

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département : Hydraulique

Laboratoire des recherches scientifiques

Mémoire de projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique

Etude de la qualité des eaux du barrage Cheffia à l'aide de l'indice de qualité.

Auteur : HALLAB Safa

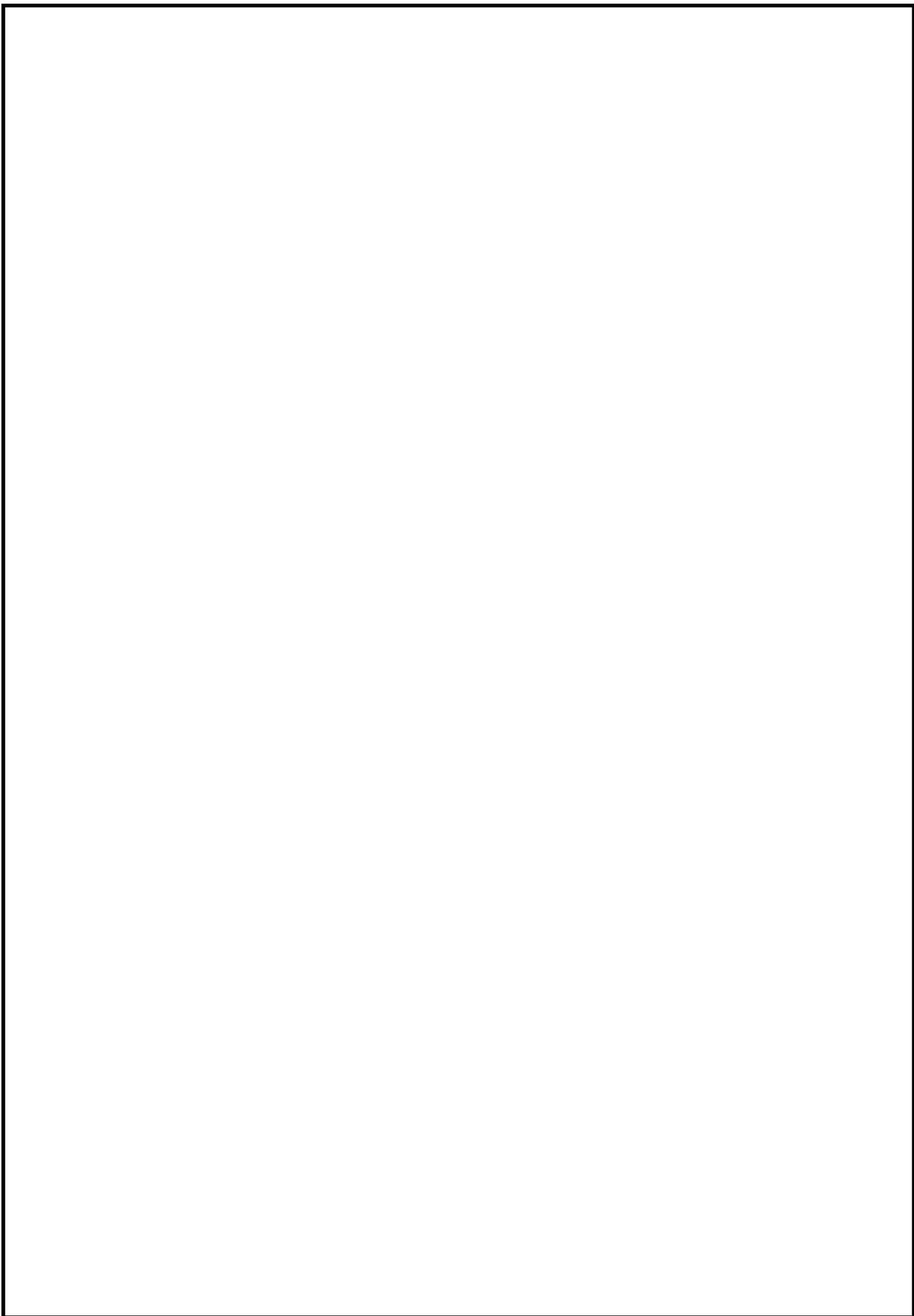
Sous la direction de :

Pr Jazia ARRAR	Professeur	ENP
Mr Hamza BOUGERRA	MCB	U/Annaba

Présenté est soutenu publiquement le 10/07/2021.

Composition de Jury :

Président :	Pr Saâdia BENMAMAR	Professeur	ENP
Promoteur :	Pr Jazia ARRAR	Professeur	ENP
	Mr Hamza BOUGERRA	MCB	U/Annaba
Examineur :	Dr Meriem CHETTIB	MAB	ENP
	Mr Fahim BORDJIHEN	Doctorant	ENP



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



Département : Hydraulique

Laboratoire des recherches scientifiques

Mémoire de projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique

Etude de la qualité des eaux du barrage Cheffia à l'aide de l'indice de qualité.

Auteur : HALLAB Safa

Sous la direction de :

Pr Jazia ARRAR

Professeur

ENP

Mr Hamza BOUGERRA

MCB

U/Annaba

Présenté est soutenu publiquement le 10/07/2021.

Composition de Jury :

Président : Pr Saâdia BENMAMAR

Professeur

ENP

Promoteur : Pr Jazia ARRAR

Professeur

ENP

Mr Hamza BOUGERRA

MCB

U/Annaba

Examineur : Dr Meriem CHETTIB

MAB

ENP

Mr Fahim BORDJIHEN

Doctorant

ENP

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents.

Ma mère qui m'a consacré tout son cœur, tout son Espoir qui se compte en termes de soupirs infinis. Mon Ange qui, jamais ne se plaint, ne Demande de contrepartie, à part que je sois comme elle a tant espéré. À celle qui n'a jamais Cessé de prier Dieu pour que tous mes pas soient couronnés de succès et mes vœux soient Exaucés.

Mon père qui sans lui je ne serais pas arrivé jusqu'ici. J'espère toujours Rester fidèle aux valeurs morales qu'il m'a apprises.

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de ma formation.

À tous mes amis avec qui j'ai passé des années inoubliables.

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier le DIEU qui m'a donné la force, le courage et la volonté pour compléter ce modeste travail.

Mes remerciements vont également à ma chère famille qui a le droit de recevoir mes chaleureux remerciements pour le courage et le sacrifice qu'elle a consentie pendant la durée de mes études en leurs souhaitant une longue vie pleine de joie et de santé.

Mes remerciements s'étendent également à Mr H. Bouguerra et Mme J. Arrar pour leurs bonnes explications qui m'ont éclairé le chemin de la recherche et leur collaboration pour l'accomplissement de ce travail.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je tiens à remercier Mr Salah Eddine TACHI pour ses précieux conseils et son aide durant toutes mes années au sien du département et surtout durant ce travail.

Je remercie Pr Saâdia BENMAMAR pour l'honneur d'accepter la présidence du jury de ce mémoire.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous les professeurs qui m'ont enseigné et qui par leurs compétences m'ont soutenu dans la poursuite de mes études. Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

ملخص :

ملخص : الهدف من دراستنا هو تقييم جودة المياه في سد شيفية (شرق الجزائر) على أساس شهري خلال فترة أخذ العينات من يناير 1992 إلى مارس 2010. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد مؤشر جودة المياه من خلال تطبيق علاقة Bascaroan (1979) التي تأخذ في الاعتبار 18 متغيرًا فيزيائيًا كيميائيًا (Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} , TDS, MES, pH, EC, T, Turb, NO_2^- , NH_4^+ , NO_2^- , SO_4^- , PO_4^- , OD, and DCO, BOD5, TH) ومن خلال النمذجة بمحاولة تقليل عدد المعلمات التي يجب مراعاتها ودراسة أداء التنبؤ من تحديد متوسط التربيع الأخطاء (RMSE) وتعني الأخطاء المطلقة (MAE) ومعامل الانحدار R^2 . تشير نتائج اختبار IQE إلى أن مياه سد شيفيا ذات جودة متوسطة.

الكلمات الدالة : IQE، جودة المياه ، المعايير الفيزيائية والكيميائية ، المياه السطحية ، سد شيفيا.

Summary :

The aim of our study is to assess the water quality of the Cheffia dam (eastern Algeria) on a monthly basis during the sampling period from January 1992 to March 2010. This study aims to determine the water quality index by applying the relation of De Bascaroan (1979) which takes into account 18 physicochemical parameters (TDS, MES, pH, EC, T, Turb, Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} , NO_2^- , NH_4^+ , NO_2^- , SO_4^- , PO_4^- , OD, and DCO, BOD5, TH,). and by modeling by trying to reduce the number of parameters to consider and by studying their performance of prediction from the determination of the mean squared errors (RMSE) and mean absolute (MAE) errors and of the regression coefficient R^2 . The results of the WQI indicate that the water of the Cheffia dam is of average quality.

Key words: WQI, Water quality, Physico-chemical parameters, surface water, Cheffia dam.

Résumé :

Le but de notre étude est d'évaluer la qualité de l'eau du barrage de Cheffia (Est algérien) sur une base mensuelle pendant la période d'échantillonnage de janvier 1992 à mars 2010. Cette étude vise à déterminer l'indice de qualité de l'eau par application de la relation de De Bascaroan (1979) qui tient compte de 18 paramètres physico-chimiques (TDS, MES, pH, EC, T, Turb, Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} , NO_2^- , NH_4^+ , NO_2^- , SO_4^- , PO_4^- , OD, and DCO, BOD5, TH) et par modélisations en essayant de réduire le nombre de paramètres à considérer et en étudiant leur performances de prédiction à partir de la détermination des erreurs quadratique moyenne (RMSE) et absolue moyenne (MAE) et du coefficient de régression R^2 . Les résultats de l'IQE indiquent que l'eau du barrage de Cheffia est de qualité moyenne.

Mots clés : IQE, Qualité de l'eau, Paramètres physico-chimiques, eaux de surfaces, Barrage Cheffia.

Table des matières

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste d'abréviations

Introduction générale	11
1 Synthèse bibliographique	14
1.1. Introduction :.....	14
1.2. Paramètres physico-chimiques :	14
1.2.1. Les paramètres physiques.....	14
1.2.2. Principaux éléments présents dans l'eau	15
1.2.3. Éléments indicateurs de pollution.....	17
1.3. Pollution des eaux.....	19
1.3.1. Origine de la pollution.....	19
1.3.2. Les principaux polluants des eaux naturelles.....	20
2 Description de la zone d'étude	24
2.1. Introduction.....	24
2.2. Présentation du barrage Cheffia.....	24
2.2.1. Historique :	24
2.2.2. Situation géographique de barrage de Cheffia :	25
2.2.3. Caractéristique Climatique :	26
2.2.4. Caractéristiques du barrage de Cheffia :	26
2.3. Bassin versant de de Bounamoussa :	27
2.3.1. Situation géographique du bassin versant de de Bounamoussa :	27
2.3.2. Caractéristique morphométrique du bassin :	28
2.3.3. Forme du Bassin	28
2.3.4. Étude du relief	29
2.4. Sols et végétation	39
2.5. Géologie du bassin	41
2.6. Pédologie du bassin.....	42
3 Matériels et les Méthodes	45
3.1. Introduction :.....	45
3.2. Méthodes de mesure des paramètres physico-chimiques.....	45
3.3. Calcul de l'indice de qualité de l'eau (IQE).....	48

Table des matières

3.4. Estimation de l'IQE à l'aide de machine Learning :.....	49
4 RESULTATS ET DISCUSSION.....	53
4.1. Introduction.....	53
4.2. Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux du barrage Cheffia, pendant la période d'étude (1992-2010) et on compare avec la norme OMS.....	53
4.2.1. Les paramètres physiques.....	53
4.2.2. Les éléments chimiques.....	55
4.2.3. Les éléments nutritifs.....	58
4.2.4. La demande biochimique en oxygène (DBO5).....	59
4.2.5. La demande chimique en oxygène (DCO).....	60
4.2.6. Le rapport DCO/DBO.....	60
4.2.7. L'oxygène dissous (OD).....	61
4.2.8. La matière en suspension (MES).....	61
4.2.9. Turbidité.....	62
4.2.10. Solides dissouts totaux.....	62
4.2.11. La dureté totale.....	63
4.3. Résultats du calcul de l'indice de qualité de l'eau IQE et évaluation de la qualité des eaux :.....	66
4.4. Résultats du calcul de l'indice de qualité par machine learning:.....	72
Conclusion générale.....	76
Bibliographie.....	78

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau	N°P
Tableau 1.1: Classification des eaux selon le résidu sec	19
Tableau 2.1 : Caractéristiques de la digue du barrage	27
Tableau 2.2 : Répartition de surface en fonction de l'altitude du bassin versant	30
Tableau 2.3: Altitudes caractéristiques du bassin de Bounamoussa	31
Tableau 2.4 : Classe des pentes et superficies correspondantes	32
Tableau 2.5 : Classification du relief selon Ig par l'ORSTOM	34
Tableau 2.6 : Classification du relief selon Ds (ORSTOM.)	35
Tableau 2.7 : Indices de pentes et de relief du bassin versant de Bounamoussa.	35
Tableau 2.8 : Paramètres morphométrique du bassin versant de Bounamoussa	39
Tableau 2.9 : Occupation des sols du bassin versant du Bounamoussa	40
Tableau 2.10 : Formation lithologique du bassin versant de	42
Tableau 2.11 : Les classes pédologiques du bassin versant de Bounamoussa	43
Tableau 3.1 : Paramètres pris en compte pour le calcul de l'IQE	49
Tableau 3.2 : Classification de l'eau selon l'IQE	49
Tableau 4.1 : Norme Algérienne et de l'OMS des substances chimiques.	64
Tableau 4.2 : Statistiques sommaires pour les concentrations des paramètres physiques et chimiques des eaux barrage Cheffia	65
Tableau 4.3: Exemple de calcul de l'indice de qualité.	66
Tableau 4.4 : Les résultats de l'indice de qualité des eaux du barrage Cheffia (1992-2010).	67
Tableau 4.5 : Résultats finaux et précision	73

Liste des figures

Liste des figures

figures	N°P
Figure1.1 : Etats dispersés et dissous	21
Figure2.1 : Situation du barrage Cheffia	24
Figure 2.2: Barrage Cheffia	25
Figure2.3 : Situation géographique du barrage EL CHEFFIA	26
Figure2.4 : Diagramme pluviométrique de la station de Cheffia (1976-2015)	26
Figure2.5. Localisation du bassin versant de Bounamoussa	28
Figure2.6 : Carte d'altitude du bassin versant	30
Figure2.7 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Bounamoussa	31
Figure2.8 : Histogramme de fréquences altimétriques du bassin versant de Bounamoussa	32
Figure2.9 : Carte des pentes du bassin versant de Bounamoussa	33
Figure2.10 : Réseau hydrographique de la zone d'étude	36
Figure2.11 : Modèle numérique de terrain (MNT) du BV de Bounamoussa	37
Figure2.12 : Occupation du sol du BV de Bounamoussa	40
Figure2.13 : Sol du bassin versant de Bounamoussa	43
Figure4.1 : Evolution de la température de l'eau.	53
Figure4.2 : Evolution du pH en fonction de la matière organique	54
Figure4.3 : Variation de la conductivité électrique avec le résidu sec de l'eau du barrage Cheffia.	54
Figure4.4 : Evolution de la teneur du calcium dans le temps.	55
Figure4.5 : Evolution de la teneur du magnésium dans le temps.	56
Figure4.6 : Evolution de la teneur du chlorure dans le temps.	56
Figure4.7 : Evolution de la teneur du sulfate dans le temps.	57
Figure4.8: Evolution de la teneur du phosphate dans le temps.	57
Figure4.9 : Evolution de la teneur du nitrate dans le temps.	58
Figure4.10: Evolution de la teneur du nitrite dans le temps.	58
Figure4.11 : Evolution de la teneur d'ammonium Dans le temps.	59
Figure4.12 : Evolution de la DBO5 Dans le temps.	59
Figure4.13 : Evolution de la DCO dans le temps.	60
Figure4.14: Evolution de rapport DCO/DBO5 dans le temps.	60
Figure4.15 : Evolution de la teneur d'oxygène dissous en fonction du temps.	61
Figure4.16: Evolution des teneurs en MES Dans le temps.	61
Figure4.17 : Evolution de la turbidité dans le temps.	62
Figure4.18: Evolution de Tds dans le temps.	62
Figure4.19 : Evolution de la dureté totale en fonction du temps.	63
Figure 4.20 : l'évolution de l'indice de qualité dans le temps.	71
Figure4.21 : l'évolution de IQE prédiction en fonction de IQE calculé par l'arbre de dessin .	73
Figure4.22 : l'évolution de IQE prédiction en fonction de IQE calculé par XG boost..	74

Liste d'abréviations

Liste d'abréviations

T : La température

CE : Conductivité électrique

PH : Le potentiel d'hydrogène

OD : Oxygène dissous

DBO5 : La demande biochimique en oxygène (DBO5)

DCO : La demande chimique en oxygène

MES : Les matières en suspension

RS : Le résidu sec

IQE : Indice de qualité

Introduction Générale

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est la source de la vie et du développement et considérée comme une ressource naturelle vitale et des plus précieuses, ayant une grande importance dans le développement économique et social d'un pays. Elle est indispensable et intervient dans la plupart des activités humaines (agriculture, industrie) et pour les besoins domestiques mais également pour les différents écosystèmes terrestres.

C'est toutefois, La croissance démographique, l'industrialisation et l'élévation du niveau de vie ne font qu'accroître la demande en eau tandis que la quantité disponible par tête ne fait que s'amenuiser, la ressource en eau, non renouvelable, étant limitée. Aussi, garantir la qualité et la disponibilité de la ressource en eau est l'un des grands enjeux de notre siècle et en particulier pour les pays accusant des stress hydriques.

À cette fin, les ingénieurs en hydraulique s'intéressent aux problèmes de captage, traitement, transport, stockage et distribution des eaux; considérés comme des étapes importantes pour fournir aux utilisateurs une eau de qualité avec un débit satisfaisant. Ainsi, les ressources en eau sont une préoccupation majeure dans les pays aux climats arides ou semi-arides car ils sont absolument indispensables au développement des activités humaines, économiques et sociales.

Aussi, la préservation de la qualité de l'eau est une condition préalable et essentielle qui passe d'une part, par une meilleure gestion des rejets et des sources de pollution issus des activités humaines et d'autre part, l'évaluation de et le suivi de la qualité des ressources en eau selon les usages en référant à différents paramètres (physico-chimiques et biologiques). L'évaluation de la qualité de l'eau peut être un processus complexe impliquant plusieurs prélèvements et plusieurs paramètres référant à des critères, de qualité descriptifs, physico-chimiques et biologiques, et de critères relatifs à la toxicité globale aiguë et chronique, ce qui peut entraîner diverses pressions sur la qualité globale de l'eau. Pour déterminer le potentiel d'utilisation et de fait la qualité globale de l'eau à partir d'une grande quantité de données, différentes méthodes peuvent être utilisées, telles que: analyse statistique, multiples facteurs de stress, indice de qualité de l'eau, etc.

Les indices de qualité de l'eau (compris entre 0 et 100) sont des outils permettant de déterminer les possibilités de son utilisation en comparant la qualité de l'eau avec les critères de qualité pour différents usages et de leur importance vis-à-vis d'un usage donné et, comme tout autre outil exigent la connaissance des principes et des concepts de base de l'eau et les questions connexes (**BREMOND,1973**), c'est une méthode bien connue d'exprimer la qualité de l'eau qui fournit une unité stable et reproductible de mesure qui répond aux évolutions dans les principales caractéristiques de l'eau (**BHARTI.KATYAL,2011**).

L'importance de l'IQE peut être facilement appréciée du fait que les ressources en eau jouent un rôle crucial dans l'environnement général et que cet indice a également été reconnu comme

Introduction générale

l'un des 25 indicateurs de performance environnementale de la holistique Environmental Performance Index (PEI) (CUDE, 2001) .

La présente étude est basée sur l'analyse des paramètres physico-chimiques d'échantillons d'eau du barrage Cheffia, prélevés mensuellement sur la période 1992-2010. L'indice de qualité de l'eau (IQE) est utilisé pour combiner diverses mesures dans une variété d'unités de mesure différentes en une seule métrique et son efficacité en tant qu'outil de communication. L'indice de qualité de l'eau est utilisé pour résumer une grande quantité de données sur la qualité de l'eau en termes simples (ex: excellente, bonne, médiocre, mauvaise, très mauvaise) afin de rendre compte des résultats aux gestionnaires et au public de manière cohérente.

Le présent mémoire est scindé en quatre chapitres et une conclusion générale :

- Le premier chapitre est consacré à rappeler quelques généralités sur les paramètres physico-chimiques de l'eau.
- Dans le deuxième chapitre, nous allons donner une vue générale sur la zone d'étude à savoir barrage Cheffia.
- Dans le troisième chapitre, sont présentés les matériels et les méthodes de calcul de l'indice de qualité de l'eau et la classification et analyse de l'IQE.
- Enfin, le quatrième chapitre est consacré à la présentation et discussion des résultats de l'analyse de la qualité des eaux du barrage Cheffia.
- Conclusion.

Synthèse bibliographique

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

1 Synthèse bibliographique

1.1. Introduction :

Les différentes sources disponibles d'eaux naturelles, notamment souterraines et/ou de surface sont de compositions variables en fonction des milieux qu'elles traversent et sur lesquelles elles ruissellent. Aussi, dans ce chapitre nous nous intéresserons aux principales caractéristiques physico-chimiques utilisées à des fins de classification de la qualité des eaux. Certains des éléments entrant dans la composition de l'eau peuvent être présents à des teneurs importantes constituant un danger pour la santé humaine et les différents écosystèmes. On peut également retrouver des polluants minéraux tels les métaux lourds, ...ou organiques tels les hydrocarbures, les phénols, les pesticides, herbicides, ... pouvant avoir un caractère toxique et altérer la qualité de ces ressources.

1.2. Paramètres physico-chimiques :

Ces paramètres forment l'identité de base de l'eau et sont principalement représentés par des sels minéraux (sodium, calcium, potassium, magnésium, sulfate, etc.) ou par des indicateurs généraux tels que :

- La conductivité électrique, qui donne une idée sur la salinité de l'eau,
- Le titre alcalimétrique, qui permet d'évaluer la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau.
- Le potentiel d'hydrogène, qui représente le degré d'acidité ou l'alcalinité de l'eau, qui contrôle la plupart des réactions chimiques (MEKAOUSSI, 2016).

1.2.1. Les paramètres physiques

➤ La température (T)

La température joue un rôle majeur dans la solubilité des sels et des gaz, et donc sur la conductibilité. Elle permet de différencier les eaux circulant en profondeur et celles circulant près de la surface (PHILIPPO.POMMERY.THOMAS,2000).

La température est le facteur cinétique le plus important pour toutes les réactions chimiques et biologiques en milieu aqueux, la température supérieure à 15°C favorise la croissance des micro-organismes, intensifie la biodégradation et les odeurs désagréables (BEAUDRY. HENRY,1984).

➤ Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité de l'eau à conduire le courant électrique et qui permet d'apprécier la quantité de sels dissous. La plupart des sels minéraux sont de bons conducteurs tandis que les composés organiques sont de faibles conducteurs. La conductivité électrique d'une eau naturelle varie entre 50 et 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (LOUNNAS,2008).

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

➤ Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH, d'une solution donnée, correspond à la concentration d'ions hydrogène et exprime l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. L'échelle de pH va de 0 (très acide) à 14 (très alcalin), la valeur moyenne de 7 correspond à une solution neutre à 25 °C. Le pH des eaux naturelles peut varier de 4 à 10 selon la nature acide ou basique des terrains traversés (**BEAUDRY,1984**).

Les eaux de surface ont en général un pH au voisinage de la neutralité entre 7 et 8. Des pH faibles (forte acidité) traduisent la présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles et augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Un pH plus élevé augmente les concentrations d'ammoniac toxique pour les poissons (**LOUNNAS,2008**).

1.2.2. Principaux éléments présents dans l'eau

La minéralisation de la plupart des eaux se traduit en général par la présence d'ions appelés couramment les ions majeurs dont le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium pour les cations, et les chlorures, les sulfates, les bicarbonates, les phosphates pour les anions. D'autres éléments tels le fer, l'aluminium, ... s'intègrent dans cette catégorie.

○ Cations majeurs

● Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. C'est un alcalinoterreux, qui existe dans l'ensemble des eaux traversant des formations géologiques riches en calcium (**BEAUDRY. HENRY,1984**), des roches calcaires (CaCO_3) ou des couches de gypse facilement soluble (CaSO_4) (**GEORGE. HARRAP1963**) .

C'est le principal responsable de la dureté des eaux naturelles. L'Organisation Mondiale de la Santé "OMS" recommande un maximum de 500 mg/L pour l'eau destinée à la consommation humaine.

● Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium se classe huitième parmi les éléments naturels les plus abondants dans la nature (**Ministère de l'Environnement de l'Ontario ,1976**). Les principales sources de magnésium contenues dans les eaux naturelles sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires (**BECKER.DURFOR,1972**) . Dans les zones riches en roches magnésiques, la concentration de cet élément dans l'eau peut être de 10 à 50mg/L. Le sulfate de magnésium et le chlorure de magnésium sont très solubles et l'eau en contact avec leurs gisements peut contenir des centaines de milligrammes de magnésium par litre (**BECKER.DURFOR,1972**) .C'est aussi une composante de la dureté de l'eau, et sa teneur dépend des formations géologiques et terrains traversés. Les concentrations de magnésium ne dépendent pas fortement des activités humaines, de sorte que le magnésium n'est pas utilisé comme indicateur du stress lié à la pollution. Son apport journalier essentiel

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

pour les adultes est de 200 à 300 mg. Cependant, à partir de certains teneurs, il donne à l'eau une amertume désagréable (**RODIER, 1975**).

- **Sodium et potassium (Na^+ et K^+)**

Sodium et potassium, sixième et septième éléments les plus abondants à l'état naturel, dans des proportions très variables. Le sodium provient du lessivage de formations riches en chlorure de sodium (NaCl), des formations argileuses, argilo-marneuses et des rejets des eaux usées d'origine domestique (**BEAUDRY. HENRY,1984**). Il est à noter que le sodium joue un rôle important dans l'agriculture et l'irrigation, en raison de son effet sur la perméabilité des sols. Le sodium, après le chlore, est le deuxième élément dissous le plus abondant dans l'eau de mer (**REINBERG,1971**). Le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium et se trouve rarement dans l'eau à des teneurs supérieures à 20mg/L. Il ne représente aucun danger particulier même s'il est une des sources possibles de radioactivité dans l'eau (**POTELON.ZYMAN,1998**).

- **Anions majeurs**

- ❖ **Chlorures (Cl^-)**

L'eau contient toujours des chlorures dans des proportions très variables, l'eau des régions granitiques est pauvre en chlorure tandis que l'eau des régions sédimentaires en contient davantage (**BEAUDRY. HENRY,1984**). Les chlorures peuvent avoir de nombreuses origines et sont principalement liés à la dissolution des terrains salifères. La dissociation de ces sels est très facile, d'où leur présence en fortes concentrations dans l'eau après avoir traversé des formations argilo-sableuses ou argileuses (**BEAUDRY. HENRY,1984**). Par conséquent, ils peuvent également provenir des activités humaines dans le domaine du soulagement des routes ou de la pollution par les eaux usées. À partir de 50 mg/litre, le chlorure peut produire un goût désagréable et causer des problèmes de corrosion dans les tuyaux et les réservoirs (**OMS,2006**).

- ❖ **Bicarbonates (HCO_3^-)**

Un sel dérivé de l'acide carbonique avec une faible teneur en hydrogène et contient deux fois la quantité d'acide carbonate. La présence de bicarbonate dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire, dolomite, etc.) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO_2) (**BELHADJ,2016**).

- ❖ **Sulfates (SO_4^{2-})**

Les eaux naturelles contiennent presque toujours des sulfates dans des proportions variables. Leur existence est due à la solubilité du sulfate de calcium dans la roche de gypse et à l'oxydation du sulfure (pyrite) qui se diffuse dans la roche. Des concentrations élevées de sulfates peuvent causer une gêne gastro-intestinale, elles peuvent également donner aux gens

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

un goût désagréable (**MEKAOUSSI, 2016**). L'Organisation mondiale de la santé recommande un maximum de 250 mg/L. L'Union européenne montre un niveau guide de 25 mg/L et une concentration maximale acceptable de 250 mg/L (**OMS,2006**).

❖ Phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates font partie des anions faciles à fixer dans le sol, et leur présence dans les eaux naturelles est liée à la nature de la terre traversé et à la décomposition de la matière organique (**BEAUDRY. HENRY,1984**). Le phosphate est un composant essentiel de la vie aquatique. Les fortes concentrations de phosphates présentes dans l'estuaire indiquent un enrichissement d'origine locale et agricole, ainsi que des contributions directes des activités industrielles. Les phosphates sont la principale cause d'eutrophisation des eaux de surface. Avec l'azote, le phosphate forme des nutriments qui contribuent au développement du plancton végétal printanier .

1.2.3 Éléments indicateurs de pollution

○ Les éléments nutritifs

L'azote se trouve naturellement dans l'air, l'eau et le sol. L'azote est un élément essentiel pour tout être vivant qui est constamment recyclé dans l'environnement grâce à différents procédés de fixation, d'assimilation, d'ammonisation, de nitrification, de dénitrification ... Ses effets sur l'environnement différent suivant la nature des dérivés azotés (**HAKMI,2006**).

✚ Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates sont des ions naturels présents partout dans l'environnement. Ils sont le produit de l'oxydation de l'azote (qui représente 78 % de l'atmosphère) par les microorganismes dans les plantes. Le nitrate est la forme oxydée de l'azote la plus stable qui peut être réduit en nitrite, modérément réactif, par action microbienne. Le nitrate étant un sel très soluble dans l'eau, très mobile dans le sol pouvant atteindre la nappe phréatique lorsque sa quantité dépasse ce que les plantes peuvent utiliser (**KEMOUK,2007**).

✚ Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites sont la phase intermédiaire entre les ions ammonium (NH_4^+) et les nitrates (NO_3^-). Peu stables dans les rivières, on ne les rencontre que lorsqu'il existe un déséquilibre au niveau de l'oxygénation ou de la flore bactérienne d'un cours d'eau (**Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau, 2010**).

✚ Ammonium (NH_4^+)

L'azote ammoniacal (NH_3 et NH_4^+) se trouve dans les eaux contaminées en raison de la biodégradation des protéines des acides aminés dans l'urée. Sa présence indique une contamination récente, il est graduellement oxydé en nitrites, puis en nitrates (**Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau, 2010**). La présence d'ammonium en grande

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

quantité est un indicateur de contamination par des rejets d'origine humaine ou industrielle. L'urine humaine ou animale contient déjà de grandes quantités qui se transforment rapidement en ammoniac. Ce paramètre est souvent utilisé comme un suivi des eaux usées domestiques (**Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau, 2010**).

○ Oxygène dissous (OD) :

La concentration d'oxygène dissous et la valeur du pH sont l'un des paramètres de qualité de l'eau les plus importants pour la vie aquatique. C'est un paramètre utilisé essentiellement pour les eaux de surface. L'oxygène dissous (OD) dans les eaux de surface provient principalement de l'atmosphère et de la photosynthèse des algues et des plantes aquatiques (**BEAUPOIL.BORNENS,1997**). Sa concentration varie en fonction de la pression atmosphérique, la température de l'eau, la minéralisation et salinité de l'eau, la pénétration de la lumière et l'aération de l'eau. Elle dépend également de l'activité des organismes aquatiques et de l'influence du processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique dans l'eau sur le taux de consommation d'oxygène du milieu (**BEAUPOIL.BORNENS,1997**). En effet, la présence de matière organique biodégradable, dans un plan d'eau par exemple, permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène. Des teneurs inférieures à 1mg/L indiquent un état proche de l'anaérobiose, lorsque la charge polluante est très importante, en deçà du pouvoir auto-épurateur du cours d'eau, entraînant la consommation de tout l'oxygène disponible. Enfin, de faibles niveaux d'oxygène dissous augmenteront la solubilité des éléments toxiques libérés par les sédiments.

Une teneur en oxygène de 4 à 6mg/L représente une eau de haute qualité tandis qu'une teneur supérieure à la saturation naturelle indique une eutrophisation du milieu, conduisant à une forte photosynthèse. Des niveaux d'oxygène inférieurs à 4mg/L peuvent interférer avec les poissons sensibles (**BEAUPOIL.BORNENS,1997**).

○ La demande biochimique en oxygène (DBO5)

L'oxydation de composés organiques biodégradables par des micro-organismes entraîne une consommation d'oxygène. Par conséquent le milieu a une certaine demande biochimique en oxygène. La DBO exprime la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation du carbone (matière organique) biodégradable d'une eau par les micro-organismes dans des conditions données. Elle permet d'évaluer la teneur en matière organique biodégradable de l'eau et d'apprécier sa qualité ou son degré de pollution dans une certaine mesure. En général, c'est la quantité d'oxygène consommée pendant 5 jours (DBO₅) qui est utilisée pour le suivi de la qualité des eaux et l'estimation de la quantité de matière organique biodégradable présente dans l'eau (**BEAUDRY. HENRY,1984**),(**DEGREMONT,2005**),(**MARCEL,1995**).

○ La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par un matériau oxydable dans les conditions de test. Contrairement à la situation où l'oxydation de la DBO₅ se produit lentement en raison de l'activité des micro-organismes, pour la DCO, l'oxydation est provoquée par l'utilisation d'un oxydant fort (bichromate de potassium) en milieu acide fort (H₂SO₄) et un reflux

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

pendant deux heures. Bien que la DBO5 ne mesure que la matière organique naturellement dégradable (MEKAOUSSI, 2016). La demande chimique en oxygène permet de quantifier la majeure partie de la matière organique biodégradable. C'est pourquoi la valeur COD doit être supérieure à la valeur BOD5. Le rapport DCO/DBO5 permet d'évaluer la biodégradabilité de la matière organique (le rapport peut varier entre 1,5 et 2) (MARCEL,1995).

○ Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) rencontrées dans les eaux (principalement les eaux de surface) sont très diversifiées. Elles correspondent à tous les composés minéraux et/ou organiques insolubles dans l'eau. Elles englobent l'argile, le sable, le limon, les matières organiques et minérales de petite taille, le plancton et d'autres microorganismes aquatiques. La quantité de MES varie notamment en fonction de la saison et des conditions d'écoulement des eaux, de la nature des émissions, etc. Ces matériaux affecteront la transparence de l'eau et réduiront la pénétration de la lumière, réduisant ainsi la photosynthèse. Cela interférera également avec la respiration du poisson. De plus, les MES peuvent contenir une grande quantité de substances toxiques (métaux, pesticides, huile minérale, hydrocarbures aromatiques polycycliques, etc.) (BEAUDRY. HENRY,1984).

○ Le résidu sec (RS)

C'est une mesure de la quantité de minéraux dissous dans l'eau. Il indique le degré de minéralisation de l'eau. Après évaporation de l'eau à 180°C, un résidu sec est obtenu (BEAUDRY. HENRY,1984). Le résidu sec fournit des informations sur la teneur en éléments chimiques dissous non volatils. Selon la zone de la source d'eau, cette teneur peut varier de moins de 100 mg/L (eau dans le massif cristallin) à plus de 3000 mg/L. L'eau peut être classée selon le résidu sec comme suit (Tableau 1.1) :

Tableau 2.1: Classification des eaux selon le résidu sec (LOUNNAS, 2008).

RS (mg/L)	< 50	50 ÷ 500	500 ÷ 1500	> 1500
Type d'eau	très faiblement minéralisée	eau faiblement minéralisée	moyennement minéralisée	fortement minéralisée, dite « de cure »

1.3. Pollution des eaux

La pollution des eaux peut être attribuée à la présence d'une ou plusieurs substances modifiant la composition ou l'état d'une eau dans la mesure où la vie aquatique est perturbée, voire impossible et les utilisations envisagées de l'eau sont restreintes voire même interdites. Ces substances ou polluants sont nombreux et d'origines très variées (excréments chimiques, déchets de diverses industries, lessivage des terrains traversés, ...).

La pollution de l'eau est sans aucun doute l'un des aspects les plus préoccupants de la dégradation du milieu naturel.

1.3.1. Origine de la pollution

○ L'industrie

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

Les activités industrielles rejettent une grande quantité de substances qui sont à l'origine de la pollution des cours d'eaux et nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets qu'à long terme (**BOEGLIN,2001**).

Les rejets industriels contiennent des produits divers sous-forme insoluble ou soluble d'origine minérale et/ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et parfois toxique même à très faible concentration (**BOEGLIN,2001**).

- **L'agriculture**

Elle utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires pour protéger les cultures, ces produits sont parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès et vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration (**DJABRI,1996**).

- **Pollution domestique**

Les eaux usées urbaines sont composées de matière organique biodégradable (huiles et graisses, détergents, herbicides, pesticides, ...) de matières en suspension, de germes pathogènes et de produits chimiques (**BECKER.DURFOR,1972**).

- **Pollution par les eaux pluviales**

Nous ne devons jamais oublier la pollution causée par la pluie. Lorsque l'eau de pluie entre en contact avec l'air, elle sera pleine d'impuretés (fumées industrielles) (**LOUNNAS,2008**).

- **Pollution d'origine naturelle**

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement posent parfois des problèmes de pollution de l'eau. Lorsque des métaux, tels le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures, sont présents dans les structures géologiques environnantes, les cours d'eau et eaux souterraines sont particulièrement vulnérables (**DJABRI,1996**).

- **Pollution par les substances associées au traitement de l'eau**

La chloration de l'eau pour la production d'eau potable, en présence de matière organique, le chlore peut conduire à la formation de plusieurs sous-produits chlorés potentiellement cancérigènes (SPC), tels les trihalométhane (THM). Le sulfate d'aluminium est un produit utilisé pour coaguler des substances dans l'eau. L'eau traitée de cette manière a une concentration d'aluminium plus élevée que l'eau non traitée (**LOUNNAS,2008**).

1.3.2. Les principaux polluants des eaux naturelles

La pollution physique représente des éléments solides emportés par l'eau. Ils sont divisés en plusieurs catégories selon leur nature et leur dimension.

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

○ polluants physiques

Les éléments grossiers : Leur dimension est suffisamment grande pour être retenus par de simples grilles. Dans les eaux de surface, ces éléments sont généralement : des brindilles, des feuilles, des arbres...etc (LOUNNAS,2008).

les matières en suspension (MES) rencontrées dans les eaux (essentiellement superficielles) sont très diverses tant par leur nature que leur dimension. Elles sont composées de quartz, d'argiles, de sels minéraux insolubles, de particules organiques composées de micro-organismes, et de produits de décomposition d'animaux ou de végétaux (MARCEL,1995).

Selon leur dimension, l'état dispersé (en suspension et colloïdal), se distingue de l'état dissout. La **Figure 1.1** donne en première approximation, une échelle de dimensions particulières et les états correspondants.

Selon leur nature, minérale ou organique, les polluants minéraux sont une gêne physique pour l'environnement, mais n'évoluent pas dans le temps. Les rejets minéraux colmatent les sols sur lesquels ils sont évacués aboutissant ainsi à l'asphyxie de ce sol ou contribuent à une pollution par leur volume (dépôts). A l'inverse, la matière organique évolue, affecte la couleur de l'eau et peut être à l'origine de dégagements d'odeurs par putréfaction. (BEAUDRY, HENRY,1984) ,(MIZI,2006).et il est difficile d'en donner une description précise ou une composition moyenne.

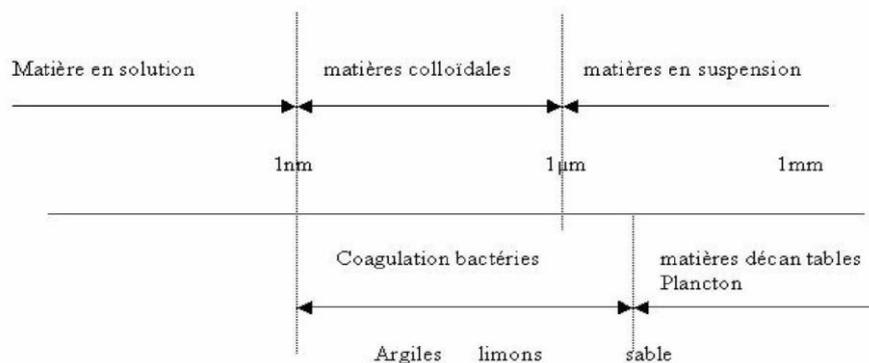


Figure 1.1 : Etats dispersés et dissous (DEGREMONT,2005).

○ Polluants chimiques

La pollution chimique de l'eau est plus complexe et peut avoir des sources différentes. On distingue selon la nature de la pollution, des éléments minéraux et/ou organiques.

• Les polluants minéraux

Il existe une infinité de polluants minéraux dont plusieurs sont susceptibles d'être toxiques. La majorité des éléments toxiques proviennent des activités industrielles et artisanales mais également des eaux usées domestiques. On peut sommairement citer les chromates (usines

Chapitre 01 : Synthèse bibliographique

d'électroplaquage, tanneries, ..), les cyanures (usines d'électroplaquage, de production de gaz, ...), le mercure (sources industrielles), l'ammoniac dont la toxicité augmente avec la diminution de l'oxygène dissous, les métaux lourds tels le chrome, le cadmium, ... qui peuvent être présents sous forme dissoute, en suspension ou sous forme difficilement soluble dans les sédiments (**BLIEFRT.PERRAUD,1990**).

- **Les polluants organiques**

Ils sont issus des eaux usées domestiques, des eaux résiduaires industrielles (abattoirs, conserveries, et des eaux de qui drainent les pâturages et charrient des résidus d'engrais, de pesticides, d'herbicides, ... Ils sont à l'origine de la diminution de l'oxygène dissous de cours d'eau récepteurs et peuvent générer des dégagements gazeux (CH_4 , CO_2 , H_2S), de mauvaises odeurs et parfois le levage des boues de fond.

- **Les Polluants microbiologiques**

L'eau peut contenir des micro-organismes (des virus, des bactéries, des parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (**LOUNNAS,2008**).

Chapitre 02

Description de la zone d'étude

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

2 Description de la zone d'étude

2.1. Introduction

Le barrage de Cheffia, achevé en 1965, consiste en une digue de terre normalement conservée de 165m de long. Cette retenue permet de régulariser 95Hm³ chaque année pour répondre aux besoins de l'irrigation de Bounamoussa (W. El Tarf), de la ville d'Annaba, et aux besoins industriels de la région, notamment la sidérurgie à El Hadjar (**El FADEL, 2016**).

Dans ce chapitre, nous avons tenté de présenter la zone d'étude (barrage Cheffia) et les principales caractéristiques de bassin versant de Bounamoussa.

2.2. Présentation du barrage Cheffia

2.2.1. Historique :

Ce barrage fait partie des grands projets d'hydraulique en voie de réalisation avant l'indépendance. En effet, c'est le barrage de Bounamoussa sur l'oued du même nom, laissé inachevé à l'indépendance et terminé aujourd'hui, qui est appelé Barrage Cheffia, du nom des gorges où il fut réalisé. L'ouvrage situé à 337 mètres d'altitude, qui fut commencé le 4 octobre 1960 comportait une digue de 640 mètres de longueur et d'une hauteur de 51 mètres. La capacité de la retenue d'eau s'élevait à 158 millions de mètres-cube dont 70 millions était prévus pour l'agriculture (**Barrage de Cheffia,2013**).

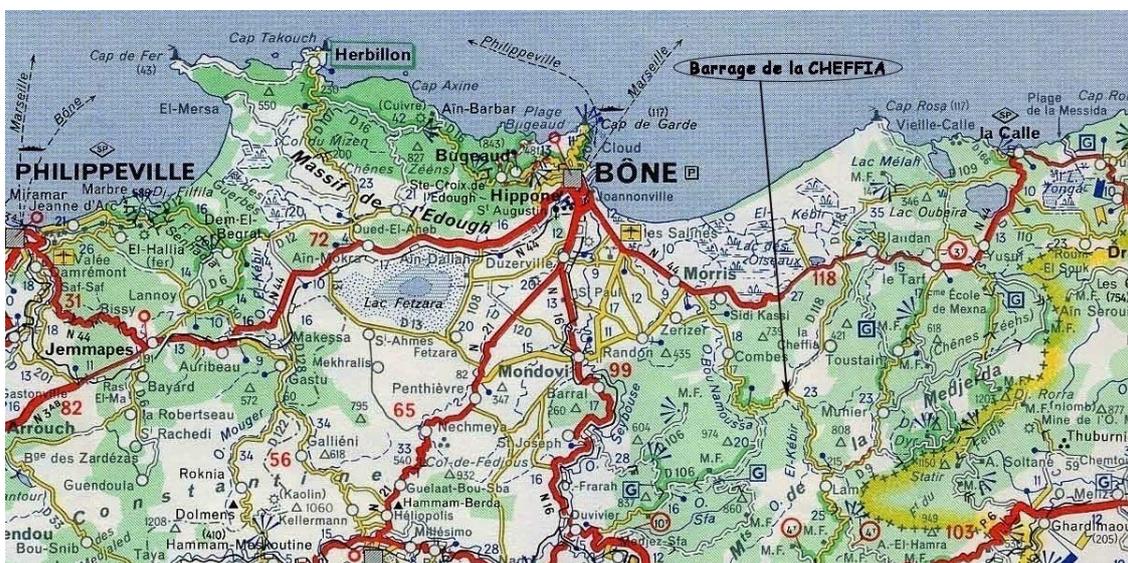


Figure 2.1 :Situation du barrage Cheffia (**Barrage de Cheffia,2013**).

L'eau étant le facteur limitant pour de nombreuses cultures, seule une irrigation généralisée aurait permis d'avoir des rendements satisfaisants et, surtout, réguliers (**Barrage de Cheffia,2013**).

Ce barrage devait, en outre, permettre l'absorption des crues de l'oued Bounamoussa et la mise en valeur des marais du M'Krada. La zone irrigable devait ainsi être portée à plus de 24.000 ha (10.000 ha dans la zone du M'Krada et 14.000 ha dans la plaine de Bône). Il devait surtout permettre la création de 11.000 emplois nouveaux. Ainsi, les agriculteurs français ont été à l'origine d'une révolution industrielle et culturelle sans précédent dans la plaine de Bône

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

en apportant de nouvelles techniques et de nouvelles méthodes de travail. Ils ont amélioré les conditions de vie de tous, assurant notamment l'autosuffisance alimentaire et d'importantes recettes à l'exportation (**Barrage de Cheffia,2013**).



Figure 2.2 :Barrage Cheffia (Barrage de Cheffia,2013).

2.2.2. Situation géographique de barrage de Cheffia :

Le barrage de Cheffia dans l'oued Bounamoussa est situé à 40 kilomètres au sud-est de la ville d'Annaba et à 42 kilomètres au sud-ouest d'El Tarf sur les communes de Cheffia et Daïra de Bouteldja. S'étendant sur une superficie de 1000 hectares. Il est limité:

- Au Nord par les communes de Cheffia et Asfour.
- A l'Ouest par la commune d'Asfour.
- Au Sud par les communes de Hammam Béni Salah et Bouhadjar.
- A l'Est par la commune de Cheffia.

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

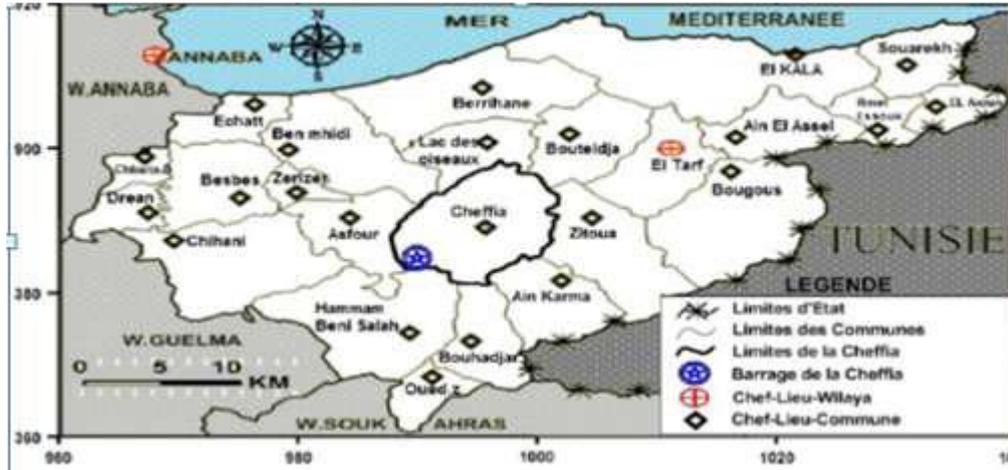


Figure 2.3 : Situation géographique du barrage EL Cheffia (EI FADEL, 2016).

2.2.3. Caractéristique Climatique :

A partir de la courbe pluviio-thermique de Cheffia, on peut distinguer la période sèche allant du début mai à septembre et la période des pluies de fin septembre à mai.

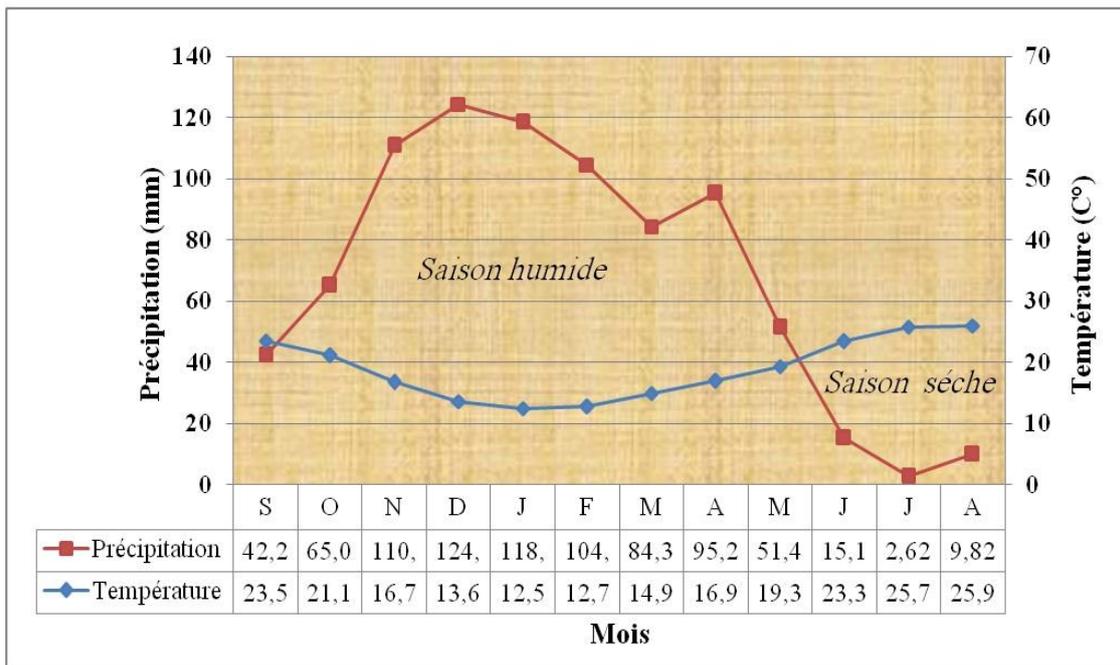


Figure 2.4 : Diagramme pluviométrique de la station de Cheffia (1976-2015) (EI FADEL, 2016).

2.2.4. Caractéristiques du barrage de Cheffia :

Le barrage de Cheffia, avec un volume d'eau régularisable de 95Hm^3 , alimente la zone de Bounamoussa en eau agricole en été, le complexe sidérurgique d'El- Hadjar ainsi que la ville de Bouhadjar et d'Annaba en AEP (EI FADEL, 2016).

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

La digue est en terre compactée (Tableau 2.1) avec masque amont d'étanchéité en argile et une recharge amont en alluvions. Le volume total des remblais est de 1,3 million de mètres cubes.

Tableau 2.1 :Caractéristiques de la digue du barrage (El FADEL, 2016).

Côte de la crête	169,00m
Largeur en crête	10,00m
Largeur à la base	214,00m
Longueur en crête	650,00m
Côte des crêtes des batardeaux amont et avale	133,00m
Hauteur maximum	51,00 m
Niveau le plus bas	119,00m

Le barrage Cheffia est confronté à d'énormes problèmes de gestion de l'eau notamment dans la distribution. Les besoins en eau pour le secteur agricole n'ont jamais été satisfaits à 100%, tandis que les deux autres secteurs (AEP et industrie) n'accusent pas de déficits importants. La défaillance dans la gestion des eaux du barrage est due :

-à la concurrence entre les 03 secteurs.

-au système de culture ; les cultures pratiquées sur le périmètre de Bounamoussa nécessitant beaucoup d'eau.

La priorité est donnée au secteur industriel et à l'AEP (Annaba et Bouhadjar), et enfin au secteur agricole. L'existence du barrage Cheffia et son emplacement dans la région de Cheffia a largement servi les besoins en eau de trois secteurs importants : une grande ville, la ville d'Annaba, un secteur industriel celui du complexe sidérurgique d'El -Hadjar et enfin un secteur agricole, le périmètre d'irrigation (El FADEL, 2016).

2.3. Bassin versant de de Bounamoussa :

2.3.1. Situation géographique du bassin versant de de Bounamoussa :

La zone d'étude comprend le bassin côtier de Constantinople-Est, qui s'étend sur une superficie de 575 km² entre 7° 94' et 8° 31' de longitude est et 36° 38' et 36° 69' de latitude nord (fig 2.1). Il est à noter qu'une partie du bassin versant couvrant la plaine de l'Ain El-karma est située en Tunisie (BOUHADEB ,2019).

Le bassin est un bassin montagneux, l'altitude du Djebel Souani est de 808 m, celle du Djebel M'Sid de 1405 m, celle du Kef El Boum de 1015 m et celle de Draa Safsaf de 740 m (BOUHADEB ,2019).

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

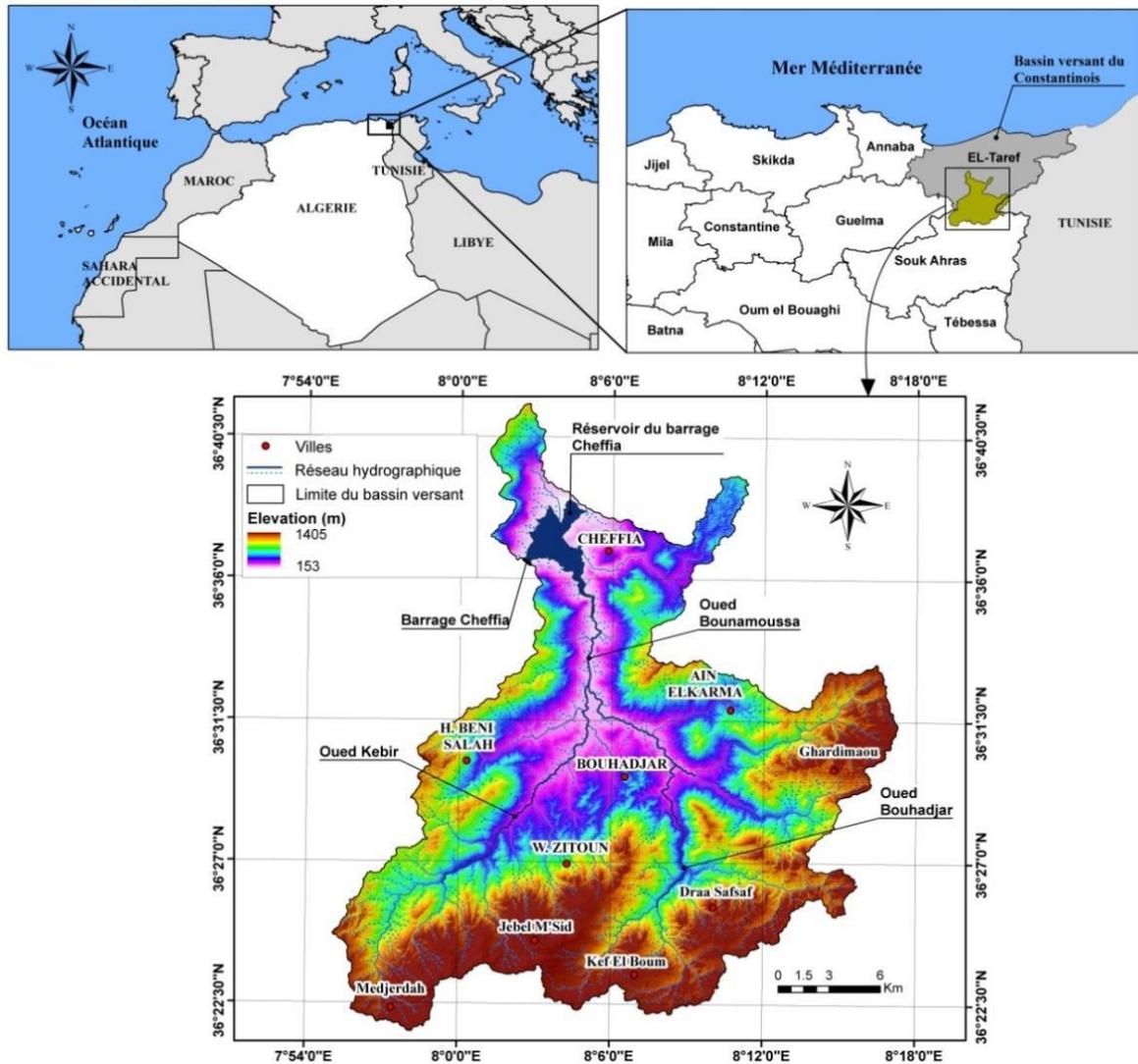


Figure 2.5 : Localisation du bassin versant de Bounamoussa (BOUHADEB ,2019).

2.3.2. Caractéristique morphométrique du bassin :

L'écoulement naturel des eaux dans un bassin versant est contrôlé par les conditions climatiques et les caractéristiques physiques du bassin. Les caractéristiques physiques les plus importantes, objet de l'analyse morphologique, jouent un rôle essentiel: la forme, le relief et le modèle de représentation. De nombreuses caractéristiques peuvent compléter l'analyse morphométrique, telles que: la densité du drainage, la fréquence des cours d'eau, l'allongement et le profil des cours d'eau (BOUHADEB ,2019).

2.3.3. Forme du Bassin

❖ Indice de compacité de Gravelius (Kc)

La détermination de différents indices morphologiques pour comparer les bassins versants entre eux et estimer certaines de leurs caractéristiques hydrologiques. Parmi eux, l'indice de Gravelius (Kc), qui représente la compacité du bassin. Il est défini comme le rapport du

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

périmètre du bassin versant et le périmètre du cercle ayant même superficie que le bassin. Il est donné par la relation suivante:

$$Kc=0,28*\frac{P}{\sqrt{S}} \quad (2.1)$$

Avec

Kc : Coefficient de compacité de Gravelius.

P : Périmètre du bassin versant [m].

S : Surface du bassin versant [km²].

Si, Kc tend vers 1 : Le bassin est ramassé .

Si, Kc > 1 le bassin est allongé.

Plus ce coefficient s'approche de 1, plus la forme de bassin versant sera ramassée et plus le temps de concentration des eaux sera court. Il sera allongé dans le cas contraire.

Avec un coefficient Kc = 2,06 on peut dire que le bassin de Bounamoussa se caractérise par une forme allongée.

❖ Rectangle équivalent

Le concept de rectangle équivalent ou rectangle de Gravelius permet de comparer l'influence des caractéristiques géométriques sur l'écoulement. La forme de la ligne de contour dans le rectangle équivalent est directement causée par la distribution hypsométrique dans le bassin versant. Soit L et I la longueur et la largeur du rectangle équivalent donné par l'équation suivante :

$$\text{Longueur du rectangle} \quad L = \frac{Kc*\sqrt{S}}{1.12} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] \quad (2.2)$$

$$\text{Largeur du rectangle} \quad l = \frac{Kc*\sqrt{S}}{1.12} * \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Kc}\right)^2} \right] \quad (2.3)$$

Pour le bassin versant Bounamoussa :

$$L= 80,21 \text{ Km}$$

$$l = 7,16 \text{ Km.}$$

2.3.4. Étude du relief

Le relief est un facteur important du comportement hydrologique des bassins versants, de sorte que l'adéquation du ruissellement, de l'infiltration et de l'évaporation des terres est également cruciale. Les paramètres hydroclimatiques (précipitations, température, etc.) varient en fonction de l'altitude et de l'exposition des versants.

❖ Courbe hypsométrique

Il s'agit d'une distribution régionale fortement liée au bassin. La courbe hypsométrique donne une idée générale de son potentiel d'érosion. Nous avons utilisé la carte d'élévation du bassin versant de Bounamoussa, qui a été obtenue après traitement de la carte MNT, téléchargée gratuitement à partir du site Web <http://glovis.usgs.gov/> de l'USGS.

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

La courbe représente la distribution des fréquences altimétriques avec en abscisse la superficie en % située entre deux courbes de niveau et en ordonnées les altitudes échelonnées par tranches de 200 m.

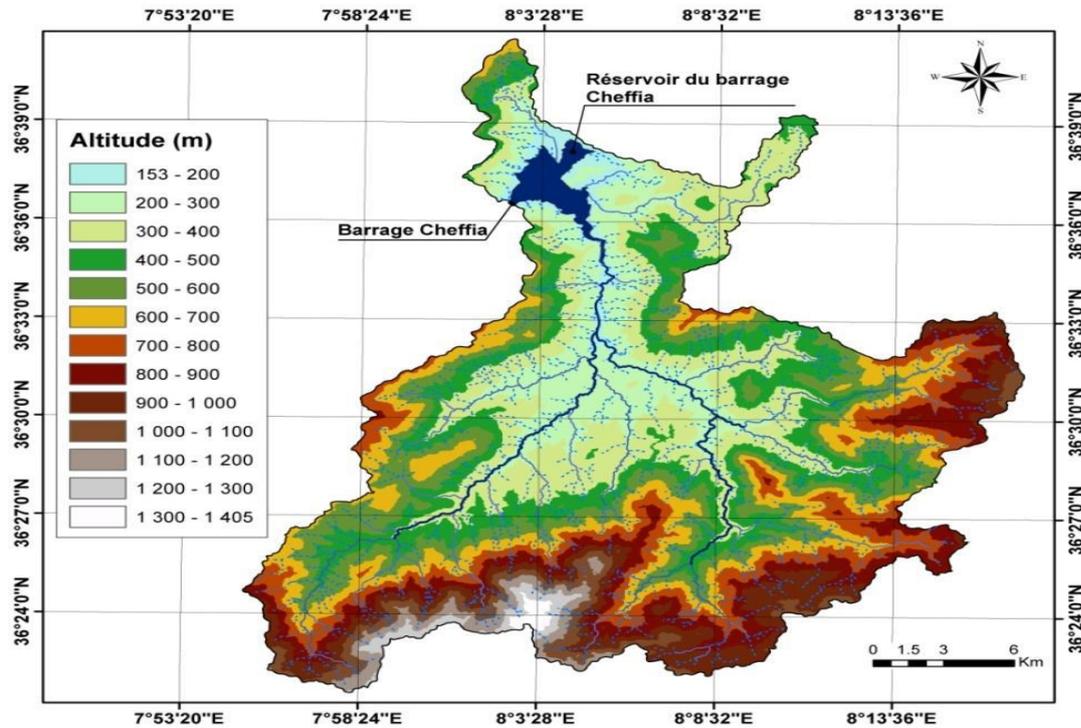


Figure 2.6 : Carte d'altitude du bassin versant (BOUHADEB ,2019).

Tableau 2.2 : Répartition de surface en fonction de l'altitude du Bassin versant (BOUHADEB ,2019).

Altitude (m)	Surfaces (km ²)	Surfaces (%)	surface cumulés (km ²)	surface cumulés(%)
> 1300	2,14	0,4	2,14	0,4
1300-1200	6,03	1	8,17	1,4
1200-1100	11,73	2	19,9	3,5
1100-1000	17,9	3,1	37,8	6,6
1000-900	37,49	6,5	75,29	13,1
900-800	44,47	7,7	119,77	20,9
800-700	49,65	8,6	169,42	29,5
700-600	62,27	10,8	231,69	40,3
600-500	76,5	13,3	308,19	53,6
500-400	84,34	14,7	392,53	68,3
400-300	95,33	16,6	487,86	84,9
300-200	65,55	11,4	553,41	96,3
<200	21,59	3,8	575	100

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

On observe qu'environ 80% de la surface du bassin versant se situe en dessous de 700 m d'altitude, et 20% entre 700 et 1405 m d'altitude.

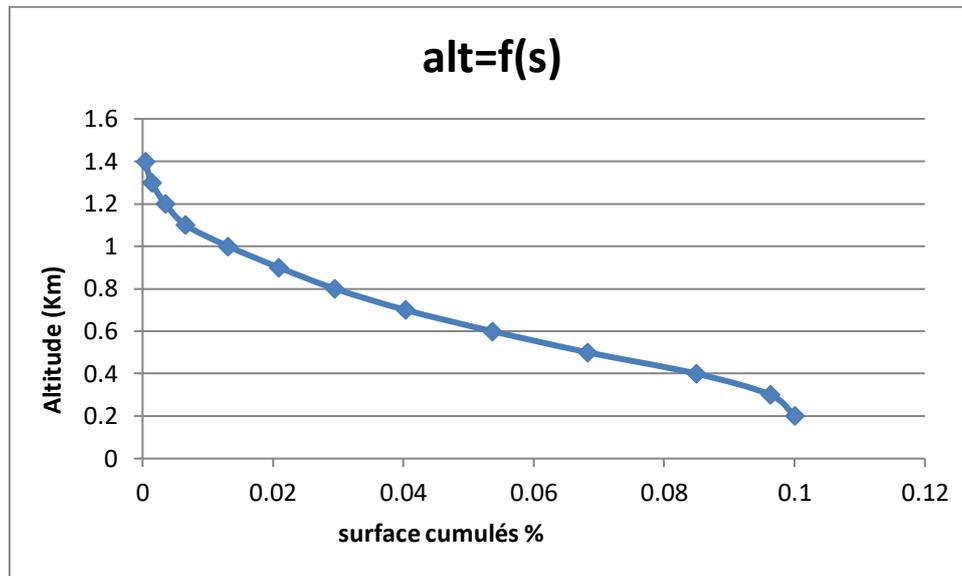


Figure 2.7 : Courbe hypsométrique du bassin versant de Bounamoussa .

Cette courbe (**Figure 2.7**) donne un aperçu de la pente et l'état qui évoluent vers l'équilibre du bassin versant de Bounamoussa avec un potentiel d'érosion important. Elle permet de déduire les altitudes suivantes:

Tableau 2.3 : Altitudes caractéristiques du bassin de Bounamoussa (**BOUHADEB ,2019**).

Altitude	Hauteur (m)
Altitude minimale	153
Altitude maximale	1405
Altitude la plus fréquente en (m)	300-400
Altitude de fréquence 1/2 (m)	350
Altitude H5%	1160
Altitude H50%	620
Altitude H95%	302

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

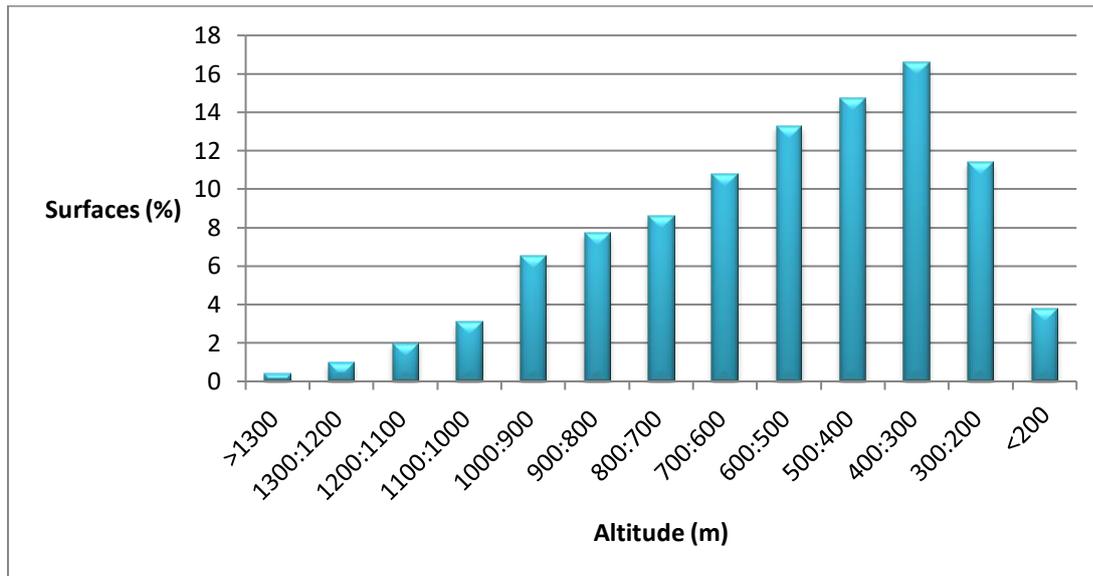


Figure 2.8 :Histogramme de fréquences altimétriques du bassin versant de Bounamoussa.

❖ Indice de pente

La pente est un facteur très important en hydrologie, elle affecte directement l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin. Plusieurs auteurs ont établi des relations de puissance entre le gradient de pente et l'érosion en nappe (**GOVERS, 1991**).

La distribution des pentes du bassin versant de Bounamoussa montre une forte capacité d'érosion. En effet, les zones à faible pente représentent 7% de la superficie totale du bassin versant, soit 38 km², tandis que les zones à pente moyenne à très élevée représentent 93% de la surface du bassin versant, soit 537 km².

Les classes de pentes utilisées dans notre travail sont indiquées dans le **Tableau 2.4**:

Tableau 2.4 :Classe des pentes et superficies correspondantes (**BOUHADEB, 2019**).

Pente	Classe (%)	Superficie en (%)
Faible	0 - 5	7
Modérée	5 - 15	30
Assez forte	15 - 25	34
Forte	25 - 35	18
Très fort	> 35	10

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

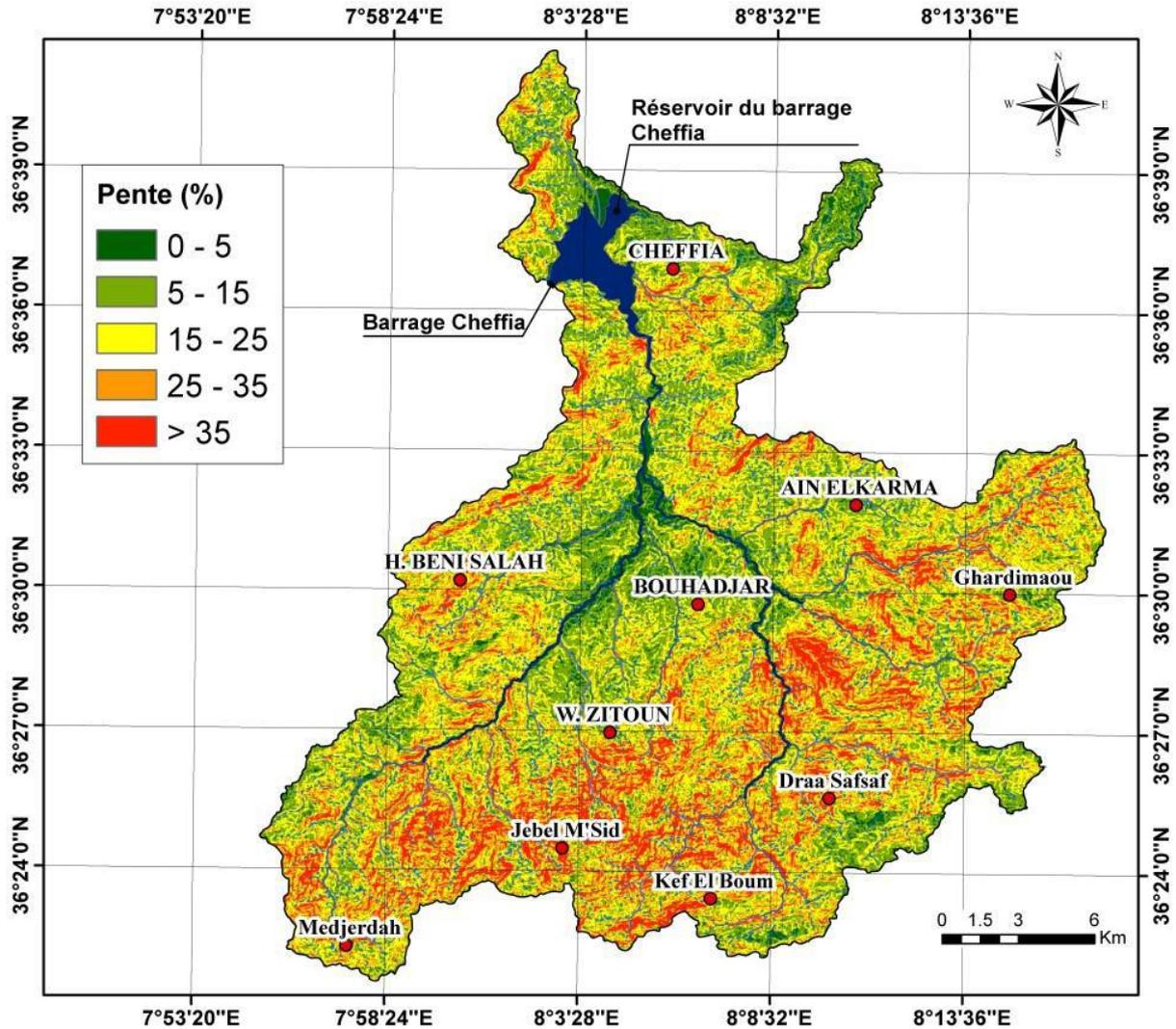


Figure 2.9 : Carte des pentes du bassin versant de Bounamoussa (BOUHADEB ,2019).

a) Indice de pente de Roche (I_p)

(I_p) L'indice de pente de Roche est déterminé à partir du rectangle équivalent par la relation (2.4):

$$I_p = 1/\sqrt{L} \sum_{i=1}^n X_i \sqrt{B_i(a_i - a_{i-1})} \quad (2.4)$$

Avec

L : longueur du rectangle équivalent [Km].

X_i : distance séparant deux courbes de niveau sur le rectangle équivalent.

B_i : fraction de la surface totale du bassin comprise entre les côtes a_i et a_{i-1} ; fonction donnée par le tableau hypsométrique.

($a_i - a_{i-1}$): dénivelé entre deux courbes voisines [m].

$$I_p = 0,16$$

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

b) Indice de pente globale (I_g)

L'indice de pente globale est calculé pour montrer la nature du relief en se référant à la classification de l'ORSTOM (Tableau 2.4). Cet indice s'exprime par la relation suivant :

$$I_g = D/L \quad (2.5)$$

D : dénivelée (m) ou l'intervalle qui sépare les altitudes à 5% et 95% de la surface cumulée donnée à partir de la courbe hypsométrique.

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \quad (2.6)$$

L : longueur du rectangle équivalent.

D'après la classification de l'ORSTOM, le bassin versant de Bounamoussa a un relief fort avec un indice de pente globale $I_g = 0,10$.

Tableau 2.5. Classification du relief selon I_g par l'ORSTOM (BOUHADEB, 2019).

la nature de relief	Valeur de I _g
Relief très faible	$I_g < 0,002 \text{ m/km}$
Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$
Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02$
Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$
Relief fort	$0,05 < I_g < 0,5$
Relief très fort	$0,5 \text{ m/km} < I_g$

c) Dénivelée spécifique (D_s)

D_s (Dénivelée spécifique) ou coefficient de rugosité, proposé par Milton (1965), permet la comparaison entre différents bassins (tableau 2.5)

$$D_s = I_g \sqrt{A} = D \sqrt{\frac{l}{L}} \quad (2.7)$$

Avec

I_g : indice de pente globale [m/Km] .

A : Aire du bassin [Km²].

D : dénivelée [m].

l : Largeur du rectangle équivalent [Km].

L : Longueur du rectangle équivalent [Km]

La dénivelée spécifique du bassin versant de Bounamoussa D_s de 295m, le classe dans la catégorie de reliefs forts ($250 \text{ m} < D_s < 500\text{m}$) en référence à l'ORSTOM.

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

Tableau 2.6 : Classification du relief selon Ds (ORSTOM.)[31].

Ds < 10 m	Relief très faible
10 m < Ds < 25 m	Relief faible
25 m < Ds < 50 m	Relief assez faible
50 m < Ds < 100 m	Relief modéré
100 m < Ds < 250 m	Relief assez fort
250 m < Ds < 500 m	Relief fort
Ds > 500 m	Relief très fort

d) Indice de pente moyenne (I_m)

Il est donné par la relation suivante :

$$I_m = \frac{D * L}{A} \quad (2.8)$$

Avec

I_m : pente moyenne [m/km ou 0/00].

L : longueur du cours d'eau principal [km].

D : équidistance entre deux courbes de niveau [m].

A : surface du bassin versant [km²].

Cet indice I_m de 19,7% met en évidence les pentes abruptes du bassin.

Tableau 2.7 : Indices de pentes et de relief du bassin versant de Bounamoussa.

Bassin	I_p	I_g	I_m	Relief selon I_g	Ds	Relief selon Ds
Bounamoussa	0,16	0,1	0,19	fort	295	fort

❖ Caractéristiques hydrographiques

Le réseau hydrographique du bassin versant de Bounamoussa se compose de l'Oued principal (Oued Bounamoussa) qui draine deux affluents principaux Oued Bouhadjar rive droite et Oued Kebir rive gauche (**Figure.2.6**), il s'écoule du Sud vers le Nord et alimente l'un des plus grands barrages de la région, le barrage Cheffia d'une capacité de 165Hm³ et d'une longueur du cours d'eau principal de 23 km (**BOUHADEB ,2019**).

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

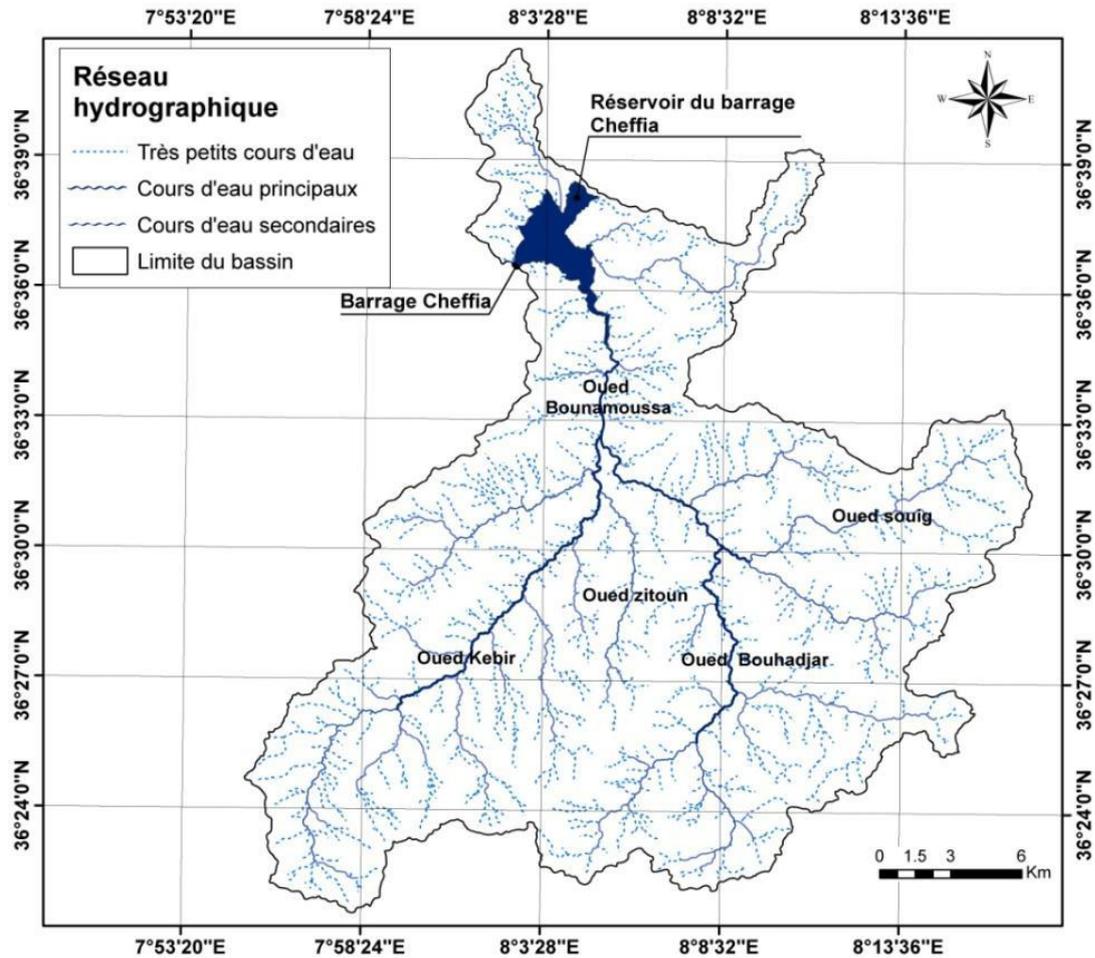


Figure 2.10 :Réseau hydrographique de la zone d'étude (BOUHADJAR ,2019)

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

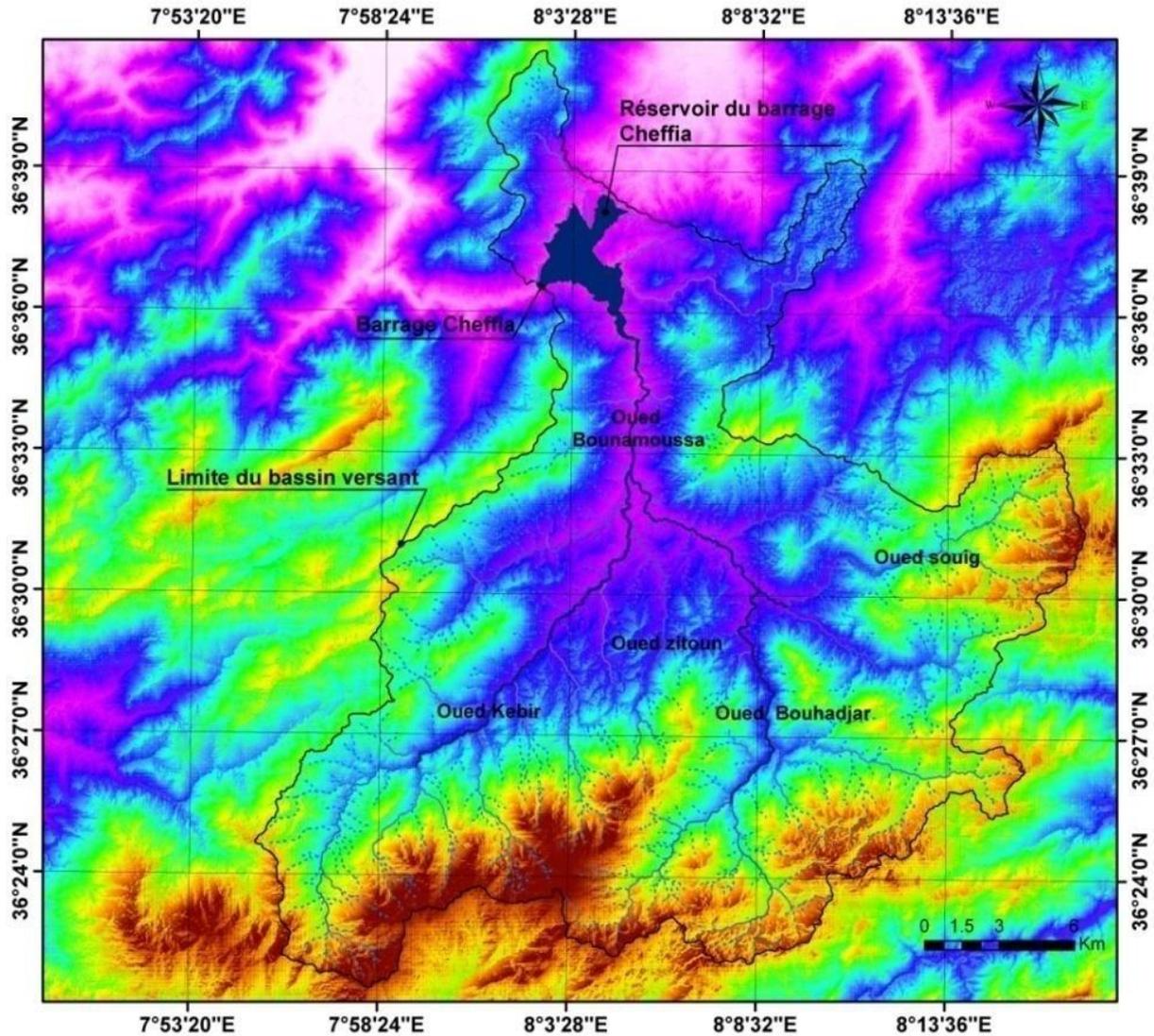


Figure 2.11 :Modèle numérique de terrain (MNT) du BV de Bounamoussa (BOUHADEB ,2019)

Les paramètres essentiels qui contrôlent le régime hydrologique d'un cours d'eau sont le rapport des longueurs (**RI**), la densité de drainage (**Dd**) et le rapport de confluence (**Rc**).

➤ Rapport de confluence (**Rc**)

Il est défini par la formule suivante :

$$Rc = \frac{Ni}{Ni+1} \quad (2.9)$$

Où :

Rc : rapport de confluence.

Ni : nombre de cours d'eau d'ordre (i).

Ni+1 : nombre de cours d'eau d'ordre supérieur (i+1).

$$Rc = 3,581.$$

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

➤ Rapport des longueurs (Rl)

Il est défini par la formule suivante :

$$R_L = \frac{L_{i+1}}{L_i} \quad (2.10)$$

L_i : longueur de cours d'eau d'ordre n .

L_{i+1} : longueur de cours d'eau d'ordre $i+1$.

$$R_L = 2,94$$

➤ Densité de drainage (Dd)

Elle est définie par la formule suivante :

$$Dd = \frac{\sum L_i}{A} \quad (2.11)$$

Avec

L : longueur cumulée de tous les cours d'eau du bassin [km].

A : superficie du bassin [km²].

Dd : densité de drainage en [km/ km²].

avec une densité de drainage (**Dd**) de **3,16 km/km²**, le bassin est bien drainé

➤ Coefficient de torrentialité

Il est défini par la relation suivante :

$$Ct = Dd * \frac{N1}{A} \quad (2.12)$$

$N1$: nombre de cour d'eau d'ordre 1.

A : surface du bassin versant en km².

Ct : coefficient de torrentialité.

Dd : densité de drainage en km/km².

Ct = 16,51 : fréquence appréciable des thalwegs d'ordre 1.

➤ Temps de concentration

Le temps de concentration des eaux dans les bassins versants est défini comme le temps maximum nécessaire à une goutte d'eau pour traverser le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier (**BOUHADEB ,2019**).

• Formule de Giandotti

$$T_C = \frac{4*\sqrt{A}+1.5*L}{0.8*\sqrt{H_{moy}-H_{min}}} \quad (2.13)$$

Avec

T_c : temps de concentration [heures].

A : superficie du bassin [km²].

L : longueur de cours principal [km] .

H_{moy} : altitude moyenne [m].

H_{min} : altitude minimale [m]

$T_c = 6.95 H$.

Dans le **Tableau 2.8**. Nous enregistrons tous les paramètres morphologiques du bassin de Bounamoussa.

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

Tableau 2.8 : Paramètres morphométrique du bassin versant de Bounamoussa (**BOUHADEB ,2019**)

Paramètre physique	Symboles	Unité	Valeur
Superficie	S	km ²	575
Périmètre	P	km ²	176
Indice de compacité de gravelius	Kc	/	2.06
Longueur du rectangle équivalent	Lr	m	80,21
Largeur du rectangle équivalent	Ir	m	7,17
Altitude minimale	Hmin	m	153
Altitude maximale	Hmax	m	1405
Altitude moyenne	Hmoy	m	702,5
Indice de pente de roche	Ip	%	0,16
Indice de pente global	Ig	%	0,02
Dénivelée spécifique	Ds	m	295
Indice de pente moyenne	Im	%	19,73
Rapport de confluence	Rc	%	3,58
Rapport des longueurs	Rl	/	2,94
Densité de drainage	Dd	km/km ²	3,16
Coefficient de torrentialité	Ct	/	16,51
Temps de concentration des eaux	Tc	H	6,95

2.4.Sols et végétation

La végétation est un facteur essentiel de protection contre l'érosion. L'activité végétative et le type de sol sont étroitement liés, et leurs actions combinées ont un effet unique sur l'écoulement en surface. Le couvert végétal retient, en fonction de sa densité, sa nature et la quantité des précipitations, une proportion variable de l'eau atmosphérique. Cette eau d'interception est partiellement soutirée de l'écoulement. L'occupation des sols est en rapport direct avec les activités humaines.

Six principaux types d'occupation des sols dans la zone d'étude sont enregistrés :

-La végétation du bassin de Bounamoussa se caractérise par la diversité de la végétation naturelle, et plus de la moitié du bassin (52%), situé principalement dans la partie haute et moyenne du le bassin versant, est occupée par des végétations forestières, constituées principalement de chêne de liège et de chêne zéen (**BOUHADEB ,2019**)

- Les cultures annuelles, dominées par les céréales, représentent 19,3% de la superficie totale du bassin versant et sont concentrées au maximum du bassin, et sont réparties au niveau

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

central ou dans des zones à pentes moyennes et basses du bassin versant (**BOUHADEB ,2019**).

- 14,37 % de la superficie totale du bassin versant est occupée par des terrains de parcours.

- Les maquis représentent 10,60 % du total et indiquent un stade relativement important de dégradation de la forêt qui augmente d'une année à l'autre et qui était autre fois un potentiel forestier très important pour le bassin. Le reste, soit 3,09 %, est représenté par des terres nues et des agglomérations (**BOUHADEB ,2019**).

Tableau 2.9 :Occupation des sols du bassin versant du Bounamoussa (**BOUHADEB ,2019**).

Type d'occupation du sol	Superficie (Km ²)	Superficie (%)
Plan d'eau	7,69	1,34
Forêt Claire	142,57	24,74
Forêt Dense	154,41	26,8
Culture et parcours	149,4	25,93
culture	45,62	7,92
Parcours	1,45	0,25
Maquis Clair	22,49	3,9
Maquis Dense	38,45	6,67
Sols Nus	8,43	1,46
Agglomération	4,5	0,78

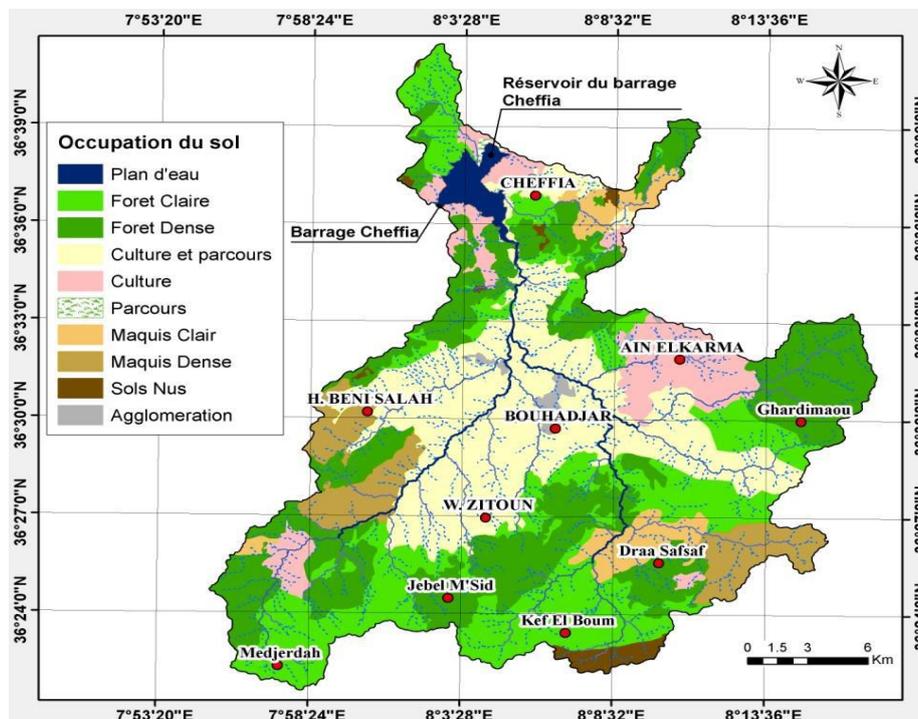


Figure 2.12 :Occupation du sol du BV de Bounamoussa (**BOUHADEB ,2019**).

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

2.5. Géologie du bassin

Le type de formations géologiques dans un bassin versant détermine les écoulement des eaux souterraines et de surface. Les matériaux géologiques sont classés en formations meubles (argile, sable, marnes) ou en formations consolidées (grès, calcaires, dolomites, etc.). Les caractéristiques des déformations dans la zone d'étude sont ceux des terrains telliens, du domaine externe nappé et dont la majeure partie des formations sont des argiles et des grès numidiens. Ce sont des terrains plissés et faillés, parfois même chahutés où s'intercalent d'autres formations nappées crétacées et miocènes (**BOUHADEB ,2019**).

Nous présenterons brièvement les caractéristiques générales de la géologie du bassin versant de Bounamoussa.

❖ La formation Quaternaire

Le Quaternaire du bassin versant de Bounamoussa est réparti au sud du bassin. Il est représenté par le remplissage alluvionnaire de la haute terrasse, les dépôts fluviomarins, éboulis de pentes développés au pied des escarpements gréseux par les grès numidiens où ils recouvrent les marnes argileuses sous-jacentes et par les formations déludio-proluviales de couverture (cailloutis, sables, limons)[31].

❖ Le Miocène

Le Miocène dans cette région est représenté par les formations d'âge Pontien, il s'agit de formations sableuses, de conglomérats et d'argiles rouges ou grises. Le Miocène dans ce bassin de Bounamoussa affleure nettement moins que l'Eocène et l'Oligocène, il n'est présent qu'aux alentours d'Aïn El Kerma à l'amont de l'Oued Zitoune et sur les deux rives de l'Oued Bouhadjar et à l'amont de l'Oued principal de Bounamoussa (**BOUHADEB ,2019**).

❖ Les formations de l'Oligocène et de l'Eocène

Ces terrains sont souvent étudiés ensembles et sont même parfois confondus sous la même dénomination, les formations numidiennes. Ils sont représentés par des faciès argilo-gréseux d'âge numidien.

Les argiles numidiennes sont très répandues dans ce bassin, surtout à travers les reliefs du domaine montagneux. Ces formations sont souvent associées aux grès de même âge (les grès numidiens) (**BOUHADEB ,2019**).

❖ Le Crétacé

Les terrains crétacés de la région d'étude sont représentés par des dépôts essentiellement marins composés de marno-calcaires et des schistes légèrement argileux avec des intercalations de calcaires. Ils sont relativement plus répandus que les terrains du Trias dans ce bassin. Il est concentré dans deux régions, d'Ain Kerma Est dans la vallée de l'oued Zitoune, et dans la région de Cheffia au Nord du bassin (**BOUHADEB ,2019**).

❖ Le Trias

Il est largement représenté par des formations hétérogènes où l'on rencontre, sans ordre apparent, des argiles bigarrées, des calcaires dolomitiques, des cargneules jaunes, des calcaires marneux jaunâtres et des grès psammitiques. Le gypse est aussi très abondant dans cette formation. On le rencontre en masses importante dans le fond des grandes vallées. Les formations triasiques se trouvent principalement dans la limite Sud du bassin couvrant la zone montagneuse de Dj bale M'sid (**BOUHADEB ,2019**).

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

Dans le tableau 2.9 sont regroupées les différentes formations lithologiques de la zone d'étude par rapport à la surface totale du bassin versant.

Tableau 2.10 : Formation lithologique du bassin versant de Bounamoussa (BOUHADEB ,2019).

Formation lithologique	Superficie en %
Alluvions de haute terrasse	7,42
Argile Numidiennes	21,78
Grés Numidiens	46,92
Calcaires Bitumineux et marno-calcaires noirs	9,33
formation argilo-gypso-gréseuses à fragments et blocs de roches diverses	1,36
Marnes à ammonites phriteuses	8,22
formations sableuses, de conglomérats et d'argiles rouges ou grises.	4,96

2.6. Pédologie du bassin

Comme le montre la carte topographique (Figure 2.9), la distribution du sol varie avec la gamme de morphologie: le sol le plus commun dans le bassin versant de Bounamoussa, en particulier de l'Est et au Sud sont les sols podzoliques, Ils sont développés sur un terrain montagneux et forestiers presque tout le long des limites du bassin. Cinq classes de sols ont été distinguées (BOUHADEB ,2019)..

* **Sol podzolique** à vocation forestière de chêne liège sur les reliefs dont l'altitude est comprise entre 800 et 1405 m, prenant naissance sur les grés de Numidie, leurs éboulis et les bancs gréseux de la partie supérieure des argiles de Numidie à l'horizon superficiel sableux ou léger, d'autant plus qu'il s'agit là d'un milieu humide où la pluviométrie dépasse les 1000 mm en moyenne annuelle (BOUHADEB ,2019)..

* **Sol calcaire** ne présentant qu'un seul horizon différencié riche en calcaire, de texture légère, perméable, formé de cailloutis, sables et limons (BOUHADEB ,2019)..

* **Sols alluviaux** qui sont des dépôts alluviaux quaternaires continentaux avec des niveaux argilo-sablo-conglomératiques, à profil indifférencié, mais la présence de niveaux argileux permet le développement de marécages et de sols hydromorphes, constitués en terrasses et regs, leur végétation est toujours herbacée (BOUHADEB ,2019).

* **Les Vertisols** de texture argileuse prenant place sur les reliefs d'altitude inférieure à 800 m, occupant plus de 21 % de la superficie du bassin versant (BOUHADEB ,2019)..

* **Les rendzines** à horizon humifères reposant directement sur le substrat calcaire et possédant une richesse en carbonate de calcium (BOUHADEB ,2019).

Dans le **Tableau 2.10** sont classées les différentes formations pédologiques du bassin versant de Bounamoussa par rapport à la surface totale du bassin.

Chapitre 02 : Description de la zone d'étude

Tableau 2.11 :Les classes pédologiques du bassin versant de Bounamoussa (BOUHADEB ,2019).

Type	Superficie (km ²)	Superficie(%)
Sols podzoliques	269,79	46,92
Vertisols	124,86	21,72
Sols alluviaux	75,94	13,21
Sols rendzines	53,69	9,34
Sols calcaires	50,71	8,82

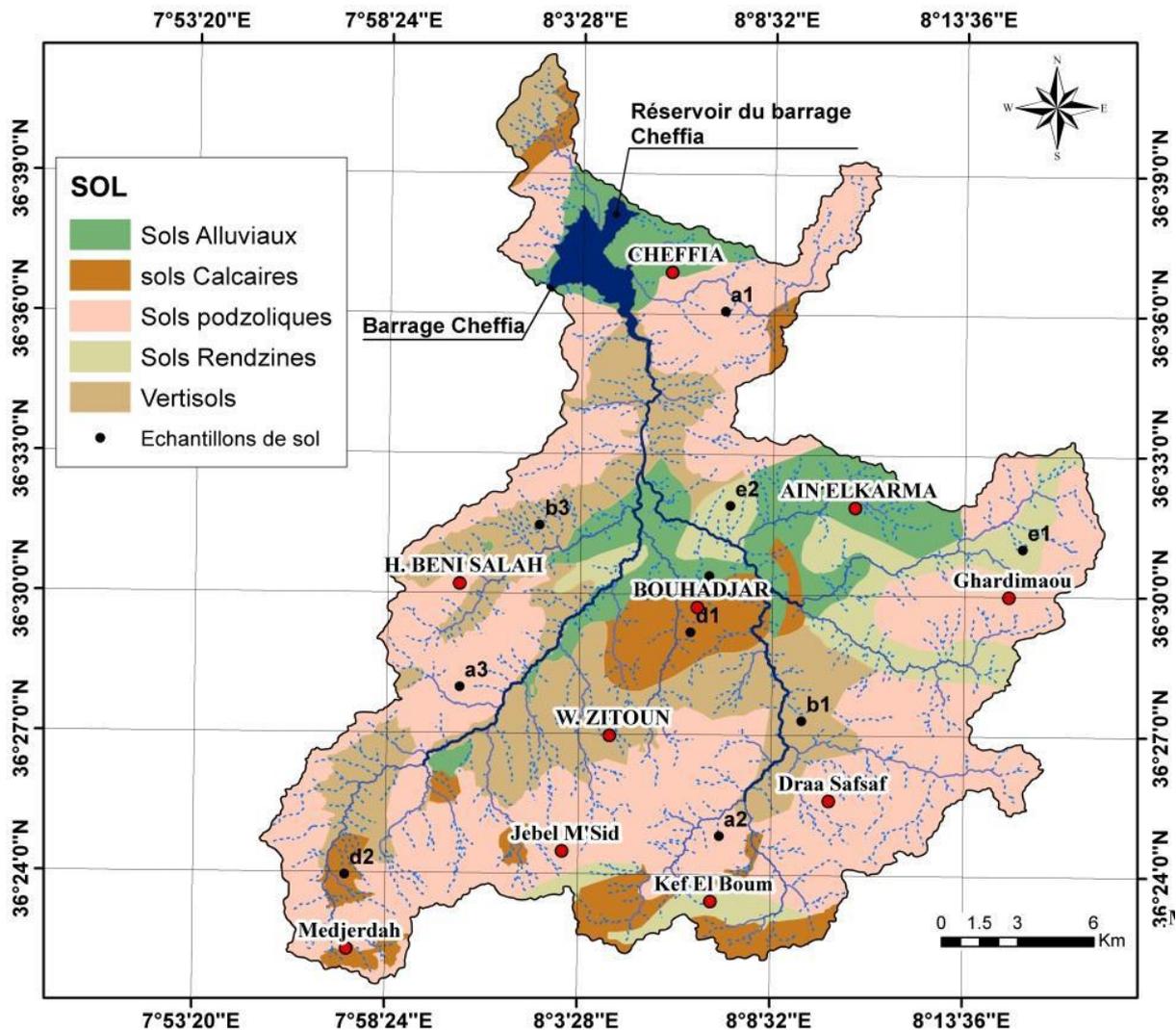


Figure 2.13 :Sol du bassin versant de Bounamoussa (BOUHADEB ,2019).

Chapitre 03:

Matériels et les

Méthodes

Chapitre 03: Matériels et les Méthodes

3 Matériels et les Méthodes

3.1. Introduction :

L'appréciation de la qualité des eaux de surface de la zone d'étude, le barrage Cheffia, se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité, chlorures, sulfates, oxygène dissous, DBO5, DCO, dérivés azotés et phosphorés, alcalinité, dureté totale, ...). Certains paramètres seront mesurés in situ tandis que d'autres seront réalisés au laboratoire

Dans ce chapitre, nous avons tenté de présenter les méthodes d'analyse des paramètres précités, les méthodes de calcul de l'indice de qualité des eaux et le principe de modélisation.

3.2. Méthodes de mesure des paramètres physico-chimiques

➤ Température

La température a été mesurée in situ avec un thermomètre gradué au 1/10. La température de l'eau a été mesurée sur le site de prélèvement "barrage". La lecture a été effectuée après immersion du thermomètre pendant 10 minutes à une profondeur d'environ 15 cm. Les résultats sont exprimés en degrés Celsius (**BARKAT,2016**).

➤ PH

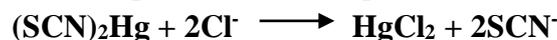
Le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre modèle Skalar, en plongeant l'électrode dans l'eau à environ 6 à 8cm de la surface. Le pH mètre est étalonné à l'aide de solutions étalons pH 4, 7 10 à 20°C (**BARKAT,2016**).

➤ Conductivité électrique

La conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre de laboratoire. L'appareil est préalablement étalonné avec des solutions de chlorure de potassium (KCl). Les résultats sont donnés en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**BARKAT,2016**).

➤ Chlorures (Cl^-)

Le dosage des chlorures se fait selon la méthode colorimétrique. Le thiocyanate mercurique réagit en présence d'ions chlorures par double décomposition :



Il se forme du chlorure mercurique insoluble avec libération d'ions sulfocyanure, qui en présence d'ions ferriques donnent une coloration rouge intense, proportionnelle aux ions SCN^- et donc aux ions Cl^- . Les résultats sont exprimés en mg/l de chlorures (**BARKAT,2016**).

➤ Sulfates (SO_4^{2-})

Le dosage des sulfates se fait par la méthode spectrophotométrique. Les ions SO_4^{2-} sont précipités par le chlorure de baryum sous forme de sulfate de baryum très peu soluble selon la réaction chimique suivante : $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \longrightarrow \text{BaSO}_4$

La spécificité est bonne, le précipité (BaSO_4), très fin est maintenu en suspension par un produit tensioactif, la gélatine. On effectue sur le trouble obtenu une mesure d'adsorbance à 495nm. Les résultats sont exprimés en mg/L de sulfates (**BARKAT,2016**).

Chapitre 03: Matériels et les Méthodes

➤ **Matières en suspension**

La détermination des matières en suspension s'effectue par centrifugation. L'eau à analyser est centrifugée à 3000 tr/min pendant 20 minutes. Le culot recueilli est séché à 105°C pendant 1h30 min à 2h. Le taux des matières en suspension est exprimé en mg /L (**BARKAT,2016**).

➤ **Résidu sec**

Le résidu sec est obtenu par pesée après évaporation à sec dans une étuve à 105°C, de 50cm³ d'échantillon d'eau bien mélangée et placée dans une capsule d'aluminium tarée. Les résultats sont exprimés en mg/L (**BARKAT,2016**).

➤ **Oxygène dissous (OD)**

Mesuré au laboratoire par la méthode de Winkler. En milieu alcalin, l'oxygène dissous forme avec l'hydroxyde de manganèse (Mn(OH)₂ II) un précipité brun d'hydroxyde manganique (III) (MnO(OH)₃). La réduction de ce dernier en milieu acide en présence d'un excès d'iode libère l'iode qui est dosé par le thiosulfate de sodium (Na₂S₂O₃) et en utilisant l'empois d'amidon comme indicateur. Les résultats sont exprimés en mg/L d'O₂ et en pourcentage de saturation (**BARKAT,2016**).

➤ **Demande biochimique en oxygène (DBO₅)**

La demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO₅) est évaluée par la méthode respirométrique qui permet de suivre automatiquement l'évolution de la demande biochimique en oxygène au cours de l'oxydation des matières organiques.

L'échantillon d'eau est introduit dans des flacons ambrés maintenus dans une enceinte thermostatée pour être incubé en présence d'air à 20°C, pendant 5 jours sous agitation constante. Les micro-organismes présents consomment l'oxygène dissous qui est remplacé en permanence par de l'oxygène en provenance du volume d'air situé au dessus de l'échantillon. L'anhydride carbonique formé est piégé par de l'hydroxyde de potassium (**BARKAT,2016**).

La mesure est effectuée à l'aide d'un appareil manométrique, la DBO est exprimée en mg O₂/L (**BARKAT,2016**).

➤ **Demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène nécessaire pour obtenir l'oxydation des matières organiques et minérales présentes dans l'eau. L'oxydation est réalisée par un excès de dichromate de potassium, en milieu acide en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure. L'excès de dichromate de potassium est dosé par le sulfate de fer et d'ammonium. La DCO est exprimée en mg/L d'O₂ (**BARKAT,2016**).

➤ **Ammonium (NH₄⁺)**

L'ammonium a été dosé par la méthode au bleu d'indophénol en milieu alcalin et en présence de nitroprussiate qui agit comme catalyseur. Les ions ammonium traités par une solution de chlore et de phénol donnent du bleu d'indophénol, susceptible d'un dosage par spectrophotométrie d'absorption moléculaire. Les résultats de la teneur en ion ammonium sont exprimés en mg/l de NH₄⁺ (**BARKAT,2016**).

Chapitre 03: Matériels et les Méthodes

➤ Nitrites (NO₂⁻)

La détermination des nitrites s'effectue par spectrophotométrie d'absorption moléculaire. La diazotation de la sulfanilamide par les nitrites en milieu acide et sa copulation avec le α -Naphthyl éthylène diamine dihydrochloride donne un complexe pourpre susceptible d'un dosage spectrophotométrique à 540 nm . Les résultats sont exprimés en mg/L de NO₂⁻ (BARKAT,2016).

➤ Nitrates (NO₃⁻)

Dosés selon la méthode de réduction au cadmium par passage sur une colonne de cadmium, les nitrates sont réduits en nitrites dont le dosage a été décrit précédemment. Le taux de nitrates exprimé en mg/l NO₃⁻ est calculé par la différence des taux des nitrates et nitrites à la fois et du taux des nitrites (BARKAT,2016).

➤ Phosphates (PO₃⁻)

Le dosage des phosphates a été effectué par la méthode colorimétrique. Le molybdène d'ammonium (Mo(NH₄) 4H₂O) réagit en milieu acide en présence de phosphate en donnant un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue (bleu de molybdène) susceptible d'un dosage colorimétrique. Les résultats sont exprimés en mg/L de phosphates (BARKAT,2016).

➤ Dureté totale

La détermination de la dureté ou titre hydrométrique (TH) d'une eau utilise la réaction de complexation entre les ions calcium et magnésium et l'ion éthylène diamine tétraacétate (EDTA). Le dosage s'effectue par titrage dans un tampon amoniacal (pH=10) jus jusqu'au virage du noir d'ériochrome (LABIOD,2010).

➤ Solides dissouts totaux

TDS représente la concentration totale des substances inorganiques et organiques (TDS et PH, 2010),dissoutes dans l'eau. Après filtration d'un échantillon d'eau de volume (V), le filtrat est transféré dans une capsule tarée (B) et mis à sécher (180°C). Après évaporation, la capsule contenant le résidu sec est pesée à nouveau (A)

La quantité totale de solides dissouts TDS est déterminée à partir de la relation suivante.

$$TDS = \frac{(A-B)1000}{V}$$

Avec :

A : poids total de la capsule d'évaporation et du résidu (mg).

B : poids de la capsule d'évaporation seule (mg).

V : volume de l'échantillon

La quantité de TDS peut également être déterminée à partir de la mesure de la conductivité calculée en utilisant la corrélation suivante :

$$TDS= Ke*CE$$

Avec :

Ke (P,T) : facteur de conversion compris entre 0,55 et 0,80 [36].

CE : conductivité électrique (μ S/cm).

Chapitre 03: Matériels et les Méthodes

3.3. Calcul de l'indice de qualité de l'eau (IQE)

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est une expression numérique utilisée pour évaluer la qualité globale de l'eau à partir d'une grande quantité de données. Le nombre de paramètres minimum requis pour la détermination de l'IQE est variable. Dix huit paramètres (chlorures (Cl⁻), conductivité électrique (CE), calcium (Ca⁺⁺), magnésium (Mg⁺⁺), pH, sulfates (SO₄⁻), nitrates (NO₃⁻), nitrites (NO₂⁻), orthophosphates (PO₄³⁻), ammonium (NH₄⁺), demande chimique en oxygène (DCO), demande biochimique en oxygène au bout de 5 jours (DBO₅), oxygène dissous (OD) et Total des solides en suspension (TSS), la dureté totale (TH), total des solides dissous (TDS), et la température (T), la turbidité (turb)) ont été sélectionnés pour calculer l'Indice de qualité de l'eau IQE.

L'IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (Excellente, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise, etc.). Dans cette étude l'indice IQE est appliqué pour estimer l'impact des facteurs naturels et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres clés du chimisme des eaux du barrage Cheffia (TALHAOUI,2020).

L'indice de qualité de l'eau a été calculé sur la base de l'IQE proposé par Rodriguez de Bascaroan (1979) (PESCE, 2000) comme suit :

$$IQE = k \left(\frac{\sum_{i=1}^n C_i * P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \right) \quad (3.1)$$

Avec

k : constante subjective.

k représente l'impression visuelle de la contamination d'un plan d'eau (telle qu'elle pourrait être évaluée par une personne sans formation aux questions environnementale et prend l'une des valeurs suivantes en fonction de l'état du plan d'eau :

- 1,00 = eau sans contamination apparente (claire ou avec des matières en suspension naturelles).
- 0,75 = eau légèrement contaminée (apparemment), indiquée par une couleur non naturelle claire, une mousse, une turbidité légère sans raison naturelle.
- 0,50 = eau contaminée (apparemment), indiquée par une couleur non naturelle, une odeur légère à modérée, une turbidité élevée (non naturelle), des solides organiques en suspension, etc.
- 0,25 = eau fortement contaminée (apparemment), indiquée par une couleur noirâtre, une odeur dure, une fermentation visible, etc.

C_i : valeur attribuée à chaque paramètre après normalisation (**Tableau 3.1**).

P_i : poids relatif attribué à chaque paramètre (**Tableau 3.1**).

La valeur P_i est comprise entre 1 et 4, 4 représentant le paramètre qui a le plus d'importance pour la vie aquatique.

Chapitre 03: Matériels et les Méthodes

Tableau 3.1 : Paramètres pris en compte pour le calcul de l'IQE (PESCE ,2000)

Parameter	Relative weight (P_i)	Normalization factor (C_i)															
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0					
		Analytical value ^a															
Ammonia nitrogen	3	<0.01	<0.05	<0.10	<0.20	<0.30	<0.40	<0.50	<0.75	<1.00	≤1.25	>1.25					
BOD-5	3	<0.5	<2	<3	<4	<5	<6	<8	<10	<12	≤15	>15					
Calcium	1	<10	<50	<100	<150	<200	<300	<400	<500	<600	≤1000	>1000					
Chloride	1	<25	<50	<100	<150	<200	<300	<500	<700	<1000	≤1500	>1500					
Conductivity ^b		<750	<1000	<1250	<1500	<2000	<2500	<3000	<5000	<8000	≤12,000	>12,000					
COD	3	<5	<10	<20	<30	<40	<50	<60	<80	<100	≤150	>150					
Dissolved oxygen	4	≥7.5	>7.0	>6.5	>6.0	>5.0	>4.0	>3.5	>3.0	>2.0	≥1.0	<1.0					
Hardness	1	<25	<100	<200	<300	<400	<500	<600	<800	<1000	≤1500	>1500					
Magnesium	1	<10	<25	<50	<75	<100	<150	<200	<250	<300	≤500	>500					
Nitrates	2	<0.5	<2.0	<4.0	<6.0	<8.0	<10.0	<15.0	<20.0	<50.0	≤100.0	>100.0					
Nitrites	2	<0.005	<0.01	<0.03	<0.05	<0.10	<0.15	<0.20	<0.25	<0.50	≤1.00	>1.00					
Oil and grease	2	<0.005	<0.02	<0.04	<0.08	<0.15	<0.30	<0.60	<1.00	<2.00	≤3.00	>3.00					
pH	1	7	7.8	7.8.5	7.9	6.5	7	6	9.5	5	10	4	11	2	13	2	14
Phosphorus (orthophos-phate)	1	<0.16	<1.60	<3.20	<6.40	<9.60	<16.0	<32.0	<64.0	<96.0	≤160.0	>160.0					
Solids: dissolved	2	<100	<500	<750	<1000	<1500	<2000	<3000	<5000	<10,000	≤20,000	>20,000					
Solids: total	4	<250	<750	<1000	<1500	<2000	<3000	<5000	<8000	<12,000	≤20,000	>20,000					
Sulfates	2	<25	<50	<75	<100	<150	<250	<400	<600	<1000	≤1500	>1500					
Surfactants as MBAS	4	<0.005	<0.06	<0.10	<0.25	<0.50	<0.75	<1.00	<1.50	<2.00	≤3.00	>3.00					
Temperature	1	21/16	22/15	24/14	26/12	28/10	30/5	32/0	36/-2	40/-4	45/-6	>45/-6					
Total coliforms	3	<50	<500	<1000	<2000	<3000	<4000	<5000	<7000	<10,000	≤14,000	>14,000					
Turbidity	2	<5	<10	<15	<20	<25	<30	<40	<60	<80	≤100	>100					

5 classes de qualité de l'eau peuvent être identifiées (**Tableau 3.2**) suivant les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE déterminé à partir de la méthode de Bascaroan (**PESCE ,2000**) :

Tableau 3.2 : Classification de l'eau selon l'IQE (PESCE ,2000).

IQE	Classification
≤ 25	Très mauvaise qualité de l'eau
] 25 – 50]	Mauvaise qualité de l'eau
] 50 – 70]	Qualité de l'eau moyenne
] 70 – 90]	Bonne qualité de l'eau
91 - 100	Excellente qualité de l'eau

3.4.Estimation de l'IQE à l'aide de machine Learning :

La prévision des changements dans les concentrations des paramètres physico-chimique de l'eau dus aux facteurs humains et naturels est essentielle et difficile, en particulier dans les zones où les données sont rares et la variabilité élevée des paramètres. Cette étude construit un modèle d'indice de qualité de l'eau (IQE) à l'aide d'algorithmes et de techniques d'apprentissage automatique. cette modélisation utilise des algorithmes d'apprentissage automatique tels que l'arbre de décision (DT) et XG Boost . Le modèle peut prédire les paramètres physicochimique à partir de lectures réelles mensuellement par ANRH pour la période allant de janvier 1992 à Mars 2010 .

Chapitre 03: Matériels et les Méthodes

DÉFINITION ET PERFORMANCE DE L'ALGORITHME :

- **Arbre de décision (DT) :**

L'arbre de décision est considéré comme l'un des algorithmes les plus efficaces et les plus courants pour la classification et la prédiction future. DT est un modèle similaire à un arbre conceptuel, où chaque nœud interne représente une caractéristique qui divise au mieux les données en sous-ensembles en utilisant des mesures statistiques telles que le gain d'information et le rapport de gain. En apprentissage automatique, DT est l'un des algorithmes d'apprentissage supervisé (**KHALI D,2020**).

Dans notre étude, nous avons utilisé huit modèles comme indiqué ci-dessous :

Modèle	COMBINAISON D'ENTRÉE
ML01	(NH4)
ML02	(NH4); (TSS)
ML03	(NH4); (TSS);(Turb)
ML04	(NH4); (TSS);(Turb);(BOD5)
ML05	(NH4); (TSS);(Turb);(BOD5); (DO)
ML06	(NH4); (TSS);(Turb);(BOD5); (DO);(COD)
ML07	(NH4); (TSS);(Turb);(BOD5); (DO);(COD); (Cl)
ML08	Tous les paramètres

- **Algorithme d'amplification de gradient extrême :**

L'algorithme XGBoost, un système d'apprentissage automatique évolutif pour le renforcement des arbres serait discuté. Le boosting est une technique d'apprentissage automatique qui peut être utilisée pour la régression et la classification problèmes. Il génère un apprenant faible à chaque étape et l'accumule dans le modèle total. Si le faible l'apprenant pour chaque étape est basé sur la direction du gradient de la fonction de perte (**KHALI D,2020**).

Dans notre étude, nous avons utilisé huit modèles comme indiqué ci-dessous :

Modèle	COMBINAISON D'ENTRÉE
ML01	(NH4)
ML02	(NH4); (TSS)
ML03	(NH4); (TSS);(Turb)
ML04	(NH4); (TSS);(Turb);(BOD5)
ML05	(NH4); (TSS);(Turb);(BOD5); (DO)
ML06	(NH4); (TSS);(Turb);(BOD5); (DO);(COD)
ML07	(NH4); (TSS);(Turb);(BOD5); (DO);(COD); (Cl)
ML08	Tous les paramètres

Chapitre 03: Matériels et les Méthodes

Évaluation statistique des performances du modèle

Les performances de prédiction de tous les modèles sont évaluées en comparant les IQE prévues et observées à l'aide de trois mesures de précision de prédiction calculées à partir des ensembles de données de test : L'erreur quadratique moyenne (RMSE), l'erreur absolue moyenne (MAE) et le coefficient de Détermination (également appelée R^2).

La RMSE est définie comme :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N}}$$

La MAE est définie comme :

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - x_i|^2$$

Le R^2 est défini comme

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) + \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})}$$

Avec

x_i : la valeur prédite.

Y_i : la valeur mesurée.

N : le nombre total d'échantillons.

\bar{x} : la valeur moyenne de la valeur échantillonnée.

\bar{y} : la valeur moyenne de prévision de l'échantillon.

Plus les valeurs des RMSE et MAE sont faibles, plus la capacité prédictive du modèle est meilleure et si R^2 approche de la valeur 1, la précision du le modèle s'améliore (**Nature Publishing Group,2017**).

Chapitre 04 :

Résultats et Discussion

Chapitre 04 : Résultats et discussion

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons et discuterons les différents résultats obtenus. Dans un premier temps, nous verrons l'évolution de tous les paramètres physico-chimiques. Puis on calcule l'indice de qualité par la méthode de Bascaron (1979) avec classification pour connaître la qualité de l'eau du barrage de Cheffia. Enfin, nous comparerons les valeurs IQE observées avec les valeurs IQE attendues par python.

4.2. Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux du barrage Cheffia, pendant la période d'étude (1992-2010) et on compare avec la norme OMS.

Les deux droites dans chaque graphe représentent la valeur max et la valeur min de chaque paramètre selon OMS.

Pour cerner la qualité des eaux du barrage Cheffia, on a étudié l'évolution des éléments physico-chimiques dans le temps pendant la période d'échantillonnage (janvier 1992- mars 2010).

4.2.1. Les paramètres physiques

➤ La température (T °C)

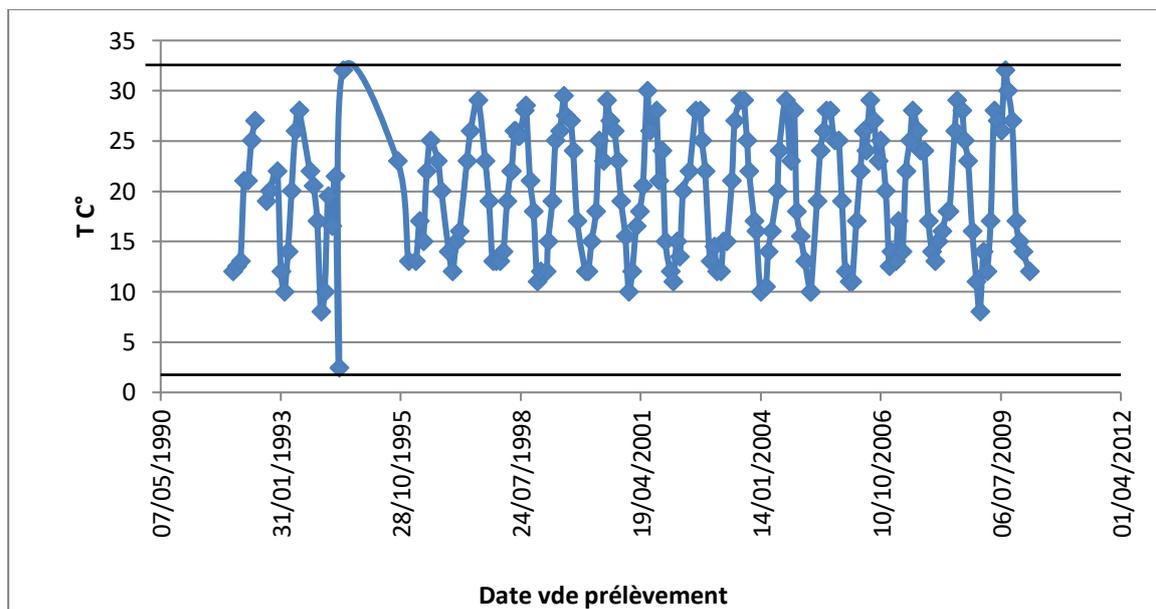


Figure 4.1 : Evolution de la température de l'eau.

La température maximale de l'eau ($T_{\text{eau max}} = 32^{\circ}\text{C}$) est enregistrée pendant le mois de juillet (1994), et une température minimale ($T_{\text{eau min}} = 2,4^{\circ}\text{C}$) est enregistrée au mois de juin (1994). La température moyenne mensuelle de l'eau est d'environ de $19,66^{\circ}\text{C}$. et est inférieure à la température maximale de 25°C . (**Tableau 4.1**).

Chapitre 04 : Résultats et discussion

➤ Potentiel d'hydrogène (pH)

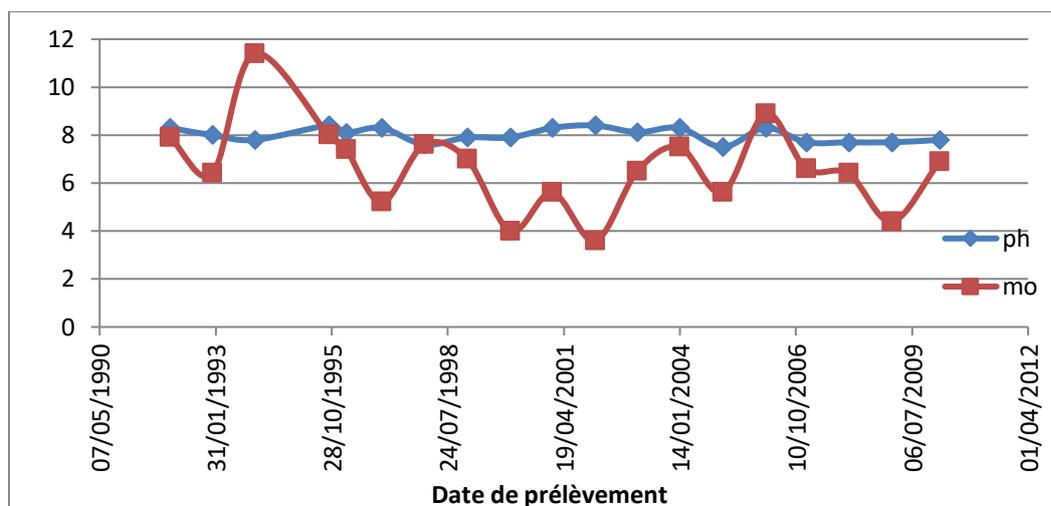


Figure 4.2: Evolution du pH en fonction de la matière organique.

Le pH mesuré au barrage de Cheffia varie entre 7,3 et 8,82 et peut être expliqué par le substrat calcaire de la structure géologique du bassin versant, riche en carbonates. Le pH mensuel moyen de l'eau est légèrement alcalin, d'environ 8,03, et inférieur à 8,5 (Tableau 4.1).

➤ Conductivité électrique (CE) et du résidu sec (RS)

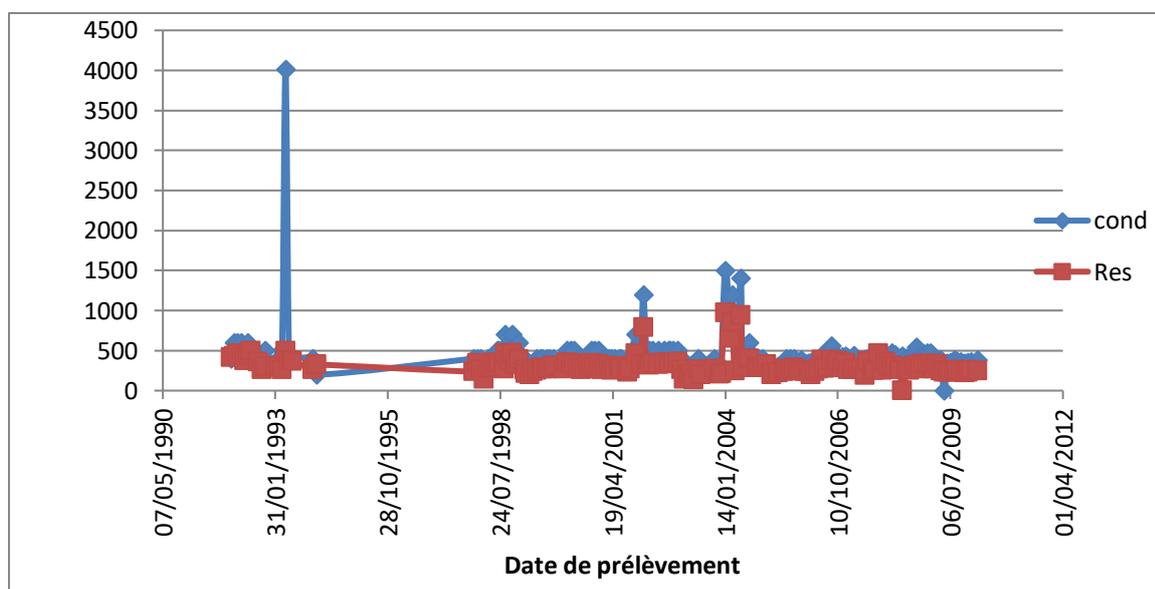


Figure 4.3 : Variation de la conductivité électrique avec le résidu sec de l'eau du barrage Cheffia.

On remarque que les valeurs du Rs varient entre une valeur minimale de 2,7 mg/L, enregistrée en mai 2008, et une valeur maximale de 972 mg/L, enregistrée en janvier 2004.

On remarque que les valeurs de la conductivité électrique sont comprises entre 0,3 et 4009 $\mu\text{s}/\text{cm}$. La valeur maximale 4009 $\mu\text{s}/\text{cm}$ est enregistrée en mai 1993, et la valeur minimale 0,3

Chapitre 04 : Résultats et discussion

$\mu\text{s}/\text{cm}$ est enregistrées pendant l'année 2009. L'évolution de ces deux paramètres se fait d'une manière parallèle.

4.2.2. Les éléments chimiques

○ Les cations

▪ Le calcium (Ca^{2+})

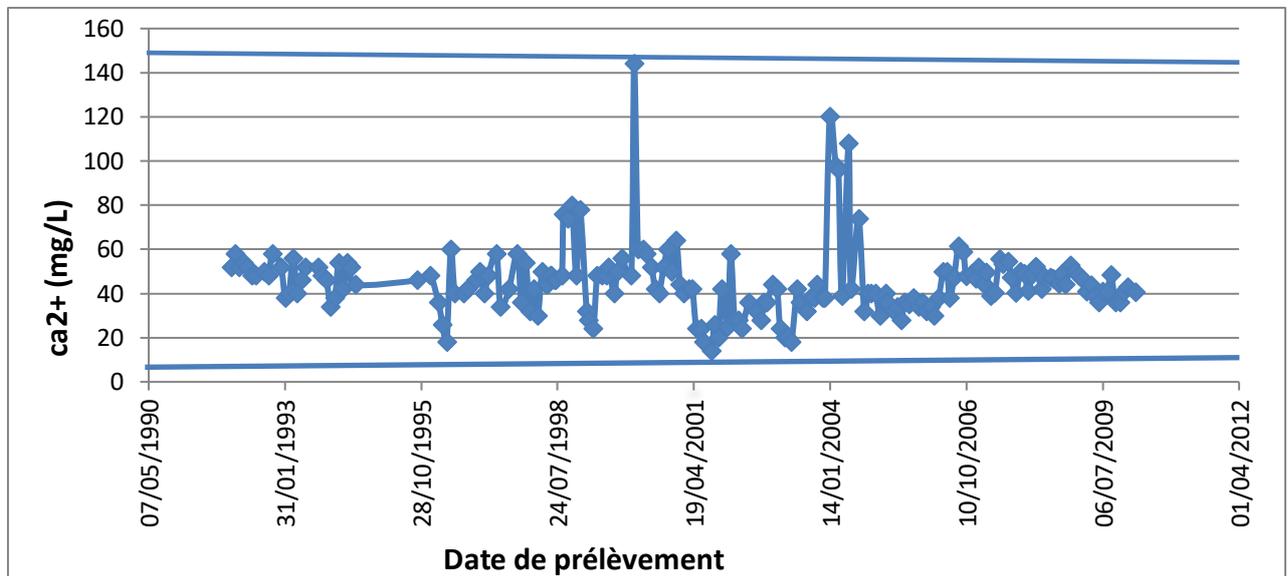


Figure 4.4 : Evolution de la teneur du calcium dans le temps.

On remarque que les teneurs en calcium varient entre 14 mg/L enregistrée en 26 août 2001, et 144 mg/L enregistrée en 6 février 2000, ce qui est inférieur à la valeur max 200 (**Tableau 4.1**).

Chapitre 04 : Résultats et discussion

▪ Magnésium (Mg^{2+})

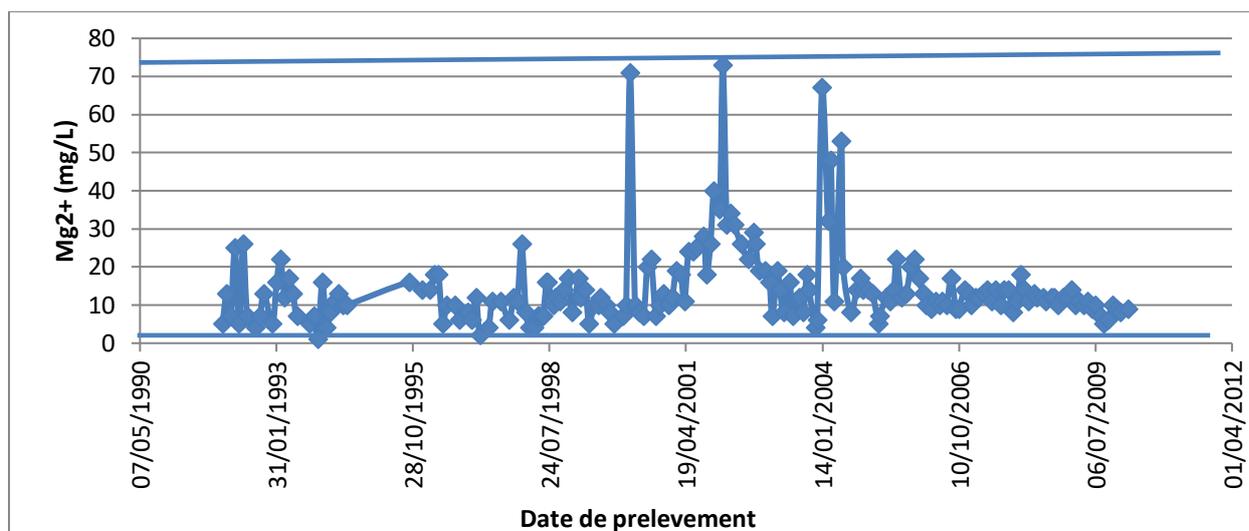


Figure 4.5 : Evolution de la teneur du magnésium dans le temps.

On remarque que les teneurs en magnésium varient entre 1 mg/L enregistrée au mois de décembre 1993, et 73mg/L enregistrée en janvier 2002, et Le Mg^{2+} mensuel moyen de l'eau est d'environ 14,15, ce qui est inférieur à la valeur max 150 (**Tableau 4.1**).

○ Les Anions

▪ Chlorures (Cl^-)

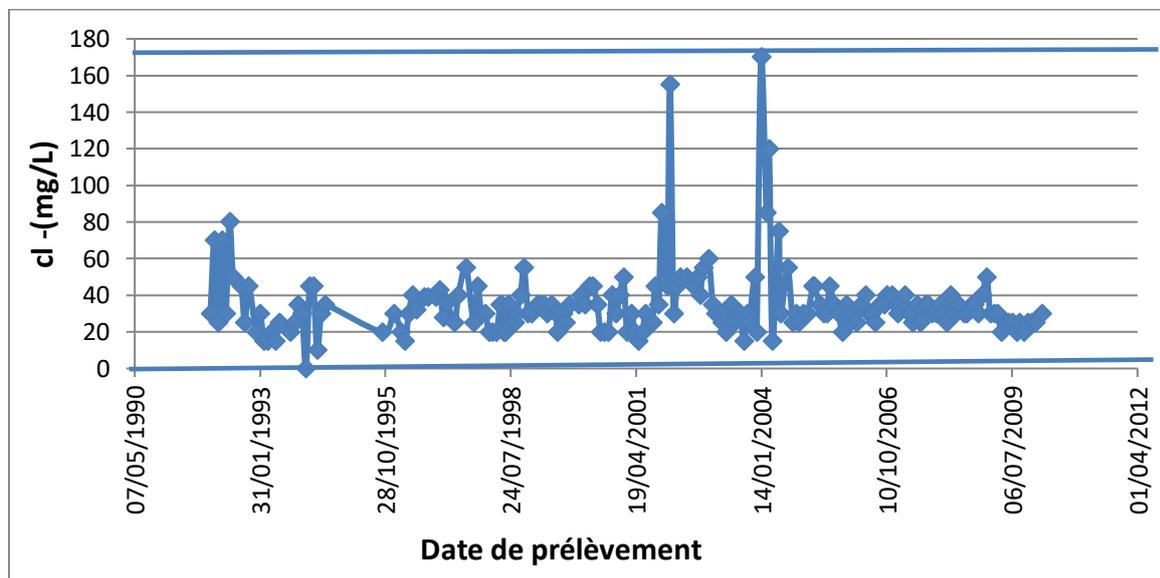


Figure 4.6 : Evolution de la teneur du chlorure dans le temps.

On remarque que les teneurs du chlorure varient entre 0 mg/L enregistrée en février 1994, et 170 mg/L enregistrée en janvier 2004 et Le Cl^- mensuel moyen de l'eau est d'environ 34,87 mg/L, ce qui est inférieur à la valeur max 150 (**Tableau 4.1**).

Chapitre 04 : Résultats et discussion

▪ Sulfates (SO_4^{2-})

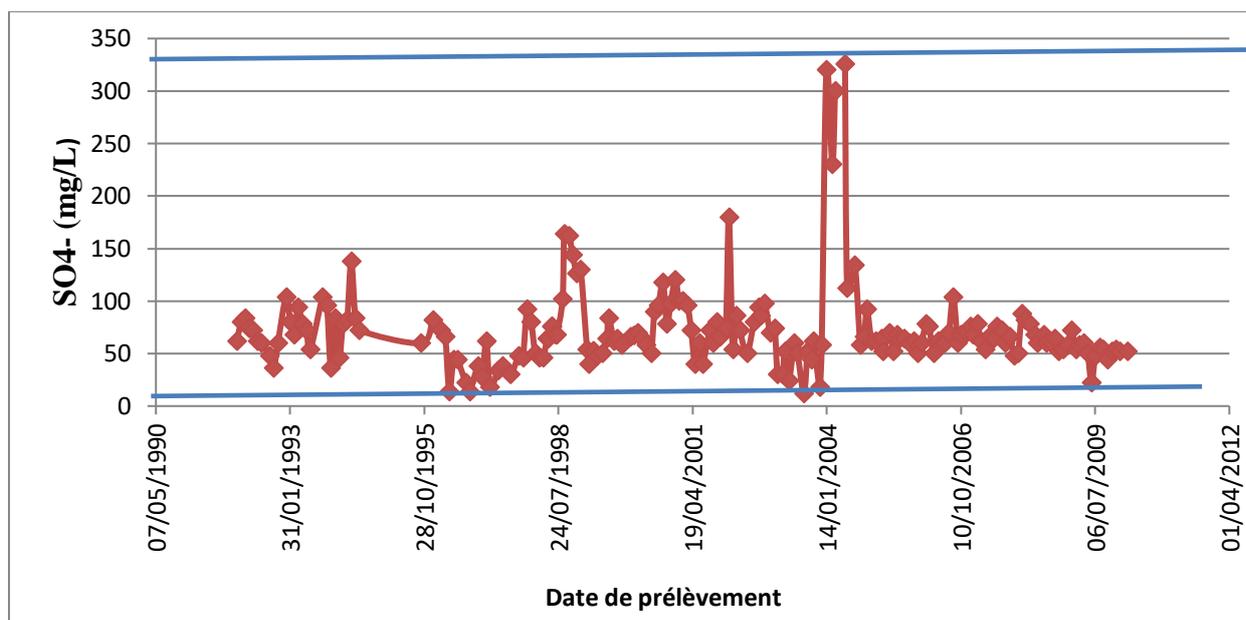


Figure 4.7 : Evolution de la teneur du sulfate dans le temps.

On remarque que la teneur en sulfates varie entre 326 mg/L enregistrée en mai 2004, et 12 mg/L enregistrée en juin 2003, et Le SO_4^{2-} mensuel moyen de l'eau est d'environ 71,82mg/L ce qui est inférieur à la valeur max qui 250 (Tableau 4.1).

▪ Phosphates (PO_4^{3-})

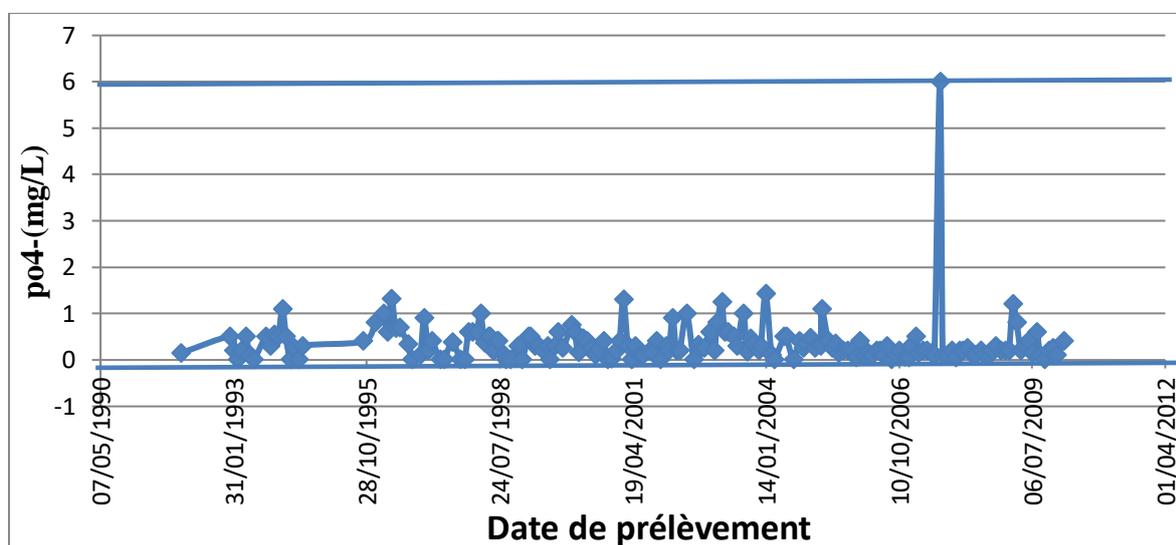


Figure 4.8: Evolution de la teneur du phosphate dans le temps.

On remarque que les teneurs en phosphates varient entre 0 mg/l et 6mg/l. La valeur maximale a été enregistrée en août 2007, et Le PO_4^{3-} mensuel moyen de l'eau est d'environ 0,35 ce qui est inférieure à la valeur max 0,5 (Tableau 4.1).

Chapitre 04 : Résultats et discussion

4.2.3. Les éléments nutritifs

▪ Nitrates (NO_3^-)

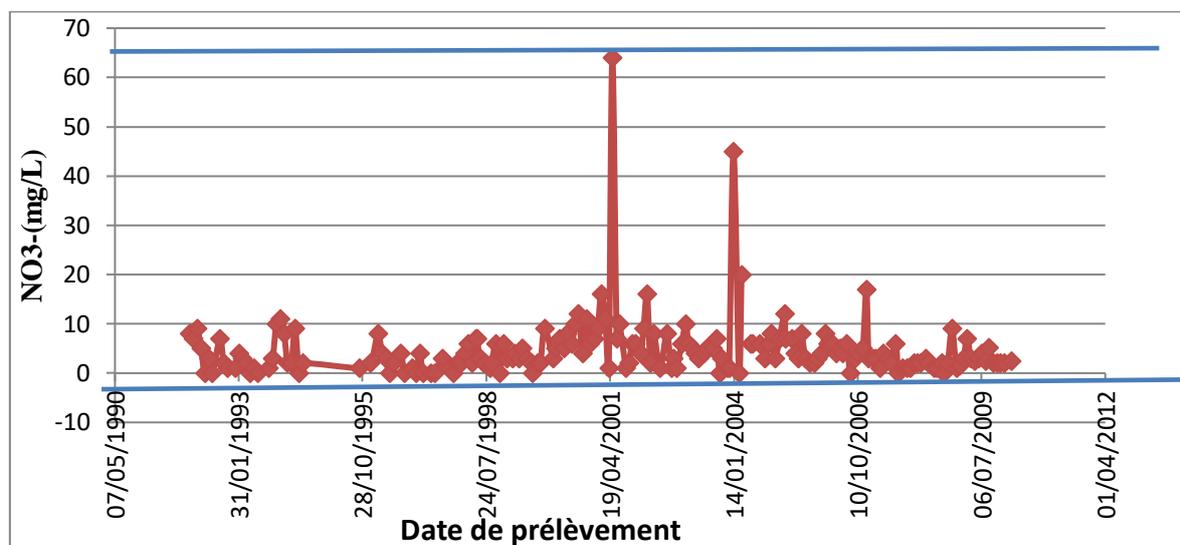


Figure 4.9 : Evolution de la teneur du nitrate dans le temps.

On remarque que les teneurs en nitrate varient entre 0mg/L et 64mg/L. La valeur maximale a été enregistrée en mai 2001, et Le NO_3^- mensuel moyen de l'eau est d'environ 4,63mg/L ce qui est inférieure à la valeur max 50 (**Tableau 4.1**).

• Nitrite (NO_2^-)

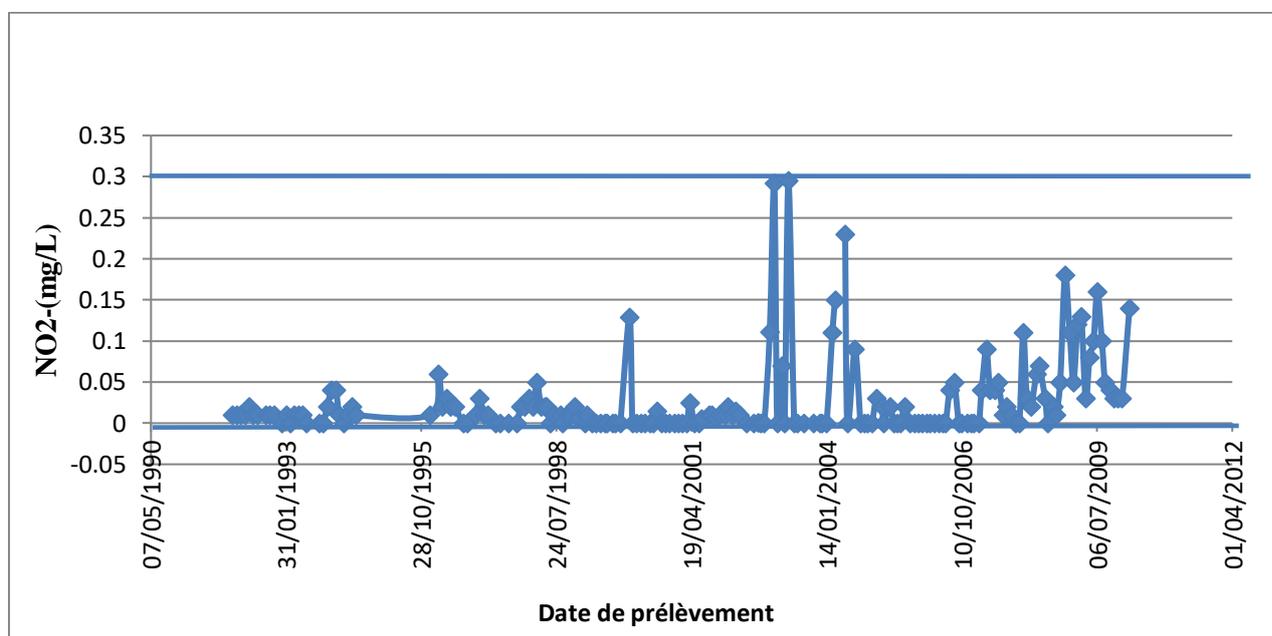


Figure 4.10: Evolution de la teneur du nitrite dans le temps.

On remarque que les teneurs en nitrate varient entre 0 mg/L et 0,295 mg/L. La valeur maximale a été enregistrée en mars 2003, et Le NO_2^- mensuel moyen de l'eau est d'environ 0,025 mg/L ce qui est inférieure à la valeur max 0.1 mg/L (**Tableau 4.1**).

Chapitre 04 : Résultats et discussion

• Ammonium NH_4^+

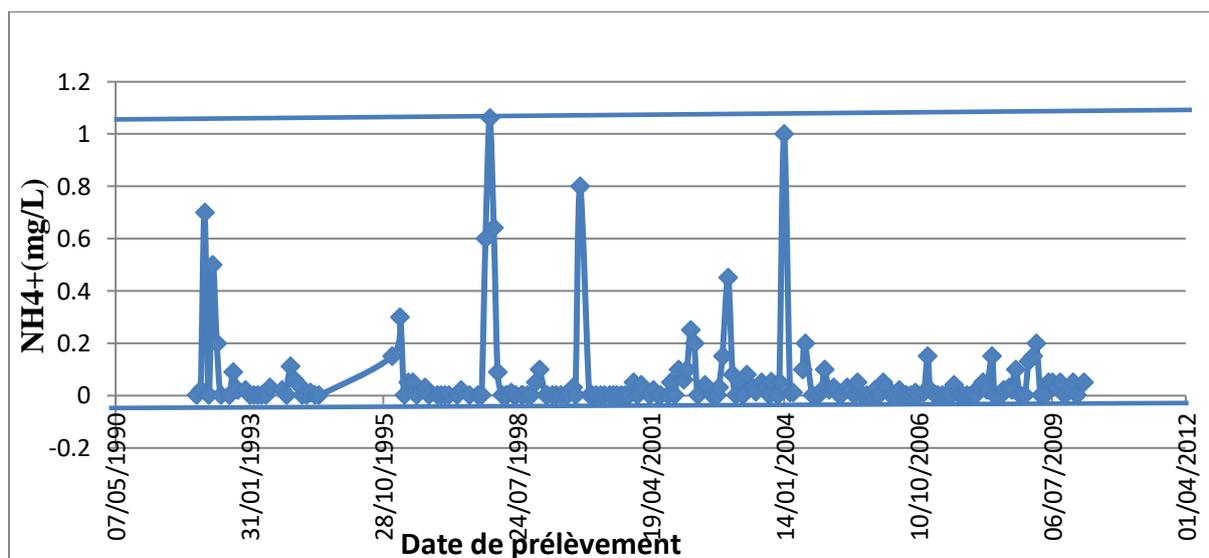


Figure 4.11 : Evolution de la teneur d'ammonium Dans le temps.

On remarque que les valeurs d'ammonium mesurées au niveau de la cuvette du barrage varient entre 0mg/L et 1,06mg/L. Le NH_4^+ mensuel moyen de l'eau est d'environ 0,057mg/L ce qui inférieure à la valeur max 0.5 mg/L (Tableau 4.1).

4.2.4. La demande biochimique en oxygène (DBO5)

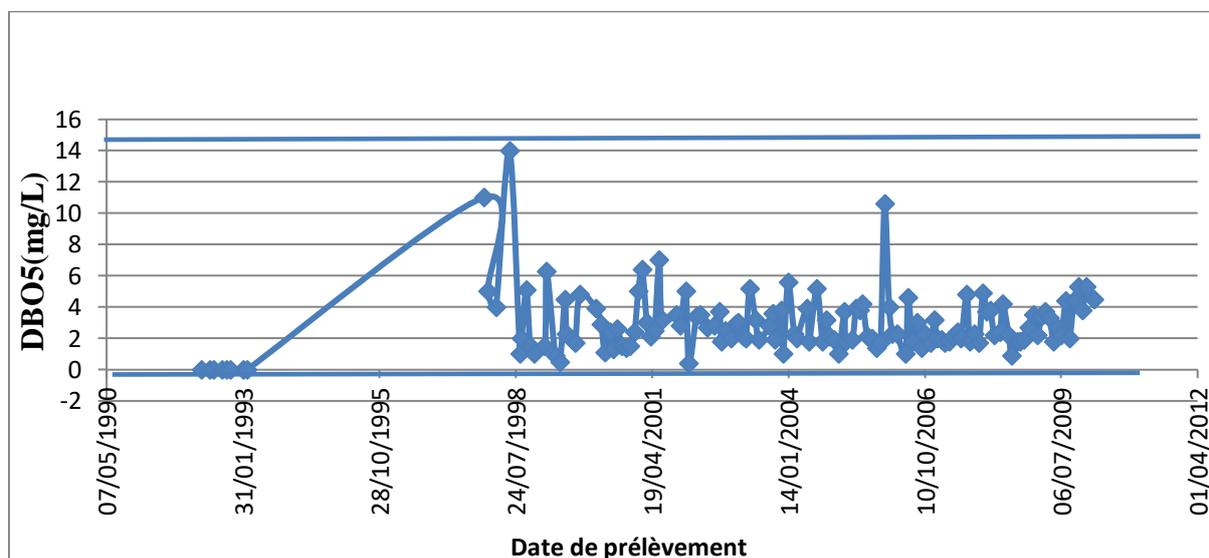


Figure 4.12 : Evolution de la DBO5 Dans le temps.

Les valeurs de la DBO5 mesurées pendant la période d'observation varient entre 0 mg/L et 14 mg/L. On remarque que la valeur maximale de la DBO5 est enregistrée en juin 1998. Le DBO5 mensuel moyen de l'eau est d'environ 2,83 mg/L ce qui inférieure à la valeur max 3 mg/L (Tableau 4.1). On remarque que Les concentrations de la DBO5 évoluent d'une manière stable dans le temps.

Chapitre 04 : Résultats et discussion

4.2.5. La demande chimique en oxygène (DCO)

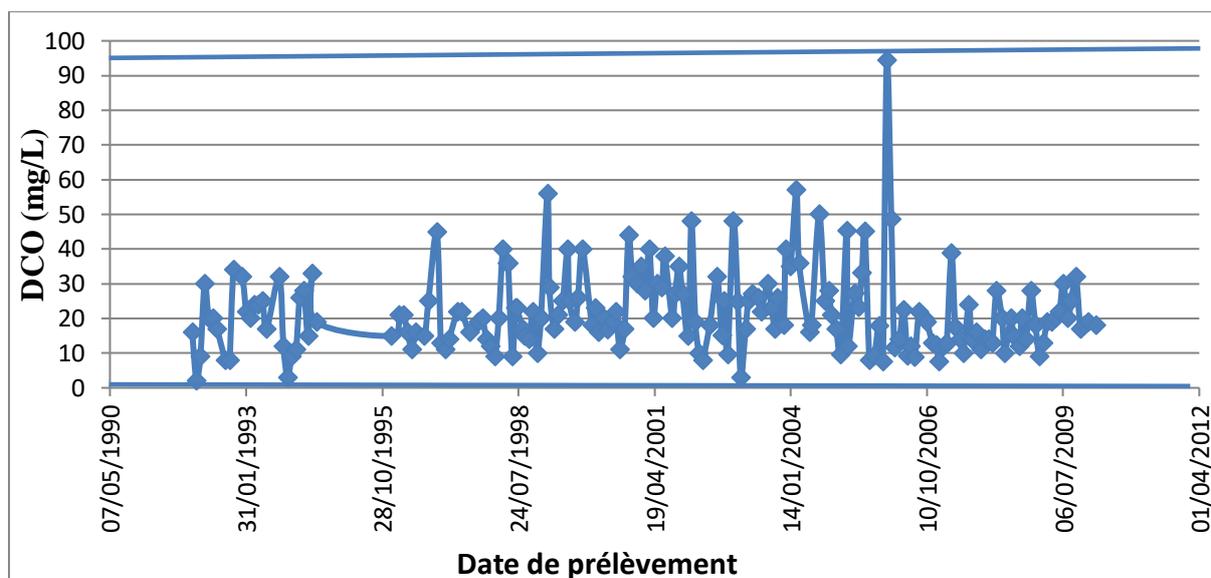


Figure 4.13 : Evolution de la DCO dans le temps.

Les valeurs de la DCO mesurées pendant la période d'observation varient entre 2mg/L et 94,4mg/L. On remarque que la valeur maximale de la DCO est enregistrée en décembre 2005, et la valeur minimale est enregistrée en février 1992. Les concentrations de la DCO évoluent d'une manière stable avec le temps pendant toute la période d'échantillonnage, le DCO mensuel moyen de l'eau est d'environ 21,27 mg/l ce qui est inférieur à la valeur max 30 mg/L. (Tableau 4.1).

4.2.6. Le rapport DCO/DBO

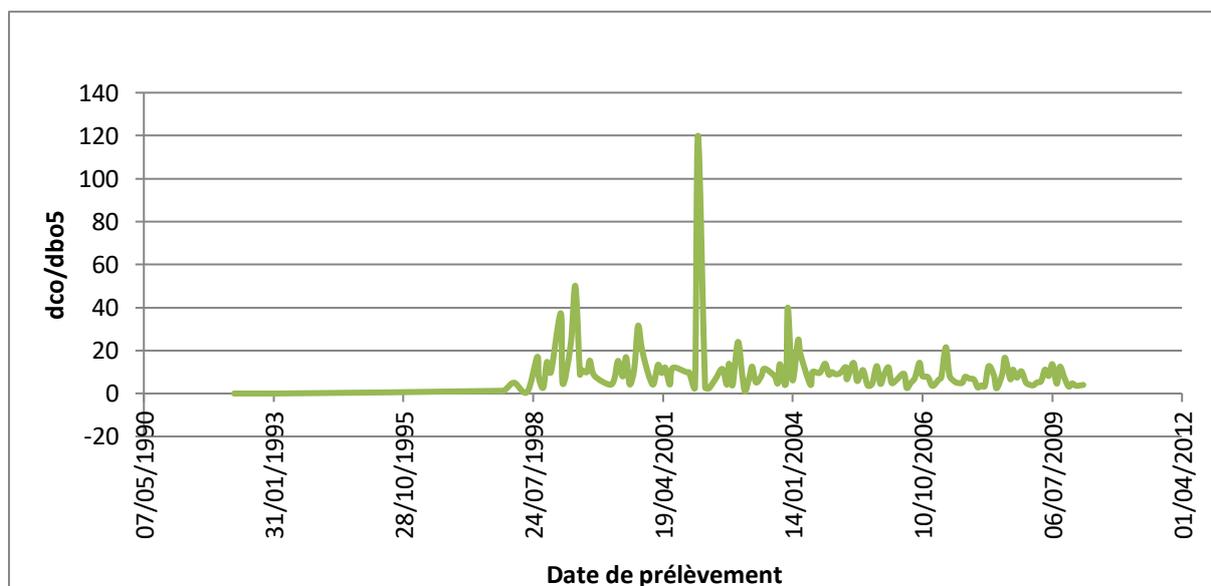


Figure 4.14: Evolution de rapport DCO/DBO5 dans le temps.

Les résultats obtenus du rapport DCO/DBO5 montre que toutes les valeurs sont supérieures à 3, ces valeurs importantes de ce rapport indiquent qu'une grande partie de la matière

Chapitre 04 : Résultats et discussion

organique n'est pas biodégradable, ce qui traduit l'influence d'une pollution surtout industrielle.

4.2.7. L'oxygène dissous (OD)

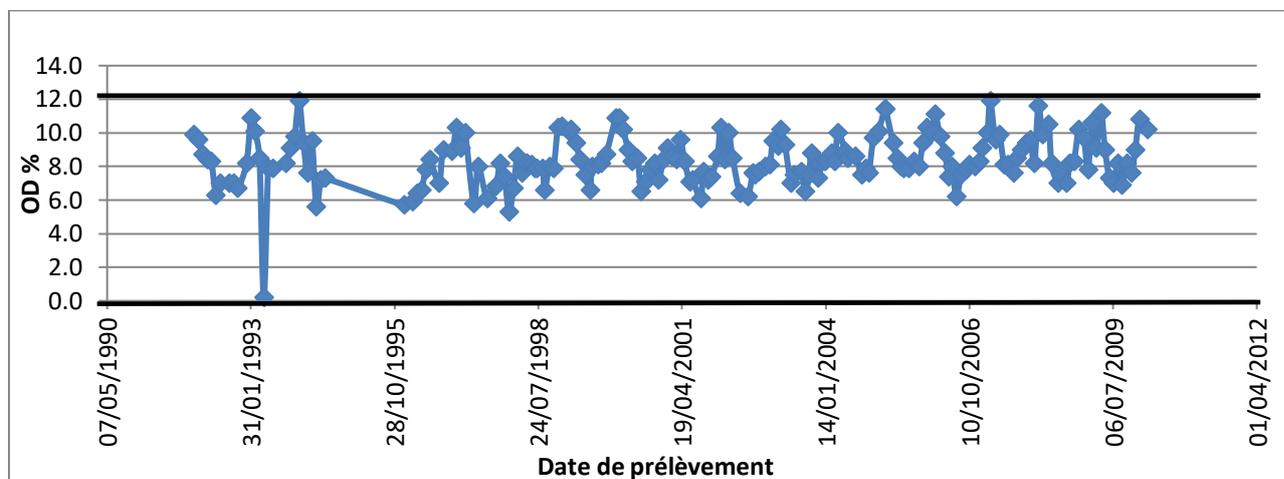


Figure 4.15 : Evolution de la teneur d'oxygène dissous dans le temps.

On remarque que les teneurs en oxygène au niveau de la cuvette du barrage Cheffia varient entre 0,2 mg/L et 11,9 mg/L, le OD mensuel moyen de l'eau est d'environ 8,4 mg/L ce qui supérieure à la valeur max 8 mg/l (**Tableau 4.1**).

4.2.8. La matière en suspension (MES)

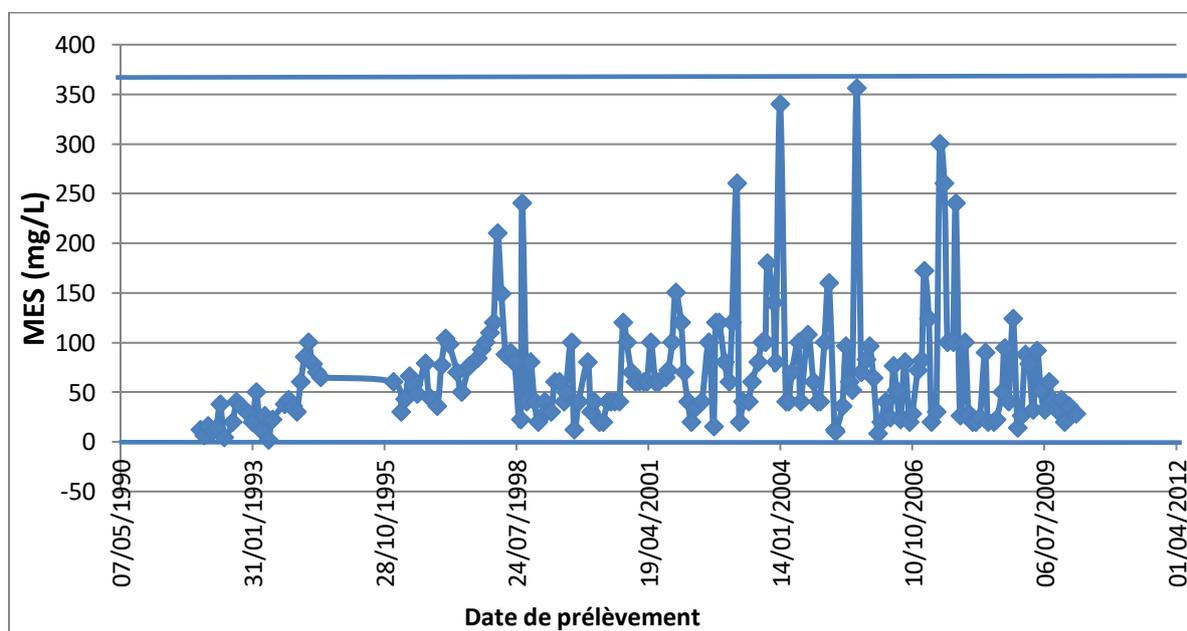


Figure 4.16: Evolution des teneurs en MES Dans le temps.

On remarque que la concentration en MES varient entre 2 mg/l et 356 mg/l. La valeur maximale a été enregistrée en aout 2005 et la valeur minimale a été enregistrée en juin 1993, la valeur moyenne 67,97 mg/L.

Chapitre 04 : Résultats et discussion

4.2.9. Turbidité

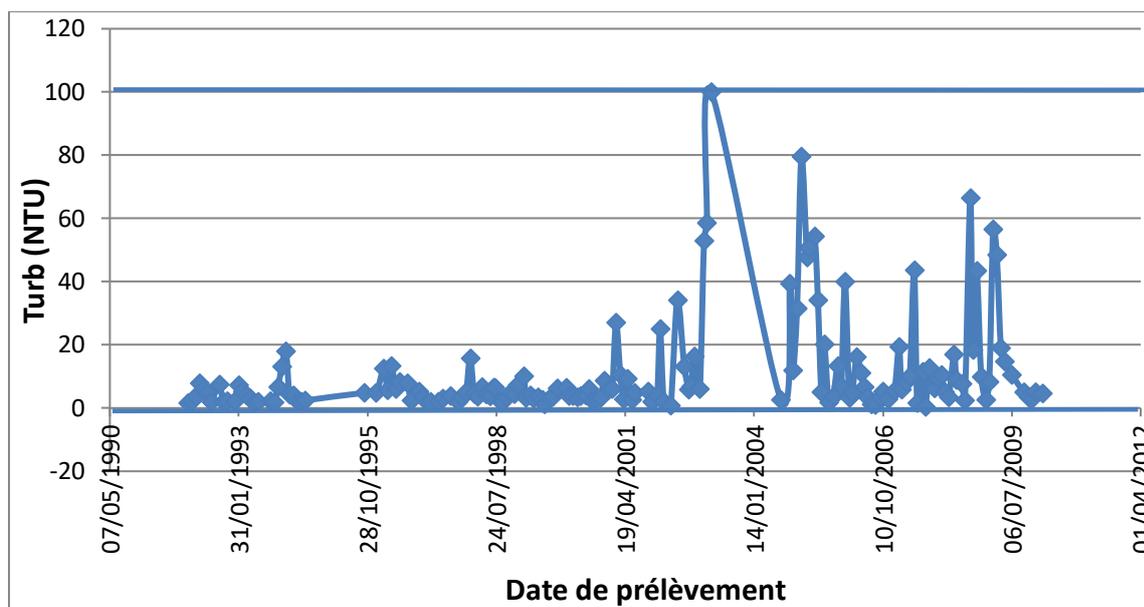


Figure 4.17 : Evolution de la turbidité dans le temps.

On remarque que La turbidité maximale de l'eau ($\text{trub}_{\max} = 99,9$) a été enregistrée pendant le mois de février (2003), et une turbidité minimale ($\text{trub}_{\min} = 0,4$) a été enregistrée au mois de septembre (2007), la turbidité moyenne mensuelle de l'eau est d'environ de 10,69 NTU. Ce qui est supérieure à la turbidité maximale de 5 mg/L. (Tableau 4.1).

4.2.10. Solides dissouts totaux

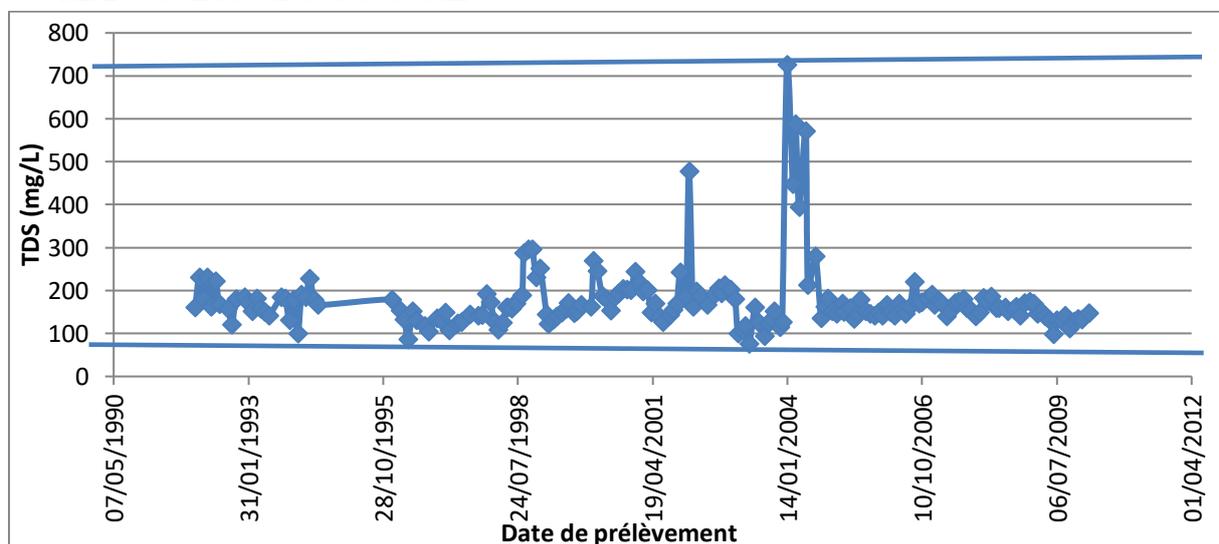


Figure 4.18: Evolution de Tds dans le temps.

On remarque que le Tds maximal de l'eau ($\text{Tds}_{\max} = 725$ mg/L) a été enregistrée pendant le mois de janvier (2004), et le Tds minimale ($\text{Tds}_{\min} = 76$ mg/L) a été enregistrée au mois de mars (2003), le Tds moyen mensuelle de l'eau est d'environ de 175 mg/L.

Chapitre 04 : Résultats et discussion

4.2.11. la dureté totale

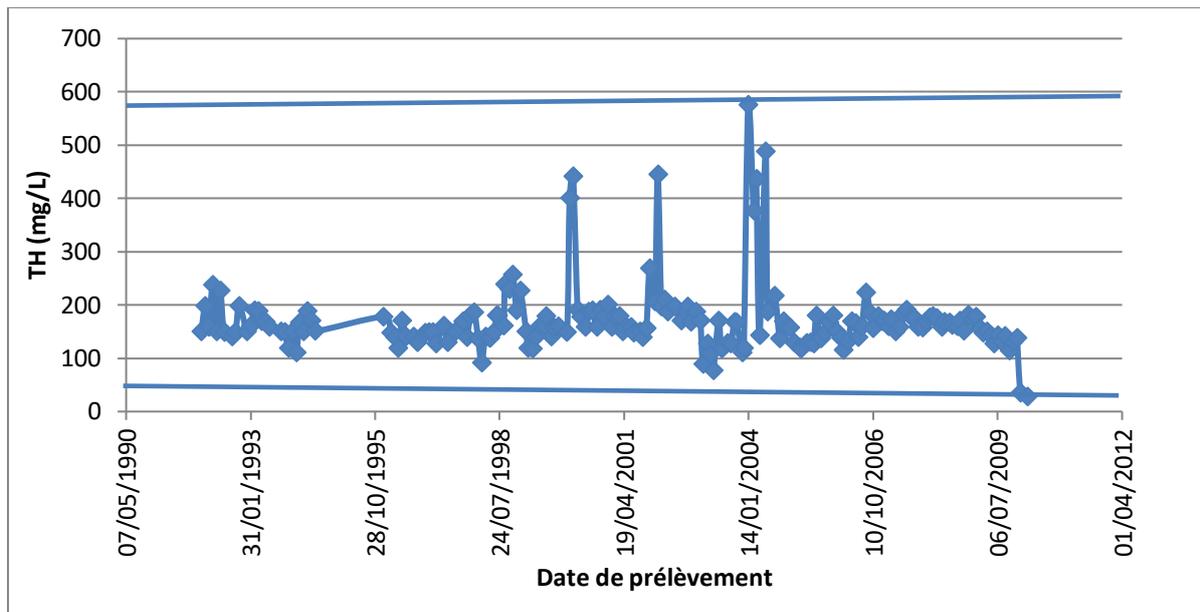


Figure 4.19 : Evolution de la dureté totale en fonction du temps.

On remarque que la dureté totale varie entre 28mg/L et 575,5 mg/L. La valeur maximale a été enregistrée en janvier 2004 et la valeur minimale a été enregistrée en mars 2003, et la valeurs moyenne de la dureté totale pendant la période d'étude est 172 mg/l (17,2 f°), ce qui indique que les eau du barrage Cheffia sont modérément dure, Cette valeur dépend principalement de la nature des roches de Bassin versant.

Chapitre 04 : Résultats et discussion

Tableau 4.1. : Norme Algérienne et de l'OMS des substances chimiques.

Paramètres	Normes OMS	Normes algériennes
Température (°c)	Max 25	/
potentiel d'Hydrogène (pH)	6,5 à 8,5	6,5 à 8,5
Conductivité électrique (µs/cm)	1500	2800 à 20°C
Calcium (Ca ²⁺) en mg/L	200	75 à 200
Magnésium (Mg ²⁺) en mg/L	150	150
Sodium (Na ²⁺) en mg/L	200	200
Potassium (K ²⁺) en mg/L	12	20
Chlorures (Cl ⁻) en mg/L	150	200 à 500
Sulfate (SO ₄ ²⁻) en mg/L	Max 250	200 à 400
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻) en mg/L	/	/
Nitrates (NO ₃ ⁻) en mg/L	Max 50	Max 50
Nitrites (NO ₂ ⁻) mg/L	Max 0,1	Max 0,1
Ammonium (NH ₄ ⁺) en mg/L	Max 0,5	Max 0,5
Phosphate (PO ₄ ⁻) en mg/L	Max 0,5	/
Oxygène dissous (OD) en mg d'O ₂ /L	5 ≤ O₂ ≤ 8	/
Résidu sec à 180°C mg/L d'oxygène	1500	1500-2000
MES (mg/L)	/	/
DBO5 en (mg O ₂ /L)	5	/
DCO en (mg O ₂ /L)	30	/

Chapitre 04 : Résultats et discussion

Tableau 4.2. : Statistiques sommaires pour les concentrations des paramètres physiques et chimiques des eaux du barrage Cheffia.

paramètre	Valeur maximale	Valeur minimale	Moyenne	Médiane	Ecart type	Coefficient De variation	Normes OMS
Teau (°C)	32	2,4	19,66	20	6,25	0,3	Max 25
Turb(NTU)	99,9	0,4	10,69	5	6,99	0,73	/
PH	8,82	7,3	8,03	8	0,29	0,03	6,5 à 8,5
CE(μs/cm)	4009	0,3	461,6	400	335,02	0,7	1500
Ca ²⁺ (mg/L)	144	14	45,17	44	16	0,35	200
Cl(mg/L)	170	0	34,87	30	19,18	0,55	150
Mg ²⁺ (mg/L)	73	1	14,15	12	10,4	0,73	150
TH(mg/L)	575,6	28	170,01	158,8	64,8	0,38	/
TSS(mg/L)	356	2	67,97	58,5	57,02	0,83	/
TDS(mg/L)	725	76	175,25	160	77,15	0,44	/
DBO5(mg/L)	14	0	2,83	2,3	1,99	0,77	5
DCO(mg/L)	94,4	20	21,87	20	11,68	0,53	30
OD (mg/L)	11,9	0,2	8,37	8,2	1,64	0,17	5 ≤ O2 ≤ 8
SO ₄ ⁻ (mg/L)	362	12	71,87	64	42,08	0,58	Max 250
PO ₄ ⁻ (mg/L)	6	0	71,87	0,25	0,51	1,43	Max 0,5
NO ₃ ⁻ (mg/L)	64	0	4,63	3	6,27	1,35	Max 50
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,294	0	0,025	0,01	0,04	1,87	Max 0,1
NH ₄ ⁻ (mg/L)	1,06	0	0,05	0	0,15	2,66	Max 0,5

Moyenne, Médiane, Ecart type, Coefficient de variation sont défini par les formules suivantes :

$$\text{Moyenne} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N} \quad (4.1)$$

Médiane : Pour calculer la médiane : On classe les valeurs dans l'ordre croissant : Si le nombre de valeurs est impair, la médiane est la valeur du milieu. S'il est pair, la médiane est la demi-somme des deux valeurs du milieu.

$$\text{Ecart type} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{N}} \quad (4.2)$$

$$\text{Coefficient de variation} = \frac{\text{Ecart type}}{\text{Moyenne}} \quad (4.3)$$

Avec

X_i : La valeur de chaque paramètre ; \bar{X} La moyenne arithmétique ; N : nombre d'échantillons.

Chapitre 04 : Résultats et discussion

4.3. Résultats du calcul de l'indice de qualité de l'eau IQE et évaluation de la qualité des eaux :

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est calculé en premier lieu en utilisant les valeurs attribuées à chaque paramètre après la normalisation ci (Tableau 3.1) et également le poids relatif attribué à chaque paramètre physico-chimiques pi (Tableau 3.1) et aussi la constante k .

Dans notre étude nous prenons $k = 0,75$ car l'eau du barrage est légèrement contaminée.

Tableau 4.3: Exemple de calcul de l'indice de qualité.

Paramètre	Valeur	pi	Ci	pi*ci	K	IQE
T°C	10	1	50	50	0,75	68,3571429
Turb(NTU)	5,2	2	90	180		
pH	7,8	1	90	90		
CE(µs/cm)	400	1	100	100		
Ca ²⁺ (mg/L)	40	1	90	90		
Cl(mg/L)	15	1	100	100		
Mg ²⁺ (mg/L)	22	1	90	90		
TH	190,5	1	80	80		
SO ₄ ⁻ (mg/L)	68	2	80	160		
TSS(mg/L)	50	4	100	400		
TDS(mg/L)	151	2	90	180		
DBO5(mg/L)	0	3	100	300		
DCO(mg/L)	20	3	70	210		
OD(mg/L)	10,1	4	100	400		
NO ₃ ⁻ (mg/L)	3	2	80	160		
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0	2	100	200		
PO ₄ ⁻ (mg/L)	0	1	100	100		
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0	3	100	300		
Σ		35	1610	3190		

Chapitre 04 : Résultats et discussion

Tableau 4.4 : Les résultats de l'indice de qualité des eaux du barrage Cheffia (1992-2010).

Date	IQE	Qualité
01/01/1992	67,0714286	Qualité de l'eau moyenne
01/02/1992	66,5322581	Qualité de l'eau moyenne
01/03/1992	61,4516129	Qualité de l'eau moyenne
01/04/1992	65,2941176	Qualité de l'eau moyenne
01/05/1992	62,4193548	Qualité de l'eau moyenne
01/06/1992	66,328125	Qualité de l'eau moyenne
01/07/1992	67,2794118	Qualité de l'eau moyenne
01/09/1992	66,8181818	Qualité de l'eau moyenne
01/10/1992	67,2794118	Qualité de l'eau moyenne
01/11/1992	65,5147059	Qualité de l'eau moyenne
01/01/1993	66,5625	Qualité de l'eau moyenne
01/02/1993	66,2142857	Qualité de l'eau moyenne
01/03/1993	68,3571429	Qualité de l'eau moyenne
01/04/1993	66,5625	Qualité de l'eau moyenne
01/05/1993	63	Qualité de l'eau moyenne
01/06/1993	67,265625	Qualité de l'eau moyenne
01/07/1993	68,671875	Qualité de l'eau moyenne
01/10/1993	66,5625	Qualité de l'eau moyenne
01/11/1993	68,90625	Qualité de l'eau moyenne
01/12/1993	66,09375	Qualité de l'eau moyenne
01/01/1994	63,046875	Qualité de l'eau moyenne
01/02/1994	65,15625	Qualité de l'eau moyenne
01/03/1994	67,03125	Qualité de l'eau moyenne
01/04/1994	68,203125	Qualité de l'eau moyenne
01/05/1994	61,40625	Qualité de l'eau moyenne
01/06/1994	65,15625	Qualité de l'eau moyenne
01/07/1994	65,390625	Qualité de l'eau moyenne
01/01/1996	60,8571429	Qualité de l'eau moyenne
01/03/1996	56,25	Qualité de l'eau moyenne
01/04/1996	64,21875	Qualité de l'eau moyenne
01/05/1996	64,453125	Qualité de l'eau moyenne
01/06/1996	67,265625	Qualité de l'eau moyenne
01/07/1996	67,5	Qualité de l'eau moyenne
01/09/1996	66,328125	Qualité de l'eau moyenne
01/10/1996	70,78125	Qualité de l'eau moyenne
01/12/1996	67,2857143	Qualité de l'eau moyenne
01/01/1997	68,4375	Qualité de l'eau moyenne
01/02/1997	67,5	Qualité de l'eau moyenne
01/03/1997	70,3125	Qualité de l'eau moyenne
01/05/1997	66,328125	Qualité de l'eau moyenne
01/06/1997	68,671875	Qualité de l'eau moyenne

Chapitre 04 : Résultats et discussion

01/08/1997	65,625	Qualité de l'eau moyenne
01/10/1997	68,4375	Qualité de l'eau moyenne
01/11/1997	69,375	Qualité de l'eau moyenne
01/12/1997	57	Qualité de l'eau moyenne
01/01/1998	54,2142857	Qualité de l'eau moyenne
01/02/1998	61,875	Qualité de l'eau moyenne
01/03/1998	63,4285714	Qualité de l'eau moyenne
01/04/1998	66,5625	Qualité de l'eau moyenne
01/05/1998	65,859375	Qualité de l'eau moyenne
09/05/1998	65,859375	Qualité de l'eau moyenne
08/06/1998	63,2142857	Qualité de l'eau moyenne
01/07/1998	66,5625	Qualité de l'eau moyenne
11/07/1998	66,5625	Qualité de l'eau moyenne
24/08/1998	67,0714286	Qualité de l'eau moyenne
05/09/1998	64,5	Qualité de l'eau moyenne
10/10/1998	63,4285714	Qualité de l'eau moyenne
07/11/1998	67,2794118	Qualité de l'eau moyenne
08/12/1998	64,7142857	Qualité de l'eau moyenne
05/01/1999	63,984375	Qualité de l'eau moyenne
22/02/1999	64,9285714	Qualité de l'eau moyenne
08/03/1999	64,2857143	Qualité de l'eau moyenne
12/04/1999	69,375	Qualité de l'eau moyenne
10/05/1999	68,1428571	Qualité de l'eau moyenne
14/06/1999	67,7142857	Qualité de l'eau moyenne
19/07/1999	62,5714286	Qualité de l'eau moyenne
01/08/1999	67,7142857	Qualité de l'eau moyenne
12/09/1999	67,9285714	Qualité de l'eau moyenne
04/10/1999	68,1428571	Qualité de l'eau moyenne
07/11/1999	58,5	Qualité de l'eau moyenne
15/01/2000	66,8571429	Qualité de l'eau moyenne
06/02/2000	66,328125	Qualité de l'eau moyenne
05/03/2000	64,9285714	Qualité de l'eau moyenne
10/04/2000	67,2857143	Qualité de l'eau moyenne
08/05/2000	67,2857143	Qualité de l'eau moyenne
13/06/2000	67,2857143	Qualité de l'eau moyenne
09/07/2000	63	Qualité de l'eau moyenne
06/08/2000	64,0714286	Qualité de l'eau moyenne
10/09/2000	67,2857143	Qualité de l'eau moyenne
09/10/2000	64,9285714	Qualité de l'eau moyenne
06/11/2000	65,3571429	Qualité de l'eau moyenne
11/12/2000	63,2142857	Qualité de l'eau moyenne
08/01/2001	61,5	Qualité de l'eau moyenne
06/02/2001	59,5714286	Qualité de l'eau moyenne
12/03/2001	62,5714286	Qualité de l'eau moyenne
08/04/2001	67,5	Qualité de l'eau moyenne

Chapitre 04 : Résultats et discussion

07/05/2001	63,8571429	Qualité de l'eau moyenne
11/06/2001	62,7857143	Qualité de l'eau moyenne
02/07/2001	63	Qualité de l'eau moyenne
26/08/2001	62,75	Qualité de l'eau moyenne
16/09/2001	66	Qualité de l'eau moyenne
15/10/2001	62,7857143	Qualité de l'eau moyenne
10/11/2001	62,7857143	Qualité de l'eau moyenne
22/12/2001	62,1428571	Qualité de l'eau moyenne
14/01/2002	57,6428571	Qualité de l'eau moyenne
12/02/2002	62,34375	Qualité de l'eau moyenne
10/03/2002	62,0454545	Qualité de l'eau moyenne
06/04/2002	65,5714286	Qualité de l'eau moyenne
28/05/2002	62,1428571	Qualité de l'eau moyenne
21/07/2002	61,2857143	Qualité de l'eau moyenne
25/08/2002	65,7857143	Qualité de l'eau moyenne
10/09/2002	66,4285714	Qualité de l'eau moyenne
07/10/2002	65,7857143	Qualité de l'eau moyenne
18/11/2002	58,0714286	Qualité de l'eau moyenne
21/12/2002	57,6428571	Qualité de l'eau moyenne
12/01/2003	65,3571429	Qualité de l'eau moyenne
16/02/2003	60	Qualité de l'eau moyenne
08/03/2003	66,8181818	Qualité de l'eau moyenne
05/04/2003	62,2727273	Qualité de l'eau moyenne
17/05/2003	63,6363636	Qualité de l'eau moyenne
10/06/2003	66,3636364	Qualité de l'eau moyenne
27/07/2003	65,75	Qualité de l'eau moyenne
25/08/2003	61,6935484	Qualité de l'eau moyenne
21/09/2003	67,983871	Qualité de l'eau moyenne
07/10/2003	66,5909091	Qualité de l'eau moyenne
22/11/2003	67,9545455	Qualité de l'eau moyenne
07/12/2003	66,1363636	Qualité de l'eau moyenne
11/01/2004	48,1818182	Mauvaise qualité de l'eau
24/02/2004	60	Qualité de l'eau moyenne
15/03/2004	56,1363636	Qualité de l'eau moyenne
10/04/2004	71,4705882	Bonne qualité de l'eau
29/05/2004	56,5909091	Qualité de l'eau moyenne
14/06/2004	63,6363636	Qualité de l'eau moyenne
09/08/2004	59,3571429	Qualité de l'eau moyenne
20/09/2004	67,7272727	Qualité de l'eau moyenne
18/10/2004	62,1428571	Qualité de l'eau moyenne
08/11/2004	63,6428571	Qualité de l'eau moyenne
12/12/2004	66	Qualité de l'eau moyenne
15/01/2005	63,2142857	Qualité de l'eau moyenne
27/02/2005	59,7857143	Qualité de l'eau moyenne
07/03/2005	64,7142857	Qualité de l'eau moyenne

Chapitre 04 : Résultats et discussion

26/04/2005	63	Qualité de l'eau moyenne
23/05/2005	63,2142857	Qualité de l'eau moyenne
19/06/2005	65,5714286	Qualité de l'eau moyenne
11/07/2005	60,8571429	Qualité de l'eau moyenne
14/08/2005	66,6428571	Qualité de l'eau moyenne
18/09/2005	68,7857143	Qualité de l'eau moyenne
23/10/2005	68,1428571	Qualité de l'eau moyenne
20/11/2005	68,7857143	Qualité de l'eau moyenne
19/12/2005	57	Qualité de l'eau moyenne
21/01/2006	61,7142857	Qualité de l'eau moyenne
13/02/2006	66	Qualité de l'eau moyenne
20/03/2006	67,5	Qualité de l'eau moyenne
22/04/2006	66,5625	Qualité de l'eau moyenne
20/05/2006	66,6428571	Qualité de l'eau moyenne
10/06/2006	66,4285714	Qualité de l'eau moyenne
11/07/2006	63,6428571	Qualité de l'eau moyenne
13/08/2006	64,5	Qualité de l'eau moyenne
17/09/2006	67,7142857	Qualité de l'eau moyenne
08/10/2006	67,5	Qualité de l'eau moyenne
20/11/2006	68,1428571	Qualité de l'eau moyenne
19/12/2006	62,5	Qualité de l'eau moyenne
07/01/2007	67,5	Qualité de l'eau moyenne
11/02/2007	67,5	Qualité de l'eau moyenne
04/03/2007	67,7142857	Qualité de l'eau moyenne
08/04/2007	65,7857143	Qualité de l'eau moyenne
06/05/2007	64,7142857	Qualité de l'eau moyenne
09/06/2007	62,7857143	Qualité de l'eau moyenne
03/07/2007	64,9285714	Qualité de l'eau moyenne
13/08/2007	62,3571429	Qualité de l'eau moyenne
03/09/2007	69	Qualité de l'eau moyenne
06/10/2007	66,8571429	Qualité de l'eau moyenne
11/11/2007	69,6428571	Qualité de l'eau moyenne
09/12/2007	67,0714286	Qualité de l'eau moyenne
06/01/2008	63,4285714	Qualité de l'eau moyenne
02/02/2008	64,2857143	Qualité de l'eau moyenne
03/03/2008	65,5714286	Qualité de l'eau moyenne
13/04/2008	63,8571429	Qualité de l'eau moyenne
03/05/2008	65,5714286	Qualité de l'eau moyenne
16/06/2008	64,0714286	Qualité de l'eau moyenne
07/07/2008	68,3571429	Qualité de l'eau moyenne
17/08/2008	61,9285714	Qualité de l'eau moyenne
06/09/2008	66,6428571	Qualité de l'eau moyenne
06/10/2008	62,3571429	Qualité de l'eau moyenne
10/11/2008	63,4285714	Qualité de l'eau moyenne
15/12/2008	65,5714286	Qualité de l'eau moyenne

Chapitre 04 : Résultats et discussion

12/01/2009	64,2857143	Qualité de l'eau moyenne
11/02/2009	60,4285714	Qualité de l'eau moyenne
11/03/2009	58,7142857	Qualité de l'eau moyenne
12/04/2009	66,2142857	Qualité de l'eau moyenne
11/05/2009	65,1428571	Qualité de l'eau moyenne
09/06/2009	63,8636364	Qualité de l'eau moyenne
07/07/2009	60,4285714	Qualité de l'eau moyenne
10/08/2009	62,2727273	Qualité de l'eau moyenne
03/09/2009	61,3636364	Qualité de l'eau moyenne
08/10/2009	64,7142857	Qualité de l'eau moyenne
10/11/2009	64,9285714	Qualité de l'eau moyenne
07/12/2009	65,3571429	Qualité de l'eau moyenne
06/01/2010	64,9285714	Qualité de l'eau moyenne
02/03/2010	63,6428571	Qualité de l'eau moyenne

Les résultats de l'indice de qualité saisonnier de la durée (1992-2010) pour barrage Cheffia sont représentés sous forme de graph (Figure 4.20).

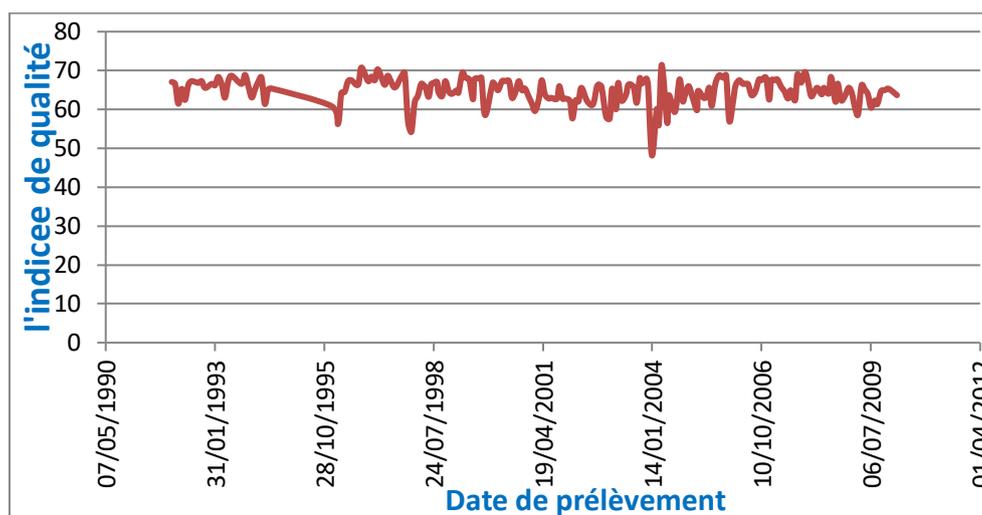


Figure 4.20 : Evolution de l'indice de qualité dans le temps.

après avoir calculé l'indice de qualité de l'eau IQE à l'aide des résultats des analyses physiques et chimiques et des paramètres ci, pi et la constante K, la qualité de l'eau de 189 échantillons du barrage de Cheffia est de classe ($50 < iqe < 70$) ce qui indique que la qualité de l'eau est moyenne et un autre échantillon est de classe ($71 < iqe < 90$) ce qui indique que l'eau du barrage est bonne, et un autre échantillon est de classe ($50 < iqe < 25$) ce qui indique que l'eau du barrage est mauvaise (Tableau 3.2).

La Figure 4.20 montre que l'indice de qualité de l'eau (IQE) varie entre (48,14 et 71,47), et à partir de là, nous concluons que l'eau du barrage de Cheffia est de qualité moyenne Tableau 3.2 .

La qualité moyenne de l'eau du barrage est due aux raisons suivantes :

Chapitre 04 : Résultats et discussion

- ✓ les rejets urbains.
- ✓ l'activité agricole.

Cette eau est classée de qualité moyenne et ne peut donc être utilisée que pour l'irrigation et le contact partiel avec le corps. Nous pouvons utiliser cette eau pour l'irrigation car la conductivité électrique moyenne pendant la période d'échantillonnage est de $461.6 < 700$ (pas de risque de salinité). Par conséquent, la salinité des eaux de surface dépend de nombreux facteurs et de leurs interactions, surtout le régime hydrologique du bassin, car la plupart des cours d'eau sont caractérisés par un régime torrentiel en hiver et sec en été. En fonction de la saison, du volume des retenues (lacs) et de la gestion des apports fluviaux, l'évaporation joue un rôle important dans l'évolution de la salinité de l'eau, notamment en période d'étiage.

Pour distribuer de l'eau potable aux citoyens, l'eau du barrage doit être acheminée à la station de traitement afin de préserver la santé des citoyens.

4.4.Résultats du calcul de l'indice de qualité par machine learning:

Le tableau 4.5 montre la comparaison des résultats finaux entre tous les algorithmes de Machine Learning précédents utilisés dans cette étude : DT, XGBoost. L'étude a été menée à l'aide d'un ensemble des paramètres physico-chimiques. Tous les algorithmes ont donné une bonne précision tandis que XG Boost avait les performances les plus élevées.

Chapitre 04 : Résultats et discussion

Tableau 4.5 : Résultats finaux et précision.

modele	COMBINAISON D'ENTRÉE	Précision en %					
		XGboost			Decision tree		
		R ²	MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE
ML01	(NH4)	0,13	2,68	3,28	0,16	2,63	3,16
ML02	(NH4); (TSS)	0,45	2,02	2,59	0,33	2,46	2,99
ML03	(NH4); (TSS);(Turb)	0,55	1,91	2,33	0,47	2,21	2,76
ML04	(NH4); (TSS);(Turb);(DBO5)	0,71	1,48	1,86	0,54	1,98	2,42
ML05	(NH4); (TSS);(Turb);(DBO5); (OD)	0,75	1,44	1,74	0,44	2,3	3,03
ML06	(NH4); (TSS);(Turb);(DBO5); (OD);(DCO)	0,72	1,3	1,63	0,50	2,12	2,66
ML07	(NH4);(TSS);(Turb);(DBO5); (OD); (DCO); (CI)	0,77	1,39	1,6	0,47	2,21	2,7
ML08	Tous les paramètres	0,77	1,33	1,66	0,68	1,6	1,77

On voit dans le (**Tableau 4.5**) que les valeurs RMSE, MAE et R² de XGBoost sont tous meilleurs que l'autre modèle (DT). Si nous utilisons R² comme évaluation critère, le modèle XGBoost a les meilleures performances. Cela peut expliquer pourquoi les tendances du MAE et du RMSE sont différentes dans certains modèles.

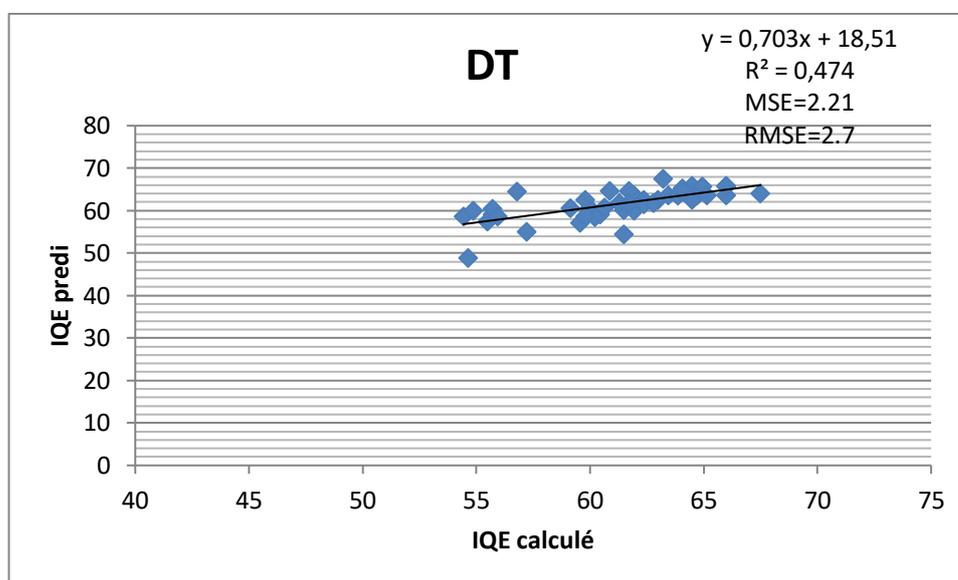


Figure 4.21: Evolution d'IQE prédiction en fonction d'IQE calculé par l'arbre de décision.

Chapitre 04 : Résultats et discussion

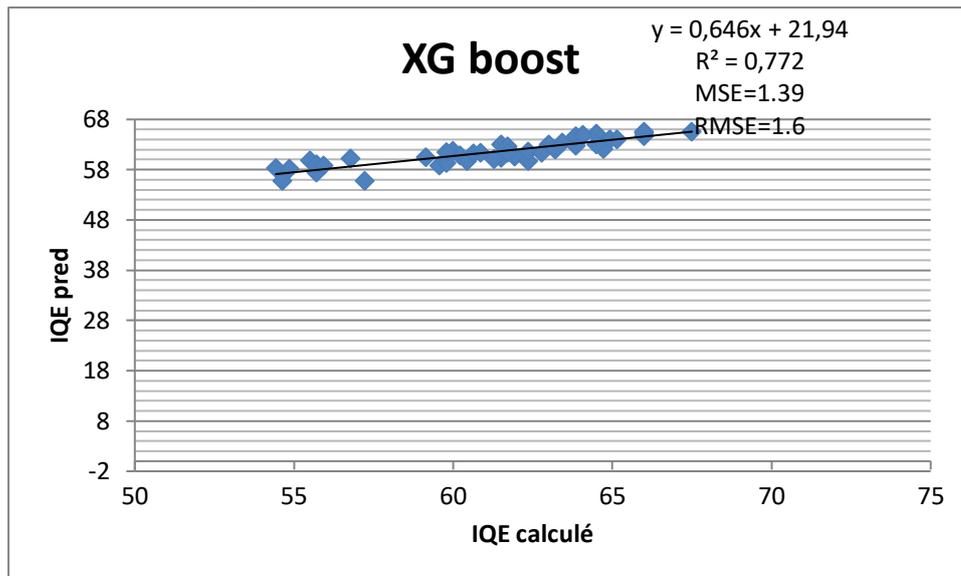


Figure 4.22: Evolution d'IQE prédiction en fonction d'IQE calculé par XG boost.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusion générale

L'eau est une richesse rare et précieuse, et un facteur décisif dans le développement économique et social du pays. Compte tenu de son importance, elle nécessite une attention particulière. L'eau doit être préservée pour éviter les déficits dus à une utilisation excessive.

Cette étude a porté sur l'évaluation de la qualité totale des eaux de surface du barrage de Cheffia situé dans la partie orientale de l'Algérie, à partir des mesures des paramètres physico-chimiques sur la période allant de 1992-2010. À cet effet, nous sommes intéressés à la détermination de l'indice de la qualité de l'eau (IQE) proposé par Bascaroan (18 paramètres). Cet indice est un outil très utile pour prendre la bonne décision et évaluer de façon comparative la qualité de l'eau dans le temps et dans l'espace.

Les résultats des analyses physico-chimiques et de l'indice de qualité IQE montrent que la plupart des échantillons d'eau sont de qualité moyenne avec un IQE compris entre 50 et 70 et sont adaptées à des fins d'irrigation.

Nous avons également essayé de déterminer l'indice IQE par modélisation en réduisant le nombre de paramètres et en considérant uniquement que certains paramètres clés. Les résultats d'essais de modélisations ((NH₄), ((NH₄), (TSS)), ((NH₄),(TSS),(Turb)), ...) ont montré que le meilleur modèle prévisionnel d'IQE proposé est celui comportant sept paramètres ((NH₄); (TSS);(Turb);(DBO₅); (OD);(DCO); (Cl)). En effet, ce dernier a montré de meilleures performances pour évaluer la qualité de l'eau du barrage Cheffia analogues à celles observées avec le modèle de Bascaroan à 18 paramètres. Par ailleurs il faut d'une part, souligner l'avantage de modèle qui détermine le poids des paramètres pris en compte dans les calculs de l'IQE, et d'autre part la facilité de l'usage de langage python qui réduit le nombre des paramètres physico-chimiques et par conséquent le coût des analyse à effectuer.

Bibliographie

Bibliographie

Bibliographie

BARKAT, Kenza. Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage Béni Haroun. mémoire pour l'obtention du diplôme de Master : Université des Frères Mentouri Constantine, 2016, 15-16-17-18 pp.

Barrage de Cheffia, [En ligne], Publié le 06 avril 2013 ,consulté le (22/05/2021) .
Disponible sous l'adresse :

<http://popodoran.canalblog.com/archives/2013/04/06/26859337.html>

BEAUDRY. HENRY. Chimie des eaux . Edition : griffons d'argiles INC, Canada ,1984,537 pp.

BEAUDRY. Traitement des eaux. Edition : Le Griffon d'argile INC, Canada.1984,231 pp.

BEAUPOIL.BORNENS. Oxygène dissous et toxicité de l'ammoniaque en zones estuariennes : Seuils d'acceptabilité, Rapport de synthèse, Biotecmer – AELB,1997,49 pp.

BECKER.DURFOR. Constituents and properties of water, Dans: Water quality in a stressed environment, W.A. Pettyjohn (dir. de publ.),Burgess Publishing Company.1972.

BELHADJ, Mohamed Zine. Etude de la pollution du barrage de Zit-Emba Commune de Bekkouche Lakhdar Wilaya de Skikda.Mémoire de Magister : Université de Batna,2006,107 pp.

BHARTI.KATYAL. Water Quality Indices Used for Surface Water Vulnerability Assessment, *International Journal of Environmental Sciences*2, 2011,154- 71 pp.

BLIEFRT.PERRAUD. Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets, 2eme édition française. De Boeck,1990,291pp.

BOEGLIN. Propriétés des eaux naturelles, Technique de l'ingénieur,2001.

BOUHADEB. Evaluation du transport solide au niveau du bassin versant de Oued Bounamoussa et ses incidences sur l'envasement du barrage de Cheffia (Nord-Est algérien) , Thèse de doctorat ,Université de Batna,2019,29 pp.

BREMOND.VUICHARD. Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris,1973.

Comment calculer la TDS dans un liquide, [En ligne] , consulté le (18/06/2021) .

Disponible sous l'adresse :

<https://fr.wikihow.com/calculer-la-quantit%C3%A9-totale-de-solides-dissous-dans-un-liquide>

CUDE.Oregon water quality index a tool for evaluating water quality management effectiveness, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*37,2001,125-37pp.

Bibliographie

DEGREMONT. Mémento technique de l'eau, Lavoisier SAS -Lexique technique de l'eau, 2eme édition. Paris. 2005.

DJABRI. Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origine géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de doctorat, Université. Annaba,1996.

El FADEL, Derradji .Qualité ,gestion et protection des eaux du barrage de Cheffia (Nord-Est Algérien). Le 5 ème Colloque international du réseau "Eaux & Climats" At: Fès, Maroc.

GEORGE. HARRAP. The chemical elements in nature, London, 1963.

GOVERS.Rill erosion on arable land in Central Belgium: rates, controls and predictability,1991,133-155pp.

HAKMI. Traitement de l'eau de la source Bousfer Oran. Mémoire de Licence . Université des sciences et de la technologie Oran, 2006.

KEMOUK. Dégradation de la qualité des eaux du barrage de zerdezas suite à une pollution naturelle w.de Skikda, mémoire de magister, Université de Batna,2007,117 pp.

kHALID.ASHRAF.ALSHIBI.ABUSHQUIER. Air quality index using machine learning-a jordan case study,2020.

LABIOD. Etude du caractere incristant des eaux et son inhibition par des essais chimiques et d'électrodeposition. Mémoire de Magister, Université de Constantine,2010,46 pp.

LOUNNAS. Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station hamadi-kroma de skikda,Université de Skikda,2008, 120 pp.

MARCEL. Chimie des oxydants et traitement des eaux, L'université de Poitiers (E.S.I.P).1995,230pp.

MEKAOUSSI, Nadia. COMPORTEMENT DES ELEMENTS CHIMIQUES
Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. 2010. Analyses physico-chimiques, nutriments. Publié par l'Office fédéral de l'environnement OFEV,2016, Berne.46 pp.

Ministère de l'Environnement de l'Ontario. Hazardous substances list and handbook. Rapport no ARB-TDA, 1976,33-76 pp.

MIZI. Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de Bejaia et valorisation de déchets oléicoles, Thèse de doctorat, Université D'Annaba,2006 ,277 pp.

Nature Publishing Group.Evaluation of water quality based on a machine learning algorithm and water quality index for the Ebinur Lake Watershed, ScholarlyJournals,China,2017.

Bibliographie

OMS. Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, www.lenntech.fr 17/02/11,2006.

PESCE. Wunderlin D.A., 2000. Use of Water Quality Indices to Verify the Impact of Córdoba City (Argentina) on Suquia River. *Water Research*, 34, 2915-2926.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00036-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00036-1)

PHILIPPO.POMMERY.THOMAS, Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation , comportements des espèces métalliques au contact des matières humiques, *Journal français d'hydrologie*,2000,12-1-7-27pp.

POTELON.ZYMAN, Le guide des analyses d'eau potable, Edition. La Lettre du Cadre Territorial, Voiron, France,1998.

REINBERG. Le sodium et la vie, 2ème édition, PUF, Paris,1971 ,128 pp.

RODIER.L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Coll, Dunod Technique, Tome 2, Paris,1975,1365 pp.

SEGHIRI.Elimination des substances humiques extraites de l'eau de la retenue de Hammam-Ghrouz par coagulation-floculation avec le fer ferrique et les sels d'aluminium, mémoire de magister, Université de Constantine,1996.

TALHAOUI.HMAIDI.JADDI.MANSSOUTI.Calcul De l'indice de qualité De L'eau (IQE) Pour L'évaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Superficielles De L'Oued Moulouya, *European Scientific Journal*, Maroc,2020.
DOI:<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n2p64>

TDS et PH, [En ligne], publié le 9 février 2017, consulté le (18/06/2021).
Disponible sous l'adresse :

<https://www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/2/9/tds-ph>