçu pour convertir une unité de CE en 1/2 unité de TDS. Or, c'est juste une approximation car le facteur de conversion varie selon les eaux du simple au double (0,4 à 0,9). En effet, en plus de la nature géologique des terrains lessivés, la charge des eaux de pluies, les eaux d'irrigation (chargés en fertilisants) qui retournent aux rivières, les rejets domestiques peuvent modifier la composition et la teneur en TDS des eaux de rivières. La concentration moyenne mondiale des TDS dans les eaux de rivière est 120 mg/l selon (**Wetzel, 1983**).

### IV.4. Les nutriments :

#### IV.4.1. L'azote :

L'azote en milieu aquatique existe sous trois formes : inorganique (NID), organique dissous, et particulaire organique et détritique (ou seston). Le NID est formé par l'ammonium ( $\text{NH}_4$ ), les nitrates ( $\text{NO}_3$ ) et nitrites ( $\text{NO}_2$ ). L'azote organique dissous (NOD) est composé essentiellement de l'urée, les acides aminés dissous libres, les acides aminés dissous complexes, les protéines, les acides nucléiques et leurs dérivés, les enzymes et les acides humiques (**Le Gal, 1989**). En milieu aquatique, le NOD provient du métabolisme des micro-organismes, de la lyse des cellules, de la décomposition de la matière organique et des eaux de pluie (**Meybeck, 1982**). Il est utilisé par les bactéries comme source d'azote et régénéré sous forme minérale (NID) assimilables par les végétaux. Au sein du NID, l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4$ ) dans les eaux superficielles provient principalement des rejets domestiques et agricoles, et dans une moindre mesure des rejets industriels. En milieu faiblement oxygéné l' $\text{NH}_4$  domine par suite de la réduction des nitrates. Les conditions de

réductions et d'hypoxie sont le signe d'une pollution. Les nitrates proviennent souvent de la nitrification de l'azote organique, des terrains drainés par les eaux superficielles, des engrais chimiques issus de rejets agricoles, de collectivités, de certaines industries et de zones d'élevage. Les nitrites présentent souvent de faibles teneurs dans les eaux naturelles, représentant une fraction du NID de l'ordre de 10% (**Aminot et chaussepied, 1984**). Soit qu'ils proviennent d'une oxydation incomplète de l'ammonium (la nitrification n'étant pas conduite à son terme), soit d'une réduction de nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant ou minéralisation. L'azote nitrique et ammoniacal des eaux de pluie participe aussi à augmenter les quantités dans les eaux superficielles.

Les formes assimilables pour les producteurs primaires comme le phytoplancton et d'autres organismes photosynthétiques sont les  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  mais aussi le NOD. Cependant, l'ammonium est la forme préférentielle pour le phytoplancton car énergétiquement moins coûteux et directement convertit en acides aminés à l'aide de l'enzyme glutamate déshydrogénase (**Bougis, 1974**). Or l'assimilation des  $\text{NO}_3$  nécessite leurs conversion en  $\text{NO}_2$  puis  $\text{NH}_4$  ce qui exige l'intervention de deux enzymes (nitrate réductase et nitrite réductase).

#### **IV.4.2. Le phosphore :**

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 and Ruttenberg, 1999**) : phospho-sucres, adénosine, acides nucléiques (ADN et ARN), phospholipides, phosphonates, réactifs biochimiques intermédiaires (phosphocréatine, phosphoenolpyruvate). 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 ( $< 0,45\mu\text{m}$ ) inorganique formée par les orthophosphates et polyphosphates inorganiques, et une fraction organique, à l'état colloïdal. La fraction particulaire ( $\geq 0,45\mu\text{m}$ ) 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 ( $\text{PO}_4$ ) 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**).

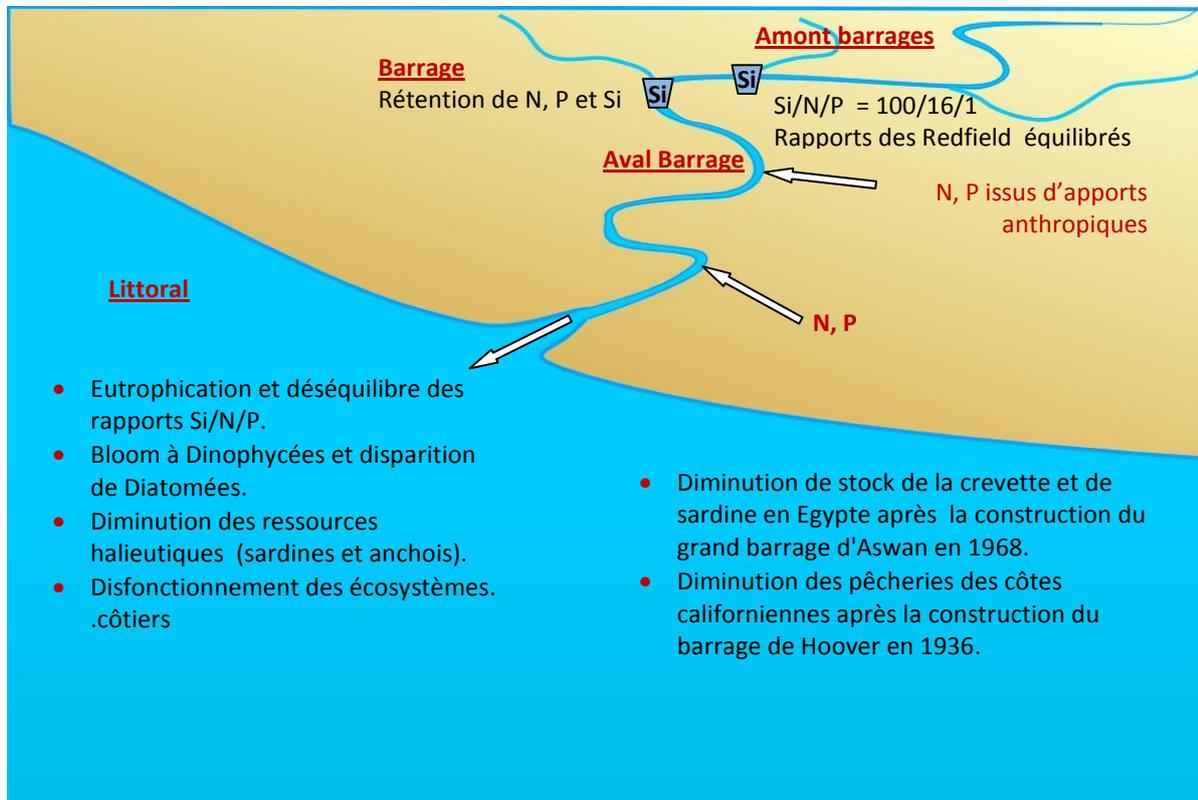
#### **IV.4.3. Le silicium :**

Le silicium est l'élément le plus abondant de l'écorce terrestre (après l'oxygène) formant 28,8% ; il est présent dans plus de 370 minéraux composant les diverses roches (**Wedepohl, 1995 ; Wollast and McKenzie, 1983**). Il est donc d'intérêt majeur pour les biogéochimistes. A la différence du carbone et de l'azote, son cycle biogéochimique a été peu étudié, probablement parce qu'il était supposé moins soumis à des perturbations directes d'origine anthropique et ne constitue pas un facteur limitant eu égard à son abondance dans les eaux. Cet élément retient de nouveau l'attention des biogéochimistes, depuis la mise en évidence de son rôle majeur dans le contrôle du CO<sub>2</sub> atmosphérique consommé par les algues planctoniques. Le silicium dissous de l'eau est présent sous différentes formes chimiques éventuellement disponibles pour les diatomées. L'acide orthosilicique Si(OH)<sub>4</sub> est la forme soluble du silicium ayant une biodisponibilité particulièrement élevée. Le silicium joue un rôle primordial dans le cycle global de la matière en particulier dans le cycle du carbone. Il contribue doublement à l'élimination du carbone atmosphérique par lessivage et élimination dans les fonds marins sous forme de boues à diatomées.

#### **V. Impacts d'activités anthropiques dans les bassins versants :**

Les modifications biogéochimiques sont responsables de nombreux impacts négatifs comme la perte d'habitat et de la biodiversité, augmentation de la prolifération d'espèces phytoplanctoniques nuisibles, eutrophisation, hypoxie (**Billen et Garnier, 2007 ; Cloern et al., 2001 ; Howarth et al., 1996 ; Rabalais et Turner, 2001 ; Rabalais, 2002 ; Ragueneau et al., 2006 ; Turner et al., 2003**). Dans le même contexte, **Turner et al. (2003)** rapportent que la diminution du rapport Si/N occasionne de sévères modifications du réseau trophique côtier y compris les ressources halieutiques. En Méditerranée, il est admis que le Si peut non seulement réduire la productivité, mais induire aussi des changements de communautés phytoplanctoniques avec dominance d'espèces nuisibles non-siliceuses. De même, il a été démontré que la diminution des diatomées et des copépodes dans les zones côtières est reliée à la réduction des apports en Si des rivières (**Cloern, 2001 ; Turner et al., 1998 ; Turner et al., 2003**). Ces modifications dans la composition du phytoplancton se

répercutent sur l'ensemble du système côtier y compris la baisse des ressources halieutiques côtières.



**Figure 4 :** Schéma des impacts d'activités anthropiques dans les bassins versants (barrages ; rejets domestiques et industriels) sur le chimisme des eaux continentales et ses répercussions sur le fonctionnement et la productivité côtières. (Bouchareb ; N.2013)

A l'amont des barrages, dans les hauts bassins, par suite des faibles apports anthropiques, la chimie des eaux n'est pas affectée et l'on y trouve des rapports de Redfield équilibrés (Si/N/P de l'ordre de 100/16/1). Ici le Si est plus abondant que l'azote et subvient largement aux besoins des diatomées ( $Si/N \geq 1$ ). Les barrages ont un effet direct sur la rétention de N, P et Si. A l'aval des barrages, les rejets anthropiques introduisent dans les estuaires et les embouchures d'importantes masses de N et de P cependant que la perte de Si (restant tributaire seulement des lessivages des sols), n'est pas compensée à l'aval des barrages. Le chimisme des eaux d'estuaires introduites aux eaux côtières est altéré avec des rapports de Redfield modifiés. Le rapport Si/N souvent  $< 1$  occasionne d'importants impacts sur le fonctionnement et la productivité des eaux côtières. Il s'agit en particulier de développement d'espèces nuisibles de dinophycées phytoplanctoniques, non exigeantes vis-à-vis du Si alors que l'abondance des diatomées diminue. Le réseau trophique se trouve affecté

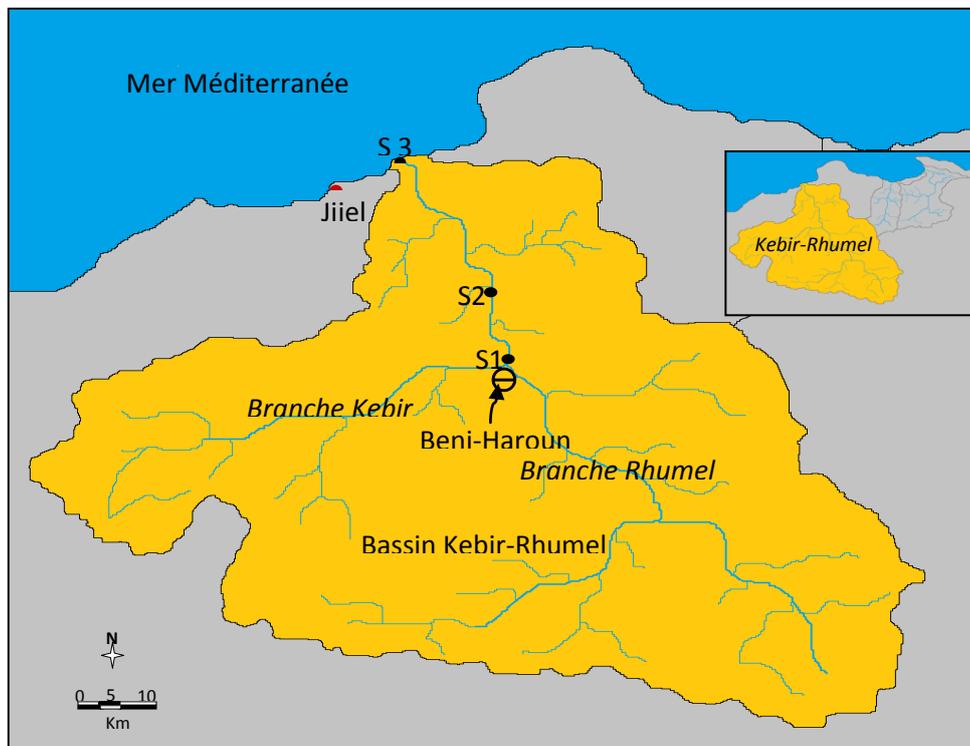
par la diminution des copépodes zooplanctoniques, élément clés dans les réseaux trophiques marins. En conséquence, les pêcheries côtières soumises à des apports continentaux réduits en eau et en Si, connaissent d'importantes baisses de débarquements (**Cloern, 2001 ; Howarth et al., 1996 ; Wahby et Bishara, 1981 ; Turner et al., 2003**). En Turquie, par exemple le stock d'Anchois, patrimoine précieux de la nation, est réduit d'une façon inquiétante. De même, la construction du barrage d'Assouan sur le Nil a eu de graves conséquences sur la production côtière pélagique et démersale. **Wahby et Bishara (1981)** rapportent que le débarquement des sardines a diminué de 95% et les prises de Crevettes ont connues une baisse dramatique dans les côtes adjacentes au Nil. De même, on rapporte des baisses de débarquements de poissons dans les côtes californiennes à la suite de la construction du barrage du Hoover en 1936 (Turner et al., 2003), pour ne citer que ces exemples.

# **Chapitre II : Matériels Et méthodes**

### I. Présentation de bassin du Kebir-Rhumel

Le bassin de la rivière Kebir-Rhumel ayant une superficie d'environ 8 110km<sup>2</sup> (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 (Fig. 5). 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 km<sup>2</sup> et de 2 160 km<sup>2</sup> et dont la confluence donne naissance à Kebir-Rhumel.(Bouchareb.N ;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, caractérisé par un hiver doux et un été chaud, avec d'assez riches ressources hydriques d'origine différentes (pluie, grêle neige). Généralement la neige fait son apparition sur les massifs des hautes altitudes. Les précipitations constituent le facteur essentiel qui gouverne l'écoulement des cours d'eau. En effet, elles ont un effet direct sur le débit. La précipitation moyenne inter-annuelle sur le bassin versant Kebir-Rhumel est estimée entre 500 à 630 mm. (Bouchareb.N ;2013).

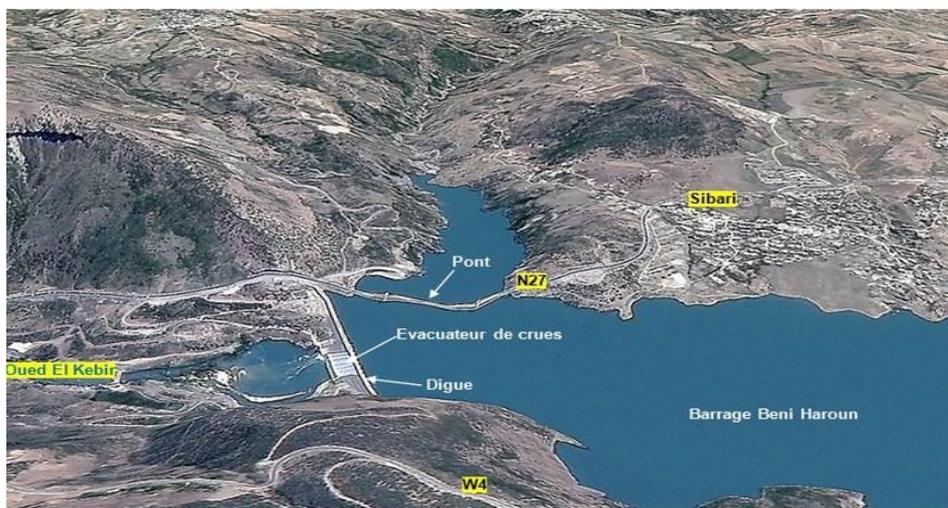


**Figure 5:** carte du Bassin versant Kebir- Rhumel présentant le positionnement des stations échantillonnées au cours de la période d'étude. (Bouchareb.N ;2013).

Les eaux du Rhumel recèlent un mélange d'apports pluviométriques, domestiques, industriels et agricoles.

Le bassin du Kebir-Rhumel se caractérise par une agriculture mixte, traditionnelle (irrigation gravitaire) et moderne (irrigation par canaux d'aspersion). La superficie actuellement irriguée dans le bassin est de 2 679 ha consommant un volume annuel de 27,65 hm<sup>3</sup> d'eau. Les principales activités des périmètres irrigués sont essentiellement les cultures maraichères et l'arboriculture. Les engrais les plus utilisés en agriculture sont les ammonitrates (NH<sub>4</sub>-NO<sub>3</sub> 33%) et les superphosphates (45%). Le tissu industriel est surtout concentré autour des grandes agglomérations (Constantine, El Khroub, Chelghoum Laid, Hamma Bouziane, Mila). (Bouchareb.N ;2013).

Dans le bassin versant Kebir-Rhumel, le barrage de Beni-Haroun (**fig 06**) a été construit en 2005 pour intercepter l'écoulement à partir des deux principales branches Rhumel et Kebir. Le barrage a été seulement exploité à partir de 2007, principalement pour la consommation et l'irrigation. Le barrage de Beni-Haroun s'impose comme le plus grand barrage d'Algérie par rapport à sa profondeur (118 m) ayant une capacité de 960 millions de m<sup>3</sup>. Ce gigantesque ouvrage comporte une station de pompage d'une puissance totale de 180 mégawatts, située à 50km 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 m<sup>3</sup>/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 d'Oued Athmenia (réservoir), dont le volume avoisine 20 millions m<sup>3</sup>, seront directement alimentées les villes de Constantine, d'El Khroub, de Aïn Smara, de Chelghoum Laïd, d'Oued Athmenia, d'Oued Seguin et de Téléghma.



**Figure 06:** carte géographique de barrage Beni-Haroun.(site web).

### **I.1. Climatologique:**

Le bassin du Rhumel est situé dans la zone méditerranéenne dont le climat est très fluctuant. Il est caractérisé par une forte variabilité spatio-temporelle, surtout entre le minima thermique et le maxima pluviométrique. Il se localise dans l'étage bioclimatique semi-aride caractérisé par une grande variabilité interannuelle de précipitation. Les facteurs climatologiques sont, dans l'ensemble, des variables aléatoires permettant d'expliquer quantitativement les variations du régime hydrologique. (Sebihi.Z ;2015).

#### **I.1.1. La pluviométrie :**

Le domaine des hautes plaines est cerné par l'isohyète 500 mm qui marque la limite méridionale du versant sud tellien, sauf à l'Est de Constantine où la limite remonte à 600 mm et même 700mm. Les pluies sont souvent orageuses et la majorité des oueds et Chaâbats sont secs en été.

Pour la période entre Janvier 2013 jusqu'en avril 2014, on observe une diminution remarquable des précipitations. A titre d'exemple, le taux des précipitations de février 2013 (111,9 mm) est nettement supérieur à celui de février 2014 (31 mm) où on note un déficit de 80.9mm. En 2013, le mois le plus humide est février (111,9mm), et le mois le plus sec, juillet (2,6mm).En 2014, sur la période de janvier à mai on atteint le maximum de pluie en Mars (79,0 mm), et le minimum en Avril (5,7mm) (Sebihi.Z ;2015).

#### **I.1.2. La température :**

La température est parmi les facteurs écologiques les plus importants du climat. Contrairement aux précipitations, les températures varient généralement peu. En 2013, la température moyenne mensuelle la plus élevée est enregistrée au mois de juillet (26°C), pendant que la plus faible est celle de février (5,9°C). Durant la période « Janvier2014 jusqu'au Avril2014 », le mois le plus chaud est avril (13,7°C), alors que le mois le plus froid est février (8,9°C). (Sebihi.Z ; 2015).

#### **I.1.3. Les vents :**

Le vent est un facteur climatique important vu ses caractéristiques principales : la direction et la force. Les vents ont un rôle fondamental dans la dispersion et la dissémination ainsi que le transport de particules de différentes tailles (poussière, aérosol...etc.) d'une région à une autre.

Les vents bénéfiques de cette région sont ceux de l'ouest qui déplace des masses d'air chargées d'humidité surtout en février et mars. Les vents dominants, de direction nord-est,

sont souvent secs et froids et apportent les pluies d’hiver. Les vents desséchants, ou sirocco, sont ceux du sud ; ils peuvent être brulants et augmentent l’évapotranspiration. Ils sont actifs durant la période estivale jusqu’en septembre.

La vitesse moyenne des vents est faible durant l’année 2013 et même le début de l’année 2014. Durant la période d’étude insérée entre Janvier2013 et Avril 2014 en observant qu’en 2013, la vitesse moyenne la plus élevée est celle de mars (4,1m/s) alors que la plus faible est enregistrée au mois d’octobre (2,1 m/s). Début 2014, la moyenne la plus élevée est notée en janvier (3,4m/s), tandis que la plus faible est enregistrée en avril (2,6m/s). (Sebihi. Z ;2015).

## II : Echantillonnage

L’échantillonnage a été effectué une fois par mois durant la période hydrologique 2018. Dans le bassin de Kebir- Rhumel 3 stations ont été choisies de façon raisonnée selon l’effet des barrages et les activités anthropiques. La première station située à l’embouchure permet de connaître les teneurs atteignant la mer. La deuxième station située entre l’embouchure et l’aval est supposée déterminer l’effet urbain et agricole sur la qualité chimique des eaux. La troisième station est située à l’aval du barrage Beni Haroun pour l’objet d’avoir la qualité des eaux déchargées.

**Tableau 1 :** positionnement des stations étudiées novembre 2017- mars-2018.

Station	Positionnement (latitude, longitude)
S3 (Station embouchure)	N36°29’45 .51' E6°06’14 .48'
S2 (Station intermédiaire)	N36°29’29 .99' E6°24’16 .50'
S1 (Station aval barrage)	N36°35’04.53' E6°16’35.01'

## III: Méthodes d’analyse chimiques

Les paramètres physiques ont été effectués à l’aide d’un multi-paramètre wtw 197i. Les méthodes d’analyses chimiques sont succinctement résumées dans le tableau 2.

Les paramètres de qualité générale des eaux tels que la salinité, la température les sels nutritifs (nitrates  $\text{NO}_3^-$ , nitrites  $\text{NO}_2^-$ , ammonium  $\text{NH}_4^+$ , phosphates  $\text{PO}_4^{3-}$ , NID : (azote inorganique dissous) ; les matières organiques : azote organique dissous (NOD), Ces paramètres sont dosés sur des échantillons d’eaux de surface conformément au protocole

d'analyse (Pearsons *et al.*, 1989 ; Aminot et Chaussepied, 1983 ; Rodier, 1984 ; Lorenzen, 1967).

Les teneurs en sels nutritifs et en matières organiques sont exprimées en micromoles par litre ( $\mu\text{moles. l}^{-1}$ ).

**Tableau 2:** Résumé des méthodes d'analyse des éléments chimiques.

Eléments	Méthodes	Références
Azote ammoniacal ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ )	Dosage spectrophotométrique ( $\lambda = 630 \text{ nm}$ )	Parsons <i>et al.</i> (1989)
Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )	Dosage spectrophométrique ( $\lambda = 543 \text{ nm}$ )	Parsons <i>et al.</i> (1989)
Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )	Réduction des nitrates en nitrites et dosage spectrophotométrique des nitrites ( $\lambda = 543 \text{ nm}$ )	Parsons <i>et al.</i> (1989)
Azote Organique Dissous (NOD)	Minéralisation en milieu basique et dosage indirecte de l'équivalent en nitrates Dosage spectrophotométrique : ( $\lambda = 543 \text{ nm}$ )	Parsons <i>et al.</i> (1989)
Phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	Dosage spectrophotométrique : ( $\lambda = 885 \text{ nm}$ )	Aminot et Chaussepied (1983)
Orthosilicates	Dosage spectrophotométrique : ( $\lambda = 810 \text{ nm} + \lambda = 660 \text{ nm} / 2$ )	Aminot et Chaussepied (1983)

- **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 :

$DO = aC + b$  ou  $DO$  est la densité optique ;  $C$  la concentration ;  $a$  est la pente = 0,0166 ;  $b$  l'ordonné à l'origine = 0,0223 et  $R^2$  (0,9982) le coefficient de détermination mesurant la qualité de l'ajustement de la droite au nuage des couples de points  $DO$  et  $C$ .

- **Dosage du Nitrates ( $\text{NO}_3$ )**

**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  $\text{NH}_4\text{Cl}$  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 543nm.

Les absorbances maximales sont relevées et les concentrations sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire  $\text{DO} = aC + b$  dont  $a = 0,0429$ ,  $b = 0,022$  et  $R^2 = 0,9992$ .

#### • Dosage du Nitrites ( $\text{NO}_2$ )

### Principe

En milieu acide ( $\text{pH} < 2$ ), les ions nitrites forment de l'acide nitreux  $\text{HNO}_2$  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  $R^2 = 0,9959$ .

- **Dosage de l'azote organique dissous (NOD)**

**Réactifs****Solution tampon**

- 75 g de  $NH_4Cl$  dans 400 ml d'eau distillé,
- Ajusté le PH avec  $NH_4OH$  jusqu'à 8,5,
- Compléter avec l'eau distillée jusqu'à 500 ml.

**Solution de l'oxydant**

- 120 g  $NaOH$  dans 2L d'eau distillé (A).
- Ajouter 6 g de  $K_2S_2O_8$  pour chaque 100 ml de la solution (A) pour obtenir l'oxydant.
- 40 ml ED + 6 ml oxydant puis le titrer par l'acide chlorhydrique jusqu'à ce que le pH atteigne la valeur entre 2,6 et 3,2. Le volume d'acide chlorhydrique ajouté c'est le X ml.

$NTD = NOD + NID$  avec  $NID = NO_3 + NO_2 + NH_4$

**Dosage**

- 4 ml de l'échantillon + 36 ED + 6 ml oxydant et chauffé 30 min et en plus laisse refroidir
- On fait le titrage (on ajoute X ml (200 ml HCl dans 1,7L ED).
- On ajoute 3 ml de la solution tampon.
- Faire passer par la colonne et récupérer 25 ml.
- On ajoute 0,5 sulfanilamide et 0,5 de NED.
- Spectrophotomètre (543 nm).

Les concentrations d'azote organique dissous sont déterminées à l'aide de la courbe d'étalonnage, l'équation linéaire  $DO = aC + b$  dont  $a = 0,0429$ ,  $b = 0,022$  et  $R^2 = 0,9992$ .

- **Dosage des phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**

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  $\text{DO} = aC + b$  dont  $a = 0,0227$ ,  $b = 0,013$  et  $R^2 = 0,9974$ .

- **Dosage des silicates  $\text{Si}(\text{OH})_4$  ou  $\text{SiO}_4$**

### 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°C): 20 g de molybdate d'ammonium  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  dans 500 ml d'eau distillé.

A conserver à l'abri de la lumière.

Solution d'acide sulfurique à 4,5 M.

- R1 : 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.

- R2 : Solution d'acides oxalique et sulfurique

Introduire 800 ml d'eau distillé dans une fiole, ajouter avec précaution 100 ml d'acide sulfurique concentré.

Ajouter 30 g d'acide oxalique  $((\text{COOH})_2, 2\text{H}_2\text{O})$  et compléter à 1L.

Ce réactif est stable 1 mois à température ambiante

#### **Solution d'acide ascorbique**

Dissoudre à froid: 7,5 g d'acide ascorbique  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$  dans 250 ml d'eau distillé

La dérive du signal dans un gradient de salinité est de -4 % entre l'eau douce et l'eau de mer.

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  $R^2 = 0,9986$ .

- **Matières en suspension (MES)**

En terme de transport solide en suspension les échantillons prélevés ont été filtrés sur des filtres Whatman GF/C (0,5  $\mu\text{m}$  de porosité), afin de retenir toutes les particules de taille supérieures de 0,5-1  $\mu\text{m}$  le filtre est séché et pesé avant et après filtration. La concentration en MES est le résultat du rapport entre la différence de poids des filtres pour le volume filtré correspondant.

# **Chapitre III :**

## **Résultats Et**

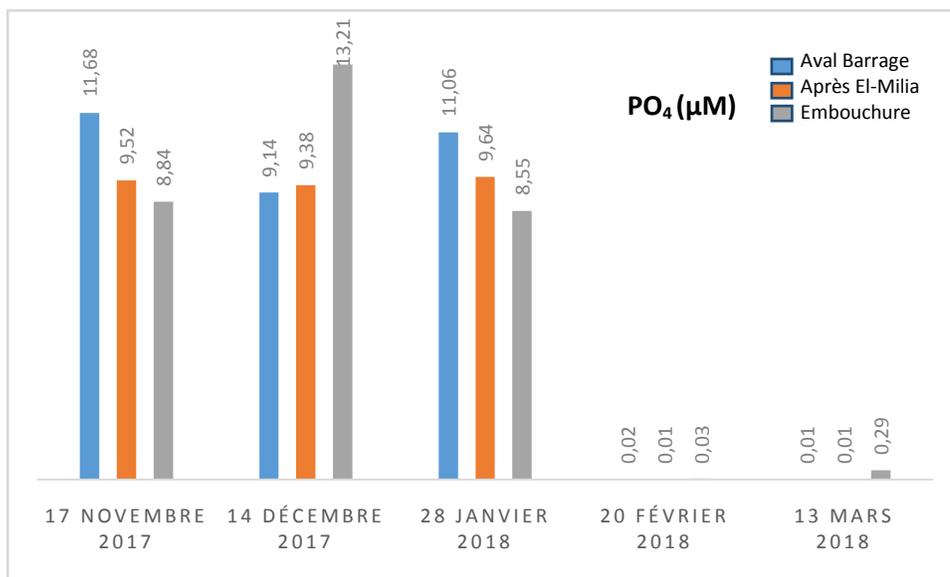
### **discussion**

**I. Distribution de N, P et Si en aval, après « El Milia » et à l’embouchure d’Oued Kebir-Rhumel :**

**I.1 Distribution de phosphore (PO<sub>4</sub>) :**

Les teneurs en phosphates a l’aval de barrage Beni-Haroun fluctuaient entre 0.01mol/l et 11.68 µmol/l avec une moyenne de 6.38 µmol/l (Fig 07). nous remarquait au cours de la période d’étude une valeur maximale dans le mois de novembre qui peut être causée par la nature des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique, en suite et après l’agglomération d’El-Milia les teneurs en phosphates fluctuent entre 9.64 µmol/l et 0.01µmol/l avec une moyenne de 5.71 µmol/l (Fig 07). On remarque également que les concentrations sont décroissent au cours de la période d’étude dans le mois janvier en raison d’existence d’une station d’épuration avant le site d’échantillonnage ou peuvent être en raison de l’effet de métabolisme des organismes vivants.

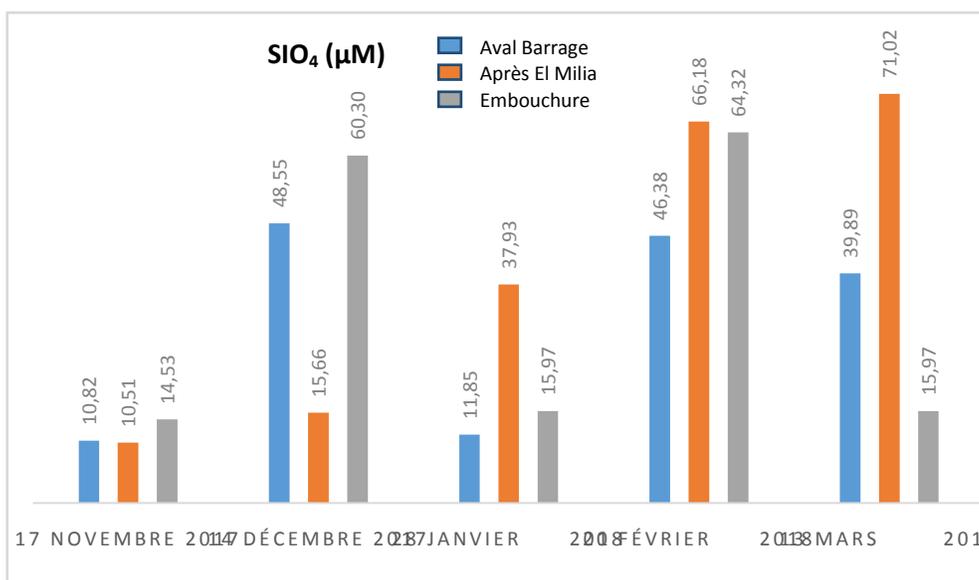
A l’embouchure d’oued Kebir- Rhumel les teneurs en phosphates changent entre 0.03 µmol/l et 13.21 µmol/l avec une moyenne de 6.18 µmol/l (Fig 07). La concentration les plus importante au cours de la période d’étude est enregistrée dans le mois de décembre en raison probablement des rejets urbains, domestiques et d’autres activités agricoles.



**Figure 07:** Variations mensuelles des teneurs en PO<sub>4</sub> au cours de la période d’étude Novembre 2017-Mars 2018 dans les stations S1 (Aval Barrage Beni-Haroun), S2 (Après L’agglomération d’El Milia) et S3 (Embouchure d’Oued Kebir-Rhumel).

**I.2 Distribution de Silicium (SiO<sub>4</sub>) :**

Les résultats obtenus à l’embouchure d’Oued Kebir-Rhumel montre des teneurs en silicium qui varient entre 14.53µmol/l et 64.32 µmol/l avec une moyenne de 34.22 µmol/l (**Fig 08**). La concentration la plus importante au cours de la période d’étude est enregistrée dans le mois février en raison, probablement du cycle hydrologique (forte précipitation dans ce mois). Alors que à l’aval de Barrage Beni-Haroun les teneurs en silicium fluctuent entre 10.82 µmol/l et 48.55 µmol/l avec une moyenne de 31.50 µmol/l. On observe une faible valeur au cours de la période d’étude dans le mois décembre en raison probablement au effet de barrage qui peut s’expliquer par la rétention de cette élément dans le barrage (utilisé par les diatomées). En suite et dans la station après l’agglomération d’El Milia les teneurs en silicium fluctuent entre 71.02µmol/l et 10.51µmol/l avec une moyenne de 40.26 µmol/l (**Fig 08**). La concentration la plus importante au cours de la période d’étude enregistrée dans le mois mars éventuellement le lessivage dans le fond sous forme de boue à diatomées.

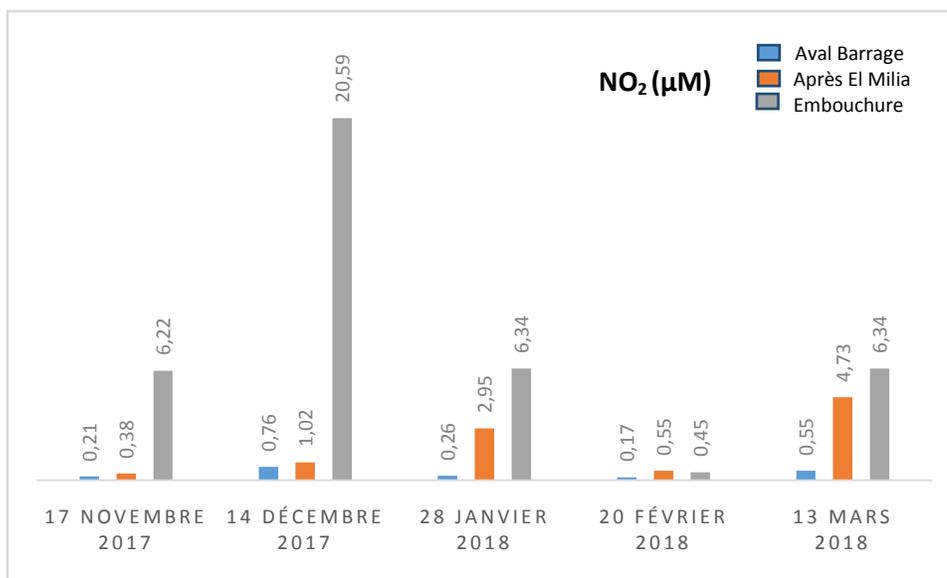


**Figure 08:** Variations mensuelles des teneurs en SiO<sub>4</sub> au cours de la période d’étude Novembre 2017-Mars 2018 dans les stations S1 (Aval Barrage Beni-Haroun), S2 (Après L’agglomération D’el Milia) et S3 (Embouchure d’Oued Kebir-Rhumel).

**I.3. Distribution des formes azotées (NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NID, NOD) :**

**I.3.1 Distribution des Nitrites (NO<sub>2</sub>) :**

A l’embouchure d’oued kebir Rhumel les teneurs en nitrites variaient entre 0.45 µmol/l et 20.59 µmol/l avec une moyenne de 7.99 µmol/l (**Fig 09**), la concentration la plus importante au cours de la période d’étude enregistrée dans le mois décembre en raison possiblement de fortes activités bactériologiques. En suite, et à l’aval de barrage Beni-Haroun les teneurs en nitrites fluctuent entre 0.76 µmol/l et 0.17 µmol/l avec une moyenne de 0.39 µmol/l (**Fig 09**). La concentration la plus faible au cours de la période d’étude enregistrée dans le mois février en raison probablement au l’effet de barrage qui se traduit par la rétention des sels nutritifs et la production des matières organiques (L’effet de l’activité biologique dans le barrage). Après l’agglomération d’El Milia les teneurs en nitrites changent entre 0.38µmol/l et 4.73 µmol/l avec une moyenne de 1.92 µmol/l (**Fig 09**). La concentration augmentent au cours de la période d’étude en raison probablement aux activités anthropiques exercé dans le bassin.

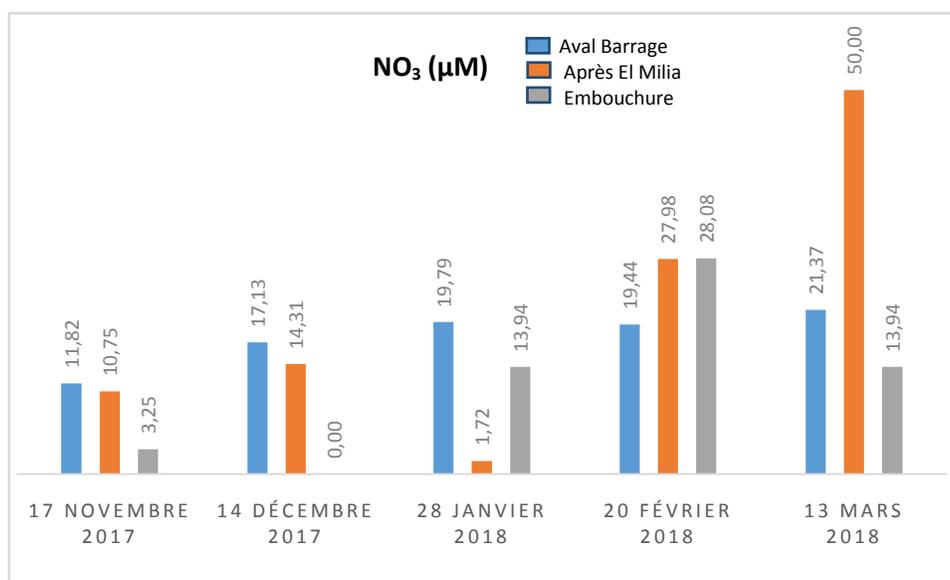


**Figure 09:** Variations mensuelles des teneurs en NO<sub>2</sub> au cours de la période d’étude Novembre 2017-Mars 2018 dans les stations S1 (Aval Barrage Beni-Haroun), S2 (Après L’agglomération D’el Milia) et S3 (Embouchure d’Oued Kebir-Rhumel).

### I.3.2 Distribution des Nitrate (NO<sub>3</sub>) :

A l’embouchure d’oued kebir Rhumel les teneurs en nitrate variaient entre 0.01µmol/l et 28.08µmol/l avec une moyenne de 11.84 µmol/l (**Fig 10**). On remarque que la concentration la plus importante au cours de la période d’étude enregistrée dans le mois février qui peut être se traduir par l’effet de l’apport atmosphérique (les précipitations). Alors à l’aval de barrage Beni-Haroun les teneurs en nitrates échangent entre 11.82 µmol/l et 21.37 µmol/l avec une moyenne de 17.91 µmol/l. La présence de NO<sub>3</sub> est naturelle au cours de la période d’étude enregistrée est liée en grande partie au lessivage des sols constituent le bassin versant.

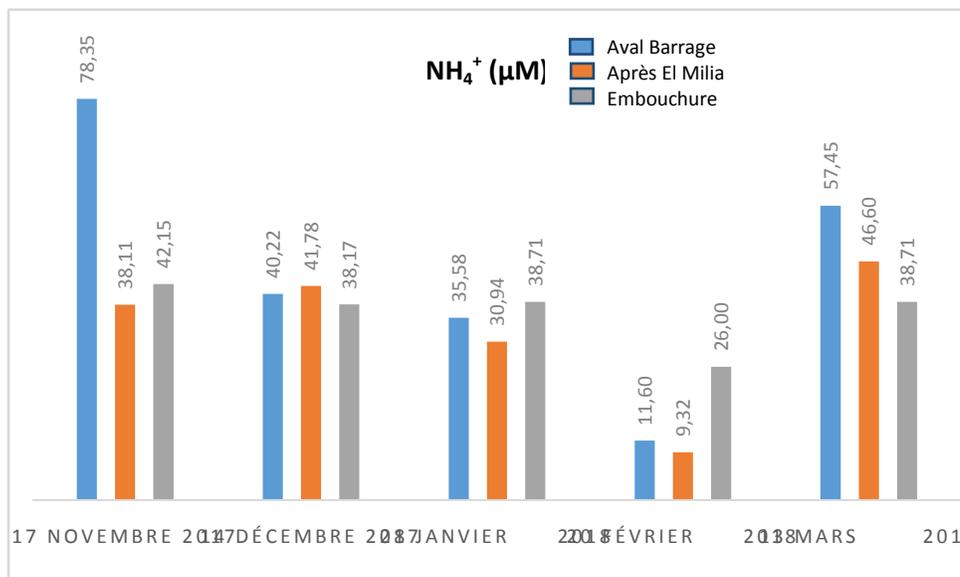
De plus après l’agglomération d’El Milia, les teneurs en nitrates fluctuent entre 1.72µmol/l et 50 µmol/l avec une moyenne de 20.95 µmol/l (**Fig 10**), les concentrations la plus remarquables au cours de la période d’étude est enregistrée dans le mois mars en raison peut être à l’utilisation des engrais azotés, aux résidus animaux, fumiers, purins, aux eaux usées domestiques et aux effluens des stations d’épuration.



**Figure 10:** Variations mensuelles des teneurs en NO<sub>3</sub> au cours de la période d’étude Novembre 2017-Mars 2018 dans les stations S1 (Aval Barrage Beni-Haroun), S2 (Après L’agglomération D’el Milia) et S3 (Embouchure d’Oued Kebir-Rhumel).

### I.3.3 Distribution de l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) :

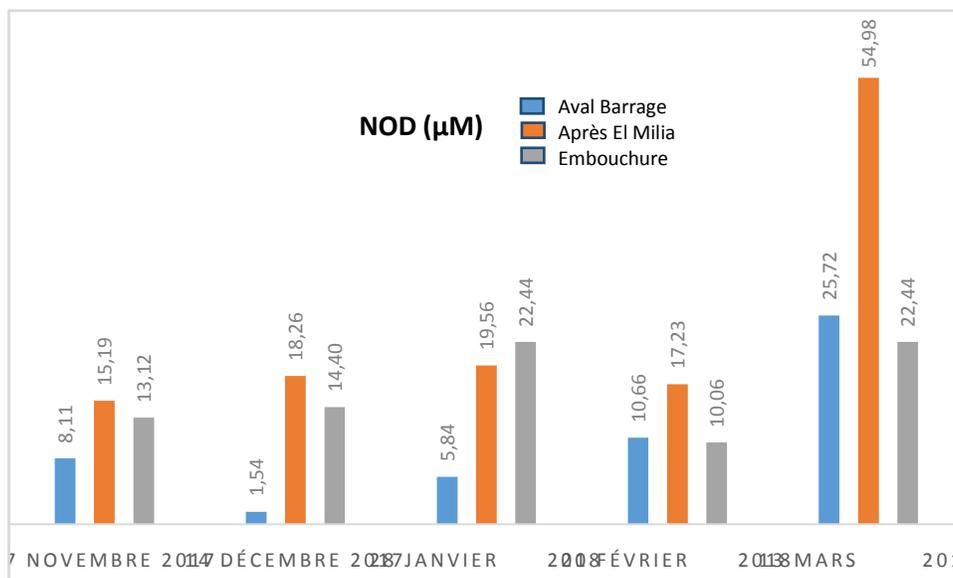
Au cours de la période d'étude, et à l'embouchure d'Oued Kebir-Rhumel les teneurs, en ammonium fluctuent entre 26 µmol/l et 42.15 µmol/l avec une moyenne de 36.75 µmol/l, par contre à l'aval de barrage Beni-Haroun les teneurs en ammonium fluctuent entre 11.60 µmol/l et 78.35 µmol/l avec une moyenne de 44.64 µmol/l (**Fig 11**). La valeur la plus importante au cours de la période d'étude est enregistrée dans le mois novembre qui peut être provient principalement des rejets domestiques, agricoles et dans une moindre mesure des rejets industriels. En suite et après l'agglomération d'El Milia les teneurs en ammonium varient entre 46.60 µmol/l et 9.32 µmol/l avec une moyenne de 33.35 µmol/l (**Fig 11**). la valeur la plus faible en ammonium au cours de la période d'étude est enregistré dans le mois de février qui se traduit par l'importance apport en eau dans ce mois qui participer également a la dilution des concentration de l'ammonium par contre la valeur remarquable enregistré dans le mois mars en raison de l'effet des pratiques agricoles et urbaines.



**Figure11:** Variations mensuelles des teneurs en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> au cours de la période d'étude Novembre 2017-Mars 2018 dans les stations S1 (Aval Barrage Beni-Haroun), S2 (Après L'agglomération D'El Milia) et S3 (Embouchure d'Oued Kebir-Rhumel).

**I.3.4 Distribution de l’azote organique dissous (NOD) :**

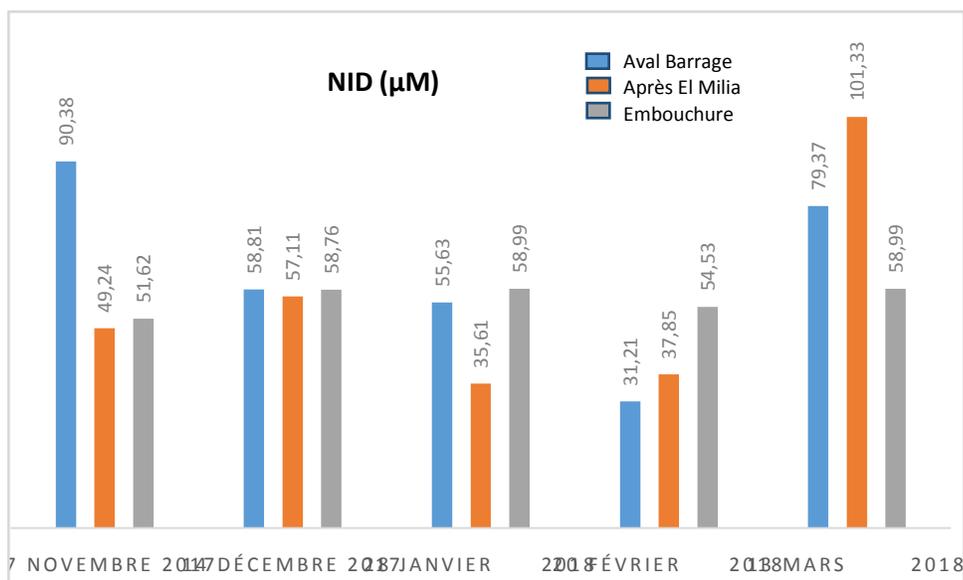
En l’aval de barrage Beni-Haroun, les teneurs en azote organique dissous varient entre 1.54µmol/l et 25.72µmol/l avec une moyenne de 10.37µmol/l. Dans cette station la valeur remarquable au cours de la période hydrologique est enregistrée dans le mois mars qui se traduit par l’effet de barrage (production des matières organiques à l’aval de barrage). De plus, après l’agglomération d’El Milia les teneurs en azote organique dissous changent entre 15.19 µmo/l et 54.98 µmol/l avec une moyenne de 25.05 µmol/l (**Fig 12**). La valeur remarquable au cours de la période d’étude notée dans le mois mars en raison peuvent être du métabolisme des microorganismes vivants, de la décomposition de la matière organique et des eaux de pluie. Egalement à l’embouchure d’Oued Kebir Rhumel, les teneurs en azote organique dissous varient entre 10.06 µmol/l et 22.44 µmol/l avec une moyenne de 16.49 µmol/l (**Fig 12**). La valeur le plus faible au cours de la période d’étude est enregistrée dans le mois février a la suite d’une faible activité microbiologique. Nous notons que la station 2 montre des teneures importantes que la station 1et 3 ce qui se traduit également par l’effet anthropique.



**Figure 13:** Variations mensuelles des teneurs en **NOD** au cours de la période d’étude Novembre 2017-Mars 2018 dans les stations S1 (Aval Barrage Beni-Haroun), S2 (Après L’agglomération D’El Milia) et S3 (Embouchure d’Oued Kebir-Rhumel).

**I.3.5 Distribution de l’azote inorganique dissous (NID) :**

En aval de barrage Beni-Haroun les teneurs en azote inorganique dissous varient entre 31.21 $\mu\text{mol/l}$  et 90.38 $\mu\text{mol/l}$  avec une moyenne de 63.08 $\mu\text{mol/l}$ . On remarque une valeur remarquable au cours de la période hydrologique enregistrée dans le mois novembre qui se traduit par l’apport anthropique. Après l’agglomération d’El Milia les teneurs en azote inorganique dissous échantillent entre 35.61 $\mu\text{mol/l}$  et 101.33 $\mu\text{mol/l}$  avec une moyenne de 56.22  $\mu\text{mol/l}$  (**Fig 13**). la valeur le plus élevée au cours de la période d’étude est enregistrée dans le mois mars en raison principalement des rejets domestiques, agricoles et industriels. Egalement à l’embouchure d’oued Kebir Rhumel, les teneurs en azote inorganique dissous varient entre 51.62  $\mu\text{mol/l}$  et 58.99  $\mu\text{mol/l}$  avec une moyenne de 56.57  $\mu\text{mol/l}$  (**Fig 13**), La valeur le plus faible au cours de la période d’étude est enregistrée dans le mois janvier cette diminution de (NID) peut être liée à son assimilation par les végétaux.



**Figure 13:** Variations mensuelles des teneurs en NID au cours de la période d’étude Novembre 2017-Mars 2018 dans les stations S1 (Aval Barrage Beni-Haroun), S2 (Après L’agglomération D’El Milia) et S3 (Embouchure d’Oued Kebir-Rhumel).

**II. Flux des nutriments à l’embouchure d’Oued Kebir-Rhumel :**

En ce qui concerne le flux des nutriments à l’embouchure, nos résultats montrent clairement que la mer reçoit des quantités importantes en termes d’azote, de phosphore et de silicium au cours de la période hydrologique de novembre 2017-mars 2018. Cette masse importante des nutriments déchargés à la mer résulte de l’ensemble des facteurs anthropiques et naturels.

En termes d’azote inorganique dissous (NID) la mer reçoit des quantités variant entre 3.98 kg/j et 25.79 kg/j (**tableau 03**), dont l’ammonium représente la fraction majoritaire dans l’azote inorganique avec une portion entre 48% et 82%. Les nitrates représentent 0.1% et 51.5 % et les nitrites représentent entre 1% et 35%. Également l’oued Kebir-Rhumel décharge à la mer des quantités en azote organique dissous (NOD) variant entre 25kg/j et 215.5 kg/j (**tableau 03**). En termes de phosphore (PO<sub>4</sub>) des eaux déchargées à la mer montre des teneurs variant entre 0.03 kg/j et 11.7 kg/j. Également les quantités de silicium varient entre 2.2 kg/j et 103.6 kg/j. Sur un autre plan géochimique et selon des rapports de Redfield les eaux déchargées à la mer montrent des rapports déséquilibrés (Si :N varié entre 0.5 et 2.3, Si :P entre 1.5 et 2027 et également N :P entre 2 et 860). Ces modifications auront des répercussions certaines sur le fonctionnement des écosystèmes côtiers (**tableau 03**).

**Tableau 03 :** flux (kg/j) des nutriments à l’embouchure d’Oued Kebir-Rhumel au cours de la période novembre 2017-mars 2018.

Flux	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (kg/j)	NO <sub>3</sub> (kg/j)	NO <sub>2</sub> (kg/j)	NOD (kg/j)	NID (kg/j)	SiO <sub>4</sub> (kg/j)	PO <sub>4</sub> (kg/j)	N/P	Si/N	Si/P
<b>09 Nov-2017</b>	3.25	0.25	0.48	24.130	3.98	2.24	1.51	2.63	0.56	1.48
<b>14 Déc-2017</b>	5.87	0.01	3.17	52.794	9.04	18.54	4.50	2.008	2.05	4.12
<b>28 Janv-2018</b>	11.12	4.00	1.82	153.652	16.94	9.17	5.44	3.11	0.54	1.68
<b>20 Fév-</b>	12.30	13.28	0.21	113.357	25.79	60.83	0.03	859.66	2.35	2027.66

<b>2018</b>										
<b>13 Mars 2018</b>	15.60	5.62	2.55	215.547	23.77	12.87	0.26	91.42	0.54	49.5

**III. Evaluation des bilans en eau, matière en suspension (MES) et le taux des sels dissous (TDS) à l’embouchure d’oued Kebir –Rhumel :**

La quantité d’eau douce déchargée à la mer varie selon la rivière entre  $1.3 \cdot 10^5$  et  $8 \cdot 10^5$  m<sup>3</sup>/j (**Tableau 04**). Les masses en MES transférées à la mer à partir de l’embouchure du Kebir-Rhumel s’élèvent à 38.65 kg/j (**Tableau 04**). En terme de TDS la mer reçoit entre  $3.42 \cdot 10^3$  kg/j et  $29.86 \cdot 10^3$  kg/j

**Tableau 04 :** Bilans en eau, MES et TDS au cours du période d’étude novembre 2017-mars 2018.

<b>Bilan</b>	<b>Débit (m<sup>3</sup>/j)</b>	<b>MES (kg/j)</b>	<b>TDS (kg/j)</b>
<b>09 Nov-2017</b>	$1.3 \cdot 10^5$	0.1	$3.42 \cdot 10^3$
<b>14 Déc-2017</b>	$2.6 \cdot 10^5$	5.03	$5.65 \cdot 10^3$
<b>28 Janv-2018</b>	$4.8 \cdot 10^5$	4.69	$21.29 \cdot 10^3$
<b>20 Fév-2018</b>	$8 \cdot 10^5$	38.65	$9.35 \cdot 10^3$
<b>13 Mars 2018</b>	$6.8 \cdot 10^5$	7.68	$29.86 \cdot 10^3$

## Conclusion

Les eaux de rivière Kebir-Rhumel interceptées et stockées dans le barrage Beni-Haroun ont sensiblement réduit leur débit à l'aval de barrage. De même, le barrage joue le rôle de piège des nutriments de l'eau et des matières en suspensions. Les résultats obtenus au cours de notre étude montrent clairement que les eaux d'Oued Kebir-Rhumel semblent altérées par la suite des déchets principalement urbains et agricoles. Le transfert à la mer de la matière organique dissoute (NOD) est de l'ordre 23.7 kg/j dans le mois mars 2018, alors que l'azote inorganique dissoute (NID) est de l'ordre de 215,5 kg/j dans le mois de mars dont le NOD représente la fraction majoritaire de l'azote totale dissoute avec une portion de 90%. Très généralement, les teneurs en  $\text{SiO}_4$  restent faibles et sont bien inférieures aux valeurs mondiales se situant autour de 150  $\mu\text{M}$ . Ceci est certainement le fait de la rétention dans le barrage en plus des effets des érosions.

Au terme de ce travail, certaines perturbations et altérations de la zone d'étude sont révélées. Nous pouvons déduire les observations suivantes :

1. La pollution chimique se traduit par des modifications de caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur.
2. On peut dire que l'Oued Rhumel est affecté par la pollution organique et chimique avec le temps.
3. L'embouchure d'Oued Kebir-Rhumel entraîne à la mer des eaux fortement enrichies en  $\text{NH}_4$  et en  $\text{PO}_4$ .
4. Les eaux déchargées à la mer paraissent également altérées en termes de rapports N/P et Si/P.
5. Il est clair que le grand barrage de Beni-Haroun aura remarquablement réduit les flux de l'ensemble des nutriments minéraux en direction de la mer.
6. On considère enfin que les eaux d'Oued Kebir-Rhumel est fortement anthropisé à plusieurs titres :
  - ▶ Fortes teneurs en  $\text{NH}_4$  et  $\text{PO}_4$ .
  - ▶ Réduction des teneurs en  $\text{SiO}_4$ .
  - ▶ Déséquilibre des rapports Si/N/P.

## Référence Bibliographique:

## A

- **Agence des Bassins hydrographiques Seybouse-Mellag-constantinois (ABH), 1999.** Cahiers de l'agence N°2, 25p.
- **Agence des Bassins hydrographiques Seybouse-Mellag-constantinois (ABH), 2002.** Cahiers de l'agence N°7, 32p. Vörösmarty, C.J., Sahagian, D., 2000. Anthropogenic disturbance of the terrestrial water cycle. *BioScience*, 50 (9): 753-765.
- **Aminot, A., Chaussapied, M., 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin., 395p.

## B

- **Bethoux J.P., Morin P., Chaumery C., Connan O., Gentili B., Ruiz-Pino D. 1998.** Nutrients in the Mediterranean sea, mass balance and statistical analysis of concentrations with respect to environmental change. *Marine Chemistry*. 63, 155-169.
- **Billen, G., Garnier, J., 2007.** River basin nutrient delivery to the coastal sea: assessing its potential to sustain new production of non-siliceous algae. *Mar. Chem.* 106: 148-160.
- **Billen, G., Lancelot, C., Meybeck, M., 1991.** N, P, and Si retention along the aquatic continuum from land to ocean. In: Mantoura, R.F.C., Martin, J.M., Wollast, R., (Eds). *Ocean Margin Processes in Global Change*. Wiley & Sons, Chichester, pp. 19-44.
- **Benayache N, Y. 2014.** Evaluation du niveau de la pollution organique des eaux des barrages béni haroun et hammam Grouze. 50p.
- **Bosc, E., Bricaud, A., Antoine, D., 2004.** Seasonal and inter-annual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean Sea, as derived from 4 years of SeaWiFS observations. *Global Biogeochem. Cy.* 18, GB1005, doi: 10.1029/2003GB002034.
- **Bouchareb, N. 2013.** Thèse Présentée en vue de l'obtention de diplôme de : Doctorat. Transfert et géochimie de l'azote, du phosphore et du Silicium des bassins des oueds kebir-Rhumel, Kbir-ouest et Saf-Saf au littoral récepteurs. 89p
- **Bougis, P. 1974.** Ecologie du plancton marin, Tome I le phytoplancton. Masson & Cie, Paris, 192p.
- **Boulion, V.V., 1994.** Regularities of the primary production in limnetic ecosystems. St Petersburg, Russia. in Russian.

- **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.

## C

- **Cloern, J.E., 2001.** Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 210: 223-253.

## H

- **Håkanson, L., 2006.** A dynamic model for suspended particulate matter (SPM) in rivers. *Global. Ecol. Biogeogr.*, 15: 93-107.
- **Howarth, R.W., Billen, G., Swaney, D., Townsend, D., Jaworski, N., Lajtha, K., Downing, J.A., Elmgren, R., Caraco, N., Jordan, T., Berendse, E., Freney, J., Kudeyarov, V., Murdoch, P., Zhao-Liang, Z., 1996.** Regional nitrogen budgets and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: Natural and human influences. *Biogeochemistry* 35: 75-139.
- **Humborg, C., Rahm, L., Conley, D.J., Tamminen, T., Bodungen, V.o.n., 2008.** Silicon and the Baltic Sea. Long-term Si decrease in the Baltic Sea-A conceivable ecological risk? *J. Mar. Syst.* 73: 221-222.

## I

- **Institut technique de parc (ITP). 2013.** Phosphore et environnement. 30p.

## G

- **G.R., Devries, T., 1982.** The marine phosphorus cycle. *Am. J. Sci.*, 282: 474-511

## K

- **Krom M.D., Kress N., Brenner S. 1991.** Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Limnol. Oceanogr.* 36(3), 424-432.

## L

- **Ludwig, W., Dumont, E., Meybeck, M., Heussner, S., 2009.** River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Sea: Major drivers for ecosystem

changes during past and future decades. Prog. Oceanogr., doi: 10.1016/j.pocean.2009.02.001.

## M

- **Margat, J., 2004.** L'eau dans le bassin méditerranéen : situation et prospective. Les fascicules du Plan Bleu. MAP Technical Report Series No. 158, Athena, 366p.-
- **Margat, J., Treyer, S., 2004.** L'eau des méditerranéens : situation et perspectives. Plan Bleu PNUE/PAM, Sophia-Antipolis.
- **Mathieu, canton, 2009,** dynamique des éléments biogènes dans le coninium fluvio-estuarien de la zone hydrologique d'influence du bassin d'arcachon. 211p.
- **Mehennaoui- Afri F. Z., 1998.** Contribution à l'étude physico-chimique et biologique de l'Oued Kébir-Rhumel et de ses principaux affluents. Mémoire de magistère en Ecologie. Université Mentouri, Constantine, 238p.
- **Meybeck, M., 2003.** Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 358: 1935-1955.
- **Meybeck, M, 1982.** Carbon, nitrogen, phosphorus transport by world rivers. Am. J. Sci., 282: 401-450.
- **Monaghan, E.J., Ruttenberg, K.C., 1999.** Dissolved organic phosphorus in the coastal ocean: Reassessment of available methods and seasonal phosphorus profiles from the Eel River Shelf. Limnol. Oceanogr., 44(7): 1702-1714.
- **Montagna, P.A., Alber, M., Doering, P., Connor, M.S., 2002.** Freshwater inflow: Science, policy and management. Estuaries 25: 1243-1245.
- **Moutin T, Raimbault P. 2002.** Primary production, carbon export and nutrients availability in western and eastern Mediterranean Sea in Early summer 1996 (MINOS cruise). *Journal of marine systems.* 33-34, 273-288.

## O

- **Ounissi, M., Frehi, H., Khelifi-Touhami, M., 1998.** Composition et abondance du zooplancton en situation d'eutrophisation dans un secteur côtier du golfe d'Annaba (Algérie). *Annales de l'Institut Océanographique*, 74, 13-28.
- **Ounissi, M., Frehi, H., 1999.** Variability of microphytoplankton and Tintinnida (ciliated protozoa) in an eutrophic sector of the Annaba Gulf (SW Mediterranean). *Cahiers de Biologie Marine*, 40 (2), 141-153.

## P

- **PNUE/ P.b., 2003.** Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens. Sophia Antipolis, Plan Bleu, ISBN : 2-912081-13-0. 70p.

## R

- **Rabalais, N.N., Turner, R.E., 2001.** Coastal hypoxia. Coastal Estuary Studies 52. Washington DC: American Geophysical Union.
- **Rabalais, N.N., 2002.** Nitrogen in aquatic ecosystems. *Ambio* 31: 102-112.
- **Ragueneau, O., Conley, D.J., Leynaert, A., Longphurt, S.N., Slomp, C.P., 2006.** Responses of coastal ecosystems to anthropogenic perturbations of silicon cycling. In: Unger D, Humborg C, Tac AdN, Ittekkot V (eds). The silicon cycle. Human Perturbations and Impacts on aquatic systems. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) Series 66, p296.
- **Raimbault P., Coste B. 1990.** Very high values of nitrate: phosphate ratio (>30) in the subsurface layers of western Mediterranean Sea. *Rapp. Comm. Int. Mer. Mediterr.* 32(1), C-18.
- **Redfield, A.C., 1958.** The biological control of chemical factors in the environment. *American Science*, 46: 205-222.
- **Roose, E.O., 1991.** Conservation des sols en zones méditerranéennes. Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive : la GCES-Cahiers ORSTOM, Série Pédologie, 24 : 145-181.

## S

- **Sebihi, Zineb, 2015.** La qualité physico-chimique des eaux de l'oued rhumel. 40p.
- **Shiklomanov, I.A., 2000.** World water resources and water use: Present assessment and outlook for 2025. In: Rijsberman FR, ed. *World Water Scenarios*. London: Earthscan, pp. 160-203.

## T

- **Tardat-Henry M et Beaudry J., 1984.** Chimie des eaux. Ed. Le Griffon d'argile inc, 340 p.
- **Turley, C. M., 1999.** The changing Mediterranean Sea. A sensitive ecosystem? *Prog. Oceanogr.* 44:387-400.

- **Turner, R.E., Rabalais, N., Justic, D., Dortch, Q., 2003.** Global patterns of dissolved N, P and Si in largerivers. *Biogeochemistry* 64: 297-317.

## U

- **Unated statese Environmental Protection Agency (US/EPA), 2001.** Ecological Risk. Assessment Bulletins, accessible au site internet: <http://www.epa.gov/region4/superfund/programs/riskassess/ecolbul.html>

## W

- **Wedepohl, K.H., 1995.** The composition of the continental crust. *Geoch.Cosmoch. Acta.*, 59(7): 1217 1232.
- **Wahby, S.D., Bishara, N.F., 1980.** The effect of the River Nile on Mediterranean water, before and after the construction of the High Dam at Aswan. In: *River inputs to ocean systems*. pp. 311-318. UNESCO/IOC/UNEP.
- **Wetzel, R.G., 2001.** *Lake and River Ecosystems*, 3rd Edition, Academic Press, San Diego., 1006p.
- **Wetzel, R.G. 1983.** *Limnology*. Ed. Saunders, Philadelphia, 860p. Le Gal, Y., 1989. *Biochimie marine*. Ed. Masson, Paris, 222p.
- **Wollast, R., Mackenzie, F.T., 1983.** The global cycle of silica, in: *Silicon geochemistry and biogeochemistry*, edited by: Aston, S. E., Academic Press, London, pp. 39-76.
- ([http://fr.wikipedia.org/wiki/ Cycle\\_du\\_phosphore? oldid =110191864](http://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_du_phosphore?oldid=110191864)).
- ([http://fr.wikipedia.org/wiki/ Cycle\\_du\\_phosphore?oldid=110191864](http://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_du_phosphore?oldid=110191864)).

**Chapitre I :**  
**Synthèse**  
**bibliographique**