

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE  
N° : .....



DOMAINE : TECHNOLOGIE  
FILIERE : HYDRAULIQUE  
OPTION : RESSOURCES HYDRAULIQUES

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par:** Hamouche Sadek

Sebai Khaira

**Intitulé**

Apport de la télédétection et des SIG pour le suivi de  
la qualité physico chimique des eaux de surface.  
Cas de Barrage de Beni Haroun (W. de Mila)

**Soutenu devant le jury composé de:**

MERZOUK Belkacem	Université de M'sila	Examineur
GHODBANE Messaoud	Université de M'sila	Examineur
MOKHTARI Elhadj	Université de M'sila	Encadreur
ABDELKEBIR Brahim	Université de Guelma	Co-Encadreur

**Année universitaire : 2020 /2021**



# *Remerciements*

*Au terme de cette étude, nous tenons à remercier **Dieu** le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce mémoire de fin d'études. Nous tenons à exprimer à Monsieur le **Docteur Mokhtari Elhadj**, notre Directeur de mémoire, notre profonde reconnaissance pour l'encadrement et les conseils qu'il nous a apportés. Il nous a transmis ses connaissances scientifiques et nous a supportés pendant nos travaux en brillant par sa gentillesse, sa générosité et ses encouragements.*

*Nous tenons à exprimer à Monsieur **Abdelkebir Brahim**, notre Co-Encadreur, notre profonde reconnaissance pour le co-encadrement et les conseils qu'il nous a apportés.*

*Nous voulons également exprimer toute notre gratitude aux membres de jury qui nous feront l'honneur de juger notre travail.*

*Nos vifs remerciements vont également à tous les enseignants et le personnel du Département d'Hydraulique de l'Université de M'sila et en particulier le Chef de département Monsieur **Djrbouai Salim**.*

*Merci à tous*

# DEDICACE

*Au nom de Dieu, clément et miséricordieux.*

*Par l'aide d'Allah, j'ai pu terminer ce modeste travail qu'est le fruit d'un soigneux suivi et d'un grand amour de mes proches.*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde, à toi **mon cher père**.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, **ma mère** que Dieu lui fasse miséricorde.*

*Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à mes frère **Djamel et Yacine et Amine** mes sœurs **Ahlem, Ibtissem** et neveu **Mountassir**, je dédie ce travail dont le grand plaisir leur revient en premier lieu pour leur conseil, aides, et encouragements.*

*A mon binôme **Khaira**, pour accompagnement et sa sympathie.*

*A toute ma famille **Hamouche**.*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et frères de cœur, toi **Sana, Boha, Halim**.*

*Merci à tous*

**HAMOUCHE SADEK**



## Dédicace

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots, que je dédie ce  
modeste travail de fin d'étude :*

*À mes chers parents (Ahmed, Leila), pour tous leurs sacrifices,  
leur amour, leur soutien et leurs prières tout au long de mes  
études,*

*À mes chers frères et sœurs pour leurs encouragements  
permanents, et leur soutien moral,*

*À mon mari redouane qui n'a jamais cessé de me soutenir pour  
que je puisse finir mes études,*

*À tous mes professeurs depuis le primaire jusqu' à  
l'enseignement universitaire,*

*A tous mes amis sans exception,*

*À toute la famille de mon mari ( Krikrou)*

*À tous ceux qui m'ont aidé dans l'élaboration de ce travail.*

*Sebai Kheira*

## **Résumé**

L'eau est l'élément naturel de base à la vie et l'une des ressources nécessaires à toutes les activités humaines. Elle est l'héritage de la crise. L'eau des barrages est soumise à divers types de pollution et est souvent de mauvaise qualité. Cette eau est susceptible de contenir diverses substances de nature physico-chimique. Notre travail vise à démontrer le potentiel et l'utilité de la détection et le système d'information géographique dans l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux du barrage de Beni Haroun dans l'estimation de trois paramètres physiques (Turbidité, MES, CSS) pour un période de six mois à l'aide du SIG (Arc gis 10.3). Des cartes descriptives ont été produites pour montrer sa répartition géographique et par télédétection à l'aide d'une image satellite multi spectrale ( Landsat 8 ). L'utilité de la télédétection et du SIG a été validée et a démontré que la combinaison continue d'analyses de données de télédétection par satellite et devrait faire progresser notre objectif à long terme de déterminer le nombre maximal de facteurs impliqués Pour déterminer les paramètres physiques et chimiques de l'eau et appliquer cette approche géomatique pour développer des prévisions fiables et précises et étudier leurs impact sur la qualité de l'eau Barrages.

**Mots clés :** Eau de barrage, Paramètres physico-chimiques, Télédétection, SIG.

## **Abstract**

Water is the basic natural element for life and one of the resources necessary for all human activities. It is the legacy of the crisis. The water in dams is subject to various types of pollution and is often of poor quality. This water is likely to contain various substances of a physicochemical nature. Our work aims to demonstrate the potential and usefulness of detection. Remote and geographic information system in the evaluation of the physicochemical quality of water in the Bani Haroun dam in the estimation of three physical parameters (Turbidity, MES, SSC) for a period of seven months (from September 2015 to March 2016) using GIS . Descriptive maps were produced to show its geographic distribution and by remote sensing to the 'using a multispectral satellite image (Landsat 8) The usefulness of remote sensing and GIS has been validated and demonstrated that the continued combination of analysis of remote sensing satellite data and should advance our long-term goal of determine the maximum number of factors involved To determine the physical and chemical parameters of water and apply a geomatics approach to develop reliable and accurate forecasts and e study their impact on water quality Dams.

**Keywords :** Dam water, Physico-chemical parameters Remote ,sensing, GIS.

## الملخص

الماء هو العنصر الطبيعي الأساسي للحياة ومن الثروات اللازمة لجميع النشاطات البشرية وهو تراث الأمانة .مياه السدود عرضة لأنواع مختلفة من التلوث وغالبا ما تكون ذات نوعية رديئة من المحتمل أن تحتوي هذه المياه على مواد مختلفة ذات طبيعة فيزيائية كيميائية.

يهدف عملنا إلى إظهار إمكانات و فائدة الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية في تقييم الجودة الفيزيائية و الكيميائية لمياه سد بني هارون في تقدير ثلاث معايير فيزيائية لمدة ستة أشهر باستخدام نظام المعلومات الجغرافية تم إنتاج الخرائط الوصفية لإظهار توزيعها الجغرافي وعن طريق الاستشعار عن بعد باستخدام صورة القمر الصناعي متعددة الأطياف تم التحقق من فائدة الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية .

وأثبتنا ذلك أن الجمع المستمر بين تحليل بيانات الاستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية و ينبغي أن نعزز هدفنا على المدى الطويل المتمثل في تحديد الحد الأقصى لعدد العوامل التي تنطوي على تحديد المعايير الفيزيائية و الكيميائية للمياه وتطبيق هذا النهج الجيوماتيكي لتطوير تنبؤات موثوقة و دقيقة ودراسة تأثيرها على نوعية مياه السدود.

**الكلمات المفتاحية** مياه السدود . المعايير الفيزيوكيميائية . الاستشعار عن بعد . نظام المعلومات الجغرافية

# SOMMAIRE

Remerciement	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction générale	1
<b>Chapitre I. Généralités sur la qualité des eaux</b>	
I.1. Définition des l'eau	2
I.2. Paramètres de mesure de la qualité de l'eau	2
I.2.1. Paramètres physico-chimiques	2
I.2.1.1. Le potentiel d'hydrogène (pH)	2
I.2.1.2. La température	2
I.2.1.3. La conductivité	2
I.2.1.4. Salinité	3
I.2.1.5. La turbidité	3
I.2.1.6. L'oxygène dissous	4
I.2.1.7. La matière en suspension (MES)	4
I.2.1.8. La demande chimique en oxygène (DCO)	4
I.2.1.9. La demande biochimique en oxygène (DBO <sub>5</sub> )	5
I.2.1.10. L'odeur	5
I.2.1.11. La dureté	6
I.2.1.12. Le carbone organique totale	6
I.2.1.13. Sulfates	6
I.2.1.14. Alcalinité	7
I.2.1.15. Le Titre Alcalimétrique (TA)	7
I.2.2. Paramètres microbiologiques	7
I.2.2.1. Eaux de consommation humaine	7
I.3. Pollution des eaux	8
I.3.1. Origine de la pollution	8

I.3.1.1.L'industrie .....	8
I.3.1.2.L'agriculture .....	9
I.3.1.3.Pollution domestique .....	9
I.3.1.4.Pollution par les eaux pluviales .....	9
I.3.1.5.Pollution d'origine naturelle .....	9
I.4.Principaux types de la pollution de l'eau .....	10
I.4.1.La pollution chimique .....	10
I.4.2.La pollution organique .....	10
I.4.3.La pollution microbienne .....	10
I.4.4.Pollution par les métaux lourds .....	10
I.5.La modélisation .....	10
I.5.1.Les paramètres mesurés par télédétection.....	11

## **Chapitre II. Etude descriptive de la zone d'étude**

II. Introduction.....	12
II.1.Localisation géographique et topographique.....	12
II.2.Morphologie du bassin .....	13
II.2.1.Caractéristiques physiques .....	13
II.2.1.1.Géologie du bassin .....	13
II.2.1.2. Impact de la géologie sur l'hydrologie .....	14
II.2.1.3.Végétation du bassin .....	14
II.2.2. Caractéristiques climatiques .....	14
II.2.2.1. La température .....	15
II.2.2.2.La précipitation .....	15
II.2.2.3. L'humidité et le vent .....	16
II.2.2.4. Pluviométrie .....	17
II.2.3. Caractéristiques hydrographiques du bassin .....	17
II.2.3.1.Caractéristiques morpho-métriques .....	17
II.2.3.2. Caractéristiques de forme .....	18
II.2.3.2.1. Indice de compacité ou indice de Gravélius .....	18
II.2.3.2.2. Elancement « $R_e$ » .....	18
II.2.3.2.3. Rectangle équivalent .....	18

II.2.3.2.4. Caractéristiques du relief .....	19
II.2.4. La carte d'altitudes .....	19
II.2.5. La carte des pentes .....	21
II.3. Paramètres du réseau hydrographique .....	24
II.3.1 Densité de drainage DD.....	24
II.3.2 Coefficient de torrentialité (C) .....	25
II.3.3 Dénivelée spécifique DS .....	25
II.4. Caractéristiques du barrage de Beni Haroun .....	27
II.5. Caractéristiques principales du barrage .....	27
II.6. Caractéristiques principales de l'aménagement .....	29
Conclusion.....	30

## **Chapitre III. Evaluation de la qualité des eaux superficielles par SIG et télédétection**

III.1. Système d'information géographique.....	31
III.1.1. Définitions et concepts associés.....	31
III.1.2. Objectifs des SIG.....	32
III.1.3. SIG et gestion intégrée de la qualité de l'eau (GIRE).....	32
III.1.3.1. Définition de La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE).....	32
III.1.3.2. Relation entre la GIRE et les SIG .....	33
III.1.3.2.1. SIG, un outil d'aide à la décision .....	33
III.2. Télédétection .....	33
III.2.1- Définition .....	33
III.2.2. Objectif fondamental de la télédétection .....	35
III.3. Applications .....	35
III.4. Caractéristiques des images .....	36
III.4.1. La résolutions partiales .....	37
III.4.2. La résolution spectrale .....	37
III.4.3. La résolution Radiométrique .....	37
III.4.4. La résolution temporelle .....	39
III.5. Evaluation de la qualité des eaux par télédétection .....	39
III.5.1. Acquisition et traitement des données satellitaires.....	41
III.5.1.1. La série de satellites Landsat .....	41

III.5.1.1.1.Présentation .....	41
III.5.1.1.2. Caractéristiques du capteur Landsat 8.....	41
III.5.2. Traitement de l'image satellitaire Landsat 8 OLI .....	42
III.5. 3. Quantification et suivi des paramètres étudiés.....	44
III.5.3.1. La turbidité .....	44
III.5.3.2.La matière en suspension (MES) .....	50
III.5.3.3. Concentration de sédiment en suspension	53
Conclusion.....	55
Conclusion générale	56
Références bibliographiques	58



***LISTE D'ABRÉVIATIONS***

## Liste des Abréviations

### Notations alphanumériques

SIG	Système Information Géographique
pH	Potentiel Hydrogène
MES	Les matières en suspension
DBO <sub>5</sub>	Demande biologique en oxygène en cinq jours
DCO	Demande chimique en oxygène
COT	Le carbone organique totale
OD	Oxygène dissous
Turb	Turbidité
ADE	Algérienne des eaux
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
TH	Titre Hydrotimétrique
NTU	Néphélométrie Turbidité Unit
SO <sub>4</sub>	Sulfate
CSS	Concentration de sédiment en suspension



***LISTE DES TABLEAUX***

# Liste des tableaux

## Chapitre I. Généralités sur la qualité des eaux

<b>Tableau I.1.</b> Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique	3
<b>Tableau I.2.</b> Qualité de l'eau en fonction de la DBO <sub>5</sub>	5
<b>Tableau I.3.</b> Qualité de l'eau en fonction de la valeur du TH	6

## Chapitre II. Etude descriptive de la zone d'étude

<b>Tableau II.1.</b> Températures moyennes mensuelles à la station Ain El Bey Constantine	15
<b>Tableau II. 2.</b> Répartition annuelle des précipitations (mm).(1981-2008)	17
<b>Tableau II.3.</b> Création d'une carte hypsométrique (Altitude)	21
<b>Tableau II.4.</b> Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global I <sub>gf</sub>	24
<b>Tableau II.5.</b> Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M.	25
<b>Tableau II.6.</b> Caractéristiques géométriques et hydromorphométriques du bassin	26
<b>Tableau II.7.</b> Caractéristiques principales de l'aménagement	29

## Chapitre III. Evaluation de la qualité des eaux superficielles par SIG et télédétection

<b>Tableau III.1.</b> Combinaison des bandes	37
<b>Tableau III.2.</b> Caractéristiques du satellite Landsat 8 OLI/TIRS. (USGS)	42
<b>Tableau III.3.</b> Différentes méthodes pour le calcul de la turbidité	45
<b>Tableau III.4.</b> Différentes méthodes de calcul de la concentrations de matières en suspension	51
<b>Tableau III.5.</b> Grille de la qualité des eaux superficielles pour les teneurs en MES (ANRH, 1999)	53

# Liste des figures

## Chapitre II. Etude descriptive de la zone d'étude

<b>Figure II.1.</b> Carte de situation du bassin versant du barrage Ben Haroun	13
<b>Figure II.2.</b> Variations interannuelles des précipitations 2003-2016 station de Beni Haroun (donné ANBT) .....	16
<b>Figure II.3.</b> L'évaporation ou niveau de barrage Beni Haroun (2003-2016) (donné ANBT) .....	16
<b>Figure II.4.</b> La répartition des classes d'altitude en fonction de surface	20
<b>Figure II.5.</b> Carte d'altitude du bassin versant du barrage Ben Haroun	20
<b>Figure II.6.</b> La Courbe hypsométrique du bassin versant du barrage Ben Haroun	21
<b>Figure II.7.</b> La répartition des classes de pentes en fonction de surface	22
<b>Figure II.8.</b> Carte des pentes du bassin versant du barrage Ben Haroun	22
<b>Figure II.9.</b> Réseau hydrographique du bassin versant du barrage Ben Haroun	26
<b>Figure II.10.</b> Retenue du barrage de Ben-Haroun	27
<b>Figure II.11.</b> Vue du barrage de Ben-Haroun (ANBT, 2002)	28

## Chapitre III. Evaluation de la qualité des eaux superficielles par SIG et télédétection

<b>Figure III.1.</b> Principe de la télédétection spatiale	34
<b>Figure III. 2.</b> Les principes de la télédétection	35
<b>Figure III.3.</b> Caractéristiques des images satellitaires	36
<b>Figure III.4.</b> Déférence de l'absorbance de l'énergie électromagnétique entre 1 et 8 bits .....	39
<b>Figure III.5.</b> La méthodologie adoptée pour la quantification et le suivi des paramètres étudiés .....	40
<b>Figure III.6.</b> Variation spatio-temporelle de la turbidité de l'eau de barrage Ben Haroun par la méthode empirique de Chen .....	46
<b>Figure III.7.</b> Variation spatio-temporelle de la turbidité de l'eau de barrage Ben Haroun par la méthode empirique de Fraser .....	47
<b>Figure III.8.</b> Variation spatio-temporelle de la turbidité de l'eau de barrage Ben Haroun par la méthode empirique Harrington .....	49
<b>Figure III.9.</b> Variation spatio-temporelle de la turbidité de l'eau de barrage Ben Haroun par la méthode empirique de Lathrop et lillesand .....	50

<b>Figure III.10.</b> Variation spatio-temporelle de la matière en suspension dans le barrage Ben Haroun .....	52
<b>Figure III.11.</b> Variation mensuelle des teneurs en matières en suspension de l'eau du barrage Ben Haroun (Barkat, 2016) .....	53
<b>Figure III.12.</b> Variation spatio-temporelle de la concentration de sédiment SSC dans le barrage Ben Haroun .....	54



***INTRODUCTION GÉNÉRALE***

## Introduction générale

En Algérie, les eaux de surface (lacs, rivières, barrage) sont de plus en plus utilisées ces dernières années pour les besoins de l'agriculture, de l'alimentation des populations et de l'industrie. De ce fait, les menaces sur cette ressource naturelle s'aggravent de plus en plus et également devient rare et impropre, quand sont confrontées avec des objets vairoonnèrent aux et anthropiques.

De nombreuses techniques existent, permettent l'évaluation des paramètres de qualité de l'eau de barrage et quantifier les éléments physiques ou chimiques (température, pH, salinité, conductivité, turbidité, matières en suspension, transparence), et plusieurs indicateurs de la charge polluante peuvent être mis en œuvre.

Récemment, les techniques de télédétection on été utilisées dans les études pour détecter les changements sur la surface de la terre et dans la quantification de plusieurs paramètres en relation avec la pollution marine et du sol.

Dans notre étude concernant le barrage de BENI HAROUN à KEBIR RHEMEL, l'élaboration d'une méthodologie appropriée pour l'établissement et le suivi des indices de qualité de l'eau de la surface du barrage à l'aide de télédétection et de système d'information géographique (SIG) est étudiée. La méthodologie proposée combine les données des images satellitaires et les modèles empiriques de calcul de la turbidité, les matières en suspension et la concentration des sédiments.

L'objectif de notre travail est l'apport de la télédétection et des SIG pour le suivi la variabilité spatio-temporelle de quelques paramètres physico-chimiques des eaux du barrage de Ben Haroun dans la wilaya de Mila pendant 6 mois. Pour réaliser cette étude, nous allons adopter la méthodologie suivante :

- Dans le premier chapitre nous présenterons un rappel sur l'eau et ses sources de pollution d'une façon générale.
- Le deuxième chapitre sera consacré à la description du barrage Béni Haroun
- Le troisième chapitre portera sur l'évaluation de la qualité des eaux superficielles par l'utilisation de SIG et télédétection et les différentes méthodes et les résultats de calcul avec discussions des résultats obtenus.
- Notre étude on l'achèvera par une conclusion générale.



***CHAPITRE I :***  
***GÉNÉRALITÉS SUR LA***  
***QUALITÉ DES EAUX***

## Chapitre I. Généralités sur la qualité des eaux

### I.1.Définition de l'eau:

Nom féminin du latin aqua , l'eau est un corps incolore , inodore , insipide , liquide à la température ordinaire est composé d'hydrogène (H<sub>2</sub>O).L'eau était considérée par les anciens comme l'un des quatre élément de base le feu , l'air et la terre .Elle constituée un élément indispensable à la vie. Elle est le substrat fondamental des activités biologiques et le constituant le plus important des êtres vivants (70% de leur poids en moyenne).

L'eau se rencontre dans l'écosphère sous trois phases; solides, liquides et gazeux dépendant des conditions particulières de température et de pression. L'eau a des propriétés physico-chimiques assez particulières par rapport aux autres liquides car elle est un excellent solvant , elle solubilise de nombreux gaz , corps minéraux et organiques , ionise les électrolytes et disperse les colloïdes électro-chargés[1].

### I.2.Paramètres de mesure de la qualité de l'eau

#### I.2.1.Paramètres physico-chimiques

##### I.2.1.1.Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H<sup>+</sup>). Le pH conditionne un grand nombre d'équilibres physicochimiques, il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique. Il n'a pas de la signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés [2].

##### I.2.1.2.La température

L'évolution de la température dépend du mode d'utilisation de l'eau avant son rejet et surtout le parcours de l'eau avant l'exutoire ou la station d'épuration. En général l'eau doit être évacuée vers l'environnement à des températures inférieures à 30°C un eau plus chaude constitue une pollution [3].

### I.2.1.3. La conductivité :

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau. [4]

La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau. La connaissance du contenu en sels dissous est importante, dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres. [5]

Du point de vue qualité de l'eau, on a le classement suivant :

**Tableau I.1: Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique [6]**

Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Qualité de l'eau
50 à 400	excellente
400 à 750	bonne qualité
750 à 1500	médiocre mais eau utilisable
> à 1500	minéralisation excessive

### I.2.1.4. Salinité

La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin [7].

Elle correspond à la masse de sels contenue dans 1 kg d'eau. L'évaluation de la salinité permet de déduire la conductivité d'une eau, elle s'exprime en UPS : Unité Pratique de Salinité, qui équivaut approximativement à 1 mg/g de sel. La salinité de l'eau de mer est en moyenne de 35 UPS, soit 35g/kg d'eau, celle des eaux saumâtres est de 5 à 18 UPS et celle des eaux douces est inférieure de 0,5 UPS [8].

### I.2.1.5. La turbidité :

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence. Elle donne une idée sur la teneur en matière en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées

(grains de silice, matière organique, limons...). Pour une bonne qualité de l'eau, il faut maintenir une turbidité inférieure à 5 NTU. [9]

#### **I.2.1.6.L'oxygène dissous**

Les concentrations en oxygène dissous, constituent avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique. L'oxygène dissous dans les eaux de surface, provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs; tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration dépend également de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau. [3] Une valeur d'oxygène inférieure à 1 mg d'O<sub>2</sub> par litre d'eau, indique un état proche de l'anaérobie. Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible. Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments. [10]

#### **I.2.1.7.La matière en suspension(MES)**

Les matières en suspensions rencontrées dans les eaux sont très divers tant par leur nature que par leurs dimensions. Elles sont constituées par du quartz, des argiles, des sels minéraux insolubles et des particules organiques composées de microorganismes et de produits de dégradation animaux ou végétaux. [11]

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation.

#### **I.2.1.8.Demande chimique en oxygène (DCO)**

C'est une mesure de toutes les matières organiques (ou presque) contenues dans les eaux naturelles ou usées, qu'elles soient biodégradables ou non biodégradables.

L'oxydation est effectuée dans des conditions énergiques, par voie chimique. Elle se fait sous l'action d'un oxydant puissant (bichromate de potassium), en milieu acide fort (

$\text{H}_2\text{SO}_4$ ) et au reflux pendant deux heures. La DCO constitue donc un paramètre important. C'est un test rapide, très utile pour la surveillance des eaux usées et des rejets industriels (surtout ceux à caractère toxique qui se prête mal aux mesures de DCO, exprimée elle aussi en mg/l d'oxygène, diffère de celle de la -DBO. [3]

### I.2.1.9. La demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation d'oxygène ; le milieu exerce donc une certaine demande biochimique d'oxygène. La mesure de cette DBO permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution. [2]

La dégradation complète des matières organiques peut être relativement longue (plusieurs semaines). D'autre part, l'oxydation des dérivées ammoniacaux et des nitrites en nitrates (nitrification) absorbe également de l'oxygène. Cette nitrification, dans les eaux naturelles, ne débute qu'au bout d'une dizaine de jours. Pour ces deux raisons, on mesure la DBO en 5 jours, ou DBO<sub>5</sub>, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée ; pendant ce laps de temps, pour l'oxydation partielle des matières organiques biodégradables sous l'action des microorganismes. L'analyse de la DBO<sub>5</sub> est surtout intéressante pour l'appréciation de la qualité des eaux brutes. [3]

Le tableau suivant, classe les eaux du point de vue qualité selon les valeurs de DBO<sub>5</sub>.

**Tableau I.2: Qualité de l'eau en fonction de la DBO<sub>5</sub> [12]**

DBO <sub>5</sub>	Qualification de l'eau
DBO <sub>5</sub> < 1 mg/l d'O <sub>2</sub>	Excellente qualité
DBO <sub>5</sub> = 2 mg/l d'O <sub>2</sub>	Bonne qualité
DBO <sub>5</sub> = 3 mg/l d'O <sub>2</sub>	Qualité moyenne
DBO <sub>5</sub> = 5 mg/l d'O <sub>2</sub>	Eau moyennement polluée
DBO <sub>5</sub> > 10 mg/l d'O <sub>2</sub>	Eau polluée

### I.2.1.10. L'odeur :

Une eau destinée à l'alimentation doit être inodore. La présence d'une odeur est un signe de pollution ou de la présence de la matière organique en décomposition.

### I.2.1.11. La dureté

On appelle dureté totale d'une eau ou titre hydrotimétrique totale (TH) la somme des concentrations en  $\text{Ca}^+$  et  $\text{Mg}^+$  (dureté calcique et dureté magnésienne). Souvent méthode complexe xométrique à l'EDTA. La dureté s'exprime en ppm (ou mg/L) de  $\text{CaCO}_3$  ou en degré français (symbole °F). 1 degré français correspond à  $10^{-4}$  mol/l de calcium ou /et de magnésium. [13]

**Tableau I.3: Qualité de l'eau en fonction de la valeur du TH [14].**

Eau	Eau douce	Eau calcaire	Eau dure
TH (°F)	0 à 15	15 à 25	Au-delà de 25

### I.2.1.12. Le carbone organique total (COT)

Le COT est définie comme la concentration en mg de carbone/l d'échantillon, c'est une méthode directe pour mesurer la teneur en matières organiques d'une eau. Il consiste à brûler l'échantillon d'eau à 950 °C sous l'action de l'oxygène gazeux et de mesurer le  $\text{CO}_2$  dégagé, et par suite de mesurer le carbone total (organique et minéral). Le COT est une méthode rapide et présente plusieurs avantages tels que : on peut analyser l'eau quelle que soit sa qualité (de forte salinité, acide, basique, ou contient des composés toxiques).

Mais malgré ses avantages, il exige un appareillage coûteux [15].

### I.2.1.13. Sulfates

Les sulfates sont issus naturellement de la dégradation de certains minéraux comme les gypses. Leurs origines peuvent être anthropiques telles des rejets industriels (mines, traitement métaux, les eaux usées, incinération d'ordure, lixiviat des décharges). Les concentrations maximales admissibles sont limitées à 250 mg/l. Des concentrations supérieures à 250 mg/l ne sont pas dangereuses mais comportent un risque de troubles gastro-intestinaux diarrhéiques, notamment chez les enfants. [16]

Eléments chimiques toxiques dangereux Ils sont plus couramment recherchés dans les eaux des barrages et des forages, sont constitués par de grand famille de composés telles que : les pesticides, les métaux lourds (plomb, cadmium, chrome, nickel, etc.), les hydrocarbures. Le rejet de

tous ces produits est, en principe, interdit et, mais la mauvaise contrôle ou le mal traitement de l'eau rejeté par les industries dans les réseaux d'eaux superficielles [17].

#### **I.2.1.14. Alcalinité**

L'alcalinité d'une correspond à la présence d'ions hydroxydes, carbonates et hydrogéné carbonates. Elles des détermine par acidimétrie et se caractérise par 2 paramètres :

#### **I.2.1.15. Le Titre Alcalimétrique (TA)**

Qui correspond à la première neutralisation des ions carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), selon la réaction suivante :



On considère que la réaction est terminée lorsque le PH du milieu a atteint 8.3. La quantité de protons nécessaire à la réalisation de cette réaction dans un litre d'eau est appelé le Titre Alcalimétrique. [18].

#### **I.2.2. Paramètres microbiologiques**

L'eau ne doit pas contenir des germes pathogènes en particulier : salmonelle, streptocoque, E. Coli dans 5 litres d'eau prélevée.

##### **I.2.2.1. Eaux de consommation humaine**

Une eau destinée à la consommation humaine est considérée comme potable si elle répond à des exigences de qualité bien définies sur le plan de ses caractéristiques physico-chimique et bactériologiques qui ne doivent pas porter atteinte à la santé du consommateur pour la qualité des eaux distribuées, on se réfère essentiellement à deux aspects :

La satisfaction de l'utilisateur, subjective car fondée essentiellement sur la quantité organoleptique et visuelle : << L'eau doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent. >> ;Et, surtout, la composition et sa compatibilité avec l'hygiène et la protection de la santé publique (qualité sanitaire).

L'eau de distribution publique est définie par des normes nationales découlant des travaux de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et de directives européennes.

L'OMS dans ses directives établies en 1983 a regroupé les paramètres concernant la qualité de l'eau en cinq catégories :

La qualité microbiologique ;

Les composés inorganiques ayant une conséquence sur la santé ;

Les composés organiques ayant une conséquence sur la santé ;

La qualité esthétique (transparence, absence de coloration) ;

Les constituants radioactifs,

Il importe ensuite à chaque pays d'établir sa propre législation, en fonction des critères locaux, en y incluant en particulier les données économiques. [19]

### **I.3.Pollution des eaux**

La pollution des eaux peut être définie comme une dégradation de celle-ci par les éléments qu'elle a accumulés de son utilisation. Ces éléments indésirables proviennent des excréments chimiques, des rejets provenant d'industries divers, du lessivage des terrains traversés.

Le problème de la pollution des eaux représente sans aucun doute l'un des aspects les plus inquiétants de la dégradation du milieu naturel.

#### **I.3.1.Origine de la pollution**

##### **I.3.1.1.L'industrie**

Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets à long terme [20].

Les rejets industriels renferment 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.

##### **I.3.1.2.L'agriculture**

Elle utilise des engrais chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration [21].

### **I.3.1.3.Pollution domestique**

Nos eaux usées urbaines sont constituées de matière organique biodégradable certes mais de grandes consommatrices d'oxygène, de germes pathogènes et de produits chimiques [22].

### **I.3.1.4.Pollution par les eaux pluviales**

Il ne faut pas oublier par ailleurs la pollution générée par les eaux pluviales. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles).

### **I.3.1.5.Pollution d'origine naturelle**

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau potable. Des composés inorganiques comme le baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent contaminer l'eau potable. L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lorsqu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes [21].

## **I.4.Principaux types de la pollution de l'eau**

### **I.4.1.La pollution chimique**

Due à la présence de substances chimique dissoutes dans l'eau. Cette pollution est due essentiellement au déversement de polluants organiques et des sels de métaux lourd qui sont les plus menaçants rejetés souvent par les unités industrielles [23].

### **I.4.2.La pollution organique**

Elle constitue souvent la fraction la plus importante d'autant plus que dans son acceptation la plus large, cette forme de pollution peut considérer comme résultats de diverses activités (urbain, industriels, artisanales et rurales). On distingue, pour les eaux usées urbaines les matières organiques banales "protides, glucides, lipides", les détergents, les huiles et goudron [24].

### **I.4.3.La pollution microbienne**

Les eaux d'égout contiennent une multitude d'organismes vivants apportés par les excréments d'origine humaine ou animale.

La nature de la population bactérienne par exemple est très variée et il n'est pas possible d'en faire ici un inventaire complet. L'eau peut contenir des microorganismes pathogènes (virus, bactéries, parasites). Ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (industrie, utilisation domestique) [23].

### **I.4.4.Pollution par les métaux lourds**

Les métaux sont les micropolluants minéraux présent dans l'eau en quantités plus ou moins importantes, pouvant aller des traces jusqu'au métal pratiquement pur. Parmi les métaux lourds les plus dangereux pour la santé quand ils sont concentrés, il faut citer le plomb, le mercure, le cadmium, l'arsenic, le cuivre, le zinc et le chrome. [25]

## **I.5. La Modélisation**

La plupart des équipes travaillant sur le sujet ont mis au point des modèles empiriques ou analytiques permettant de mesurer un ou des paramètres caractéristiques de la qualité de l'eau en liaison avec des mesures in situ de calibration.

Ces techniques mesurent en général des différences spectrales de l'énergie émise directement par la surface de l'eau au moment de l'enregistrement du signal. Fréquemment, des relations empiriques entre les propriétés spectrales et les paramètres mesurés de qualité de l'eau sont établies par des évaluations statistiques basées sur la détermination de lois de régressions (qu'elles soient linéaires, affines, paraboliques, exponentielles...).

Souvent des informations sur des caractéristiques spectrales du paramètre de qualité de l'eau sont employées pour faciliter la sélection des meilleures longueurs d'onde ou le meilleur modèle dans son approche empirique.

Les caractéristiques empiriques de ces relations limitent leurs applications à la condition pour laquelle les données ont été rassemblées. Souvent, elles sont propres à un site particulier pour des masses d'eau dans des conditions semblables. Les facteurs qui sont à prendre en compte dépendent de la saison, des conditions d'écoulement ou de hauteur d'eau (débit, crues, étiages) et des conditions climatiques.

### **I.5.1. Les paramètres mesurés par télédétection**

Les paramètres de la qualité de l'eau les plus souvent estimés à partir des réflectances enregistrées par les capteurs spatiaux sont:

- 1-Le taux de matière en suspension(MES)
- 2-La turbidité
- 3-L'opacité
- 4-Le taux de chlorophylle-a
- 5-La concentration en matière organique dissoute
- 6-La concentration de matières en suspension (des sédiments en suspension SSC). [26]

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur les eaux superficielles, ainsi que les caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface ainsi que de leur classement. A la fin nous avons aussi parlé des différents types de la pollution de ces eaux.



***CHAPITRE II :***  
***DESCRIPTION DE LA ZONE***  
***D'ÉTUDE***

## Chapitre II : Description de la zone d'étude

### Introduction

Préalable et indispensable à toute étude efficace, la connaissance du milieu naturel du bassin doit s'acquérir dans de multiples domaines (topographie, géologie, climatologie, hydrologie et la biogéographie, etc.). Pour ces raisons, un choix a été fait le bassin versant de Beni Haroun a été choisi comme bassin d'application de notre travail pour la diversité des données qui y sont disponibles, et malgré la diminution d'études sur ce bassin.

Dans ce chapitre, notre étude nous a montré la situation géographique et toutes les caractéristiques de site de bassin versant sous étude localisent au Beni Haroun, la géologie (la structure du sol), l'hydrologie et le climat...etc. Ces caractéristiques affectent sur le taux d'envasement et taux d'érosion. Donc l'insuffisance de l'eau nous oblige à protéger toutes les ressources disponibles contre toutes pertes et à l'utiliser d'une manière rationnelle et scientifique, et ce, pour satisfaire les besoins des différents secteurs (AEP, l'industrie, l'irrigation).

### II.1 Localisation géographique et topographique

Le bassin versant Kèbir-Rhumel centré à 36° de latitude Nord et à 7° de longitude, est l'un des plus importants et grands bassins d'Algérie, s'étendant sur une superficie de 8815 Km<sup>2</sup>, il se compose de 7 sous-bassins hydrographiques et possède une façade maritime d'environ 7 Km<sup>2</sup>. Le bassin est limité :

- Au Nord par les deux bassins côtiers Constantinois Ouest et Centre.
- Au Sud, le bassin des hauts plateaux constantinois.
- À l'Ouest, les bassins de l'Algérois-Hodna-Soummam.
- Est à l'Est le bassin de la Seybouse.

L'oued Kebir-Rhumel est le cours d'eau qui draine le bassin depuis la ville d'Ain M'lila (hautes plaines constantinoises) jusqu'au réservoir du barrage de Beni-Haroun. Plusieurs villes importantes sont situées dans le bassin versant tels que Constantine et El Khroub à l'Est, Mila au Nord, Ain El Kebira l'Ouest et Ain M'Lila au Sud.

Le sous-bassin versant a étudié, il est le côté droit de sous-bassin versant Beni Haroun couvre une superficie de près de 1054.79 km<sup>2</sup> s'étendant sur des milieux naturels et socio-économiques d'une grande diversité (Agence Nationale des barrages et des transferts, Beni-Haroun 2006). ) [27].



Figure II.1 : Carte de situation du bassin versant du barrage de Beni Haroun

## II.2 Morphologie du bassin

### II.2.1 Caractéristiques physiques

#### II.2.1.1 Géologie du bassin

Ce site localiser dans une zone à relief accidenté, montrant des contrastes topographiques remarquables, avec des massifs culminants à des hauteurs élevées (Djebel Msid Aicha : 1462 m) et des ravins et talwegs sur creusés.

Sa géologie est particulièrement mouvementée et marquée par un empilement d'unités structurales du Nord au Sud.

En outre, de la rive droite à la rive gauche (de barrage beniharoun), les pendages se redressent progressivement jusqu'à être verticales et même se renverser avec un léger pendage vers le Nord.

Les terrains meubles sont constitués principalement de dépôts alluviaux sablo-graveleux dans le lit des oueds et sur plusieurs niveaux de terrasses, de colluvions provenant en grande partie de l'érosion des formations terrigènes et d'éboulements au pied des formations rocheuses.

Par ailleurs, il est clair que l'activité tectonique à rejeu continu dans le temps affecte aussi bien les formations du substratum [28].

### II.2.1.2 Impact de la géologie sur l'hydrologie

Le type de formations géologiques qui affleurent dans les bassins versants a une influence sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en général une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles, avec une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration [27].

### II.2.1.3 Végétation du bassin

Le couvert végétal de la région d'étude est réduit. Il se résume à des surfaces recouvertes majoritairement d'herbes et quelques arbres d'eucalyptus, ce faible couvert végétal a considérablement favorisé le phénomène d'érosion du sol [27].

## II.2.2 Caractéristiques climatiques

Le climat est l'ensemble des actions de l'atmosphère : humidité, pluie, température et vents. C'est l'élément naturel sur lequel l'homme n'a aucune influence directe (sauf les cas particuliers des irrigations). C'est un facteur essentiel du développement des plantes, de la formation et de l'évolution des sols. Ses principales composantes ont une influence importante sur l'érosion.

La connaissance des conditions climatiques de notre zone d'étude et de ses caractéristiques va nous permettre de mieux comprendre le comportement hydrologique des cours d'eaux. D'une manière générale, le climat de la région est de type continental, semi-aride au Sud et subhumide au Nord avec un hiver pluvieux et froid et un été Sec et chaud. [29]

Le climat d'une région est influencé par de nombreux paramètres climatologiques qui sont :

- La température
- La précipitation
- L'humidité et le vent
- Pluviométrie

La climatologie a essentiellement pour but :

- L'analyse complète des éléments météorologiques qui déterminent le climat.
- La recherche des causes qui expliquent les différents climats et les fluctuations qui les accompagnent.

### II.2.2.1 La température

C'est l'un des éléments les plus importants de la radiation solaire. Un certain nombre de phénomènes physiques tels-que l'évaporation, le dégel de l'eau, la gelée blanche. La dilatation et la concentration de certains matériaux : phénomène physiologique ou pathologique tel que la transpiration sont liées à la température de l'air. La température dont il s'agit est la température de l'air mesuré à l'ombre dans un abri météorologique.

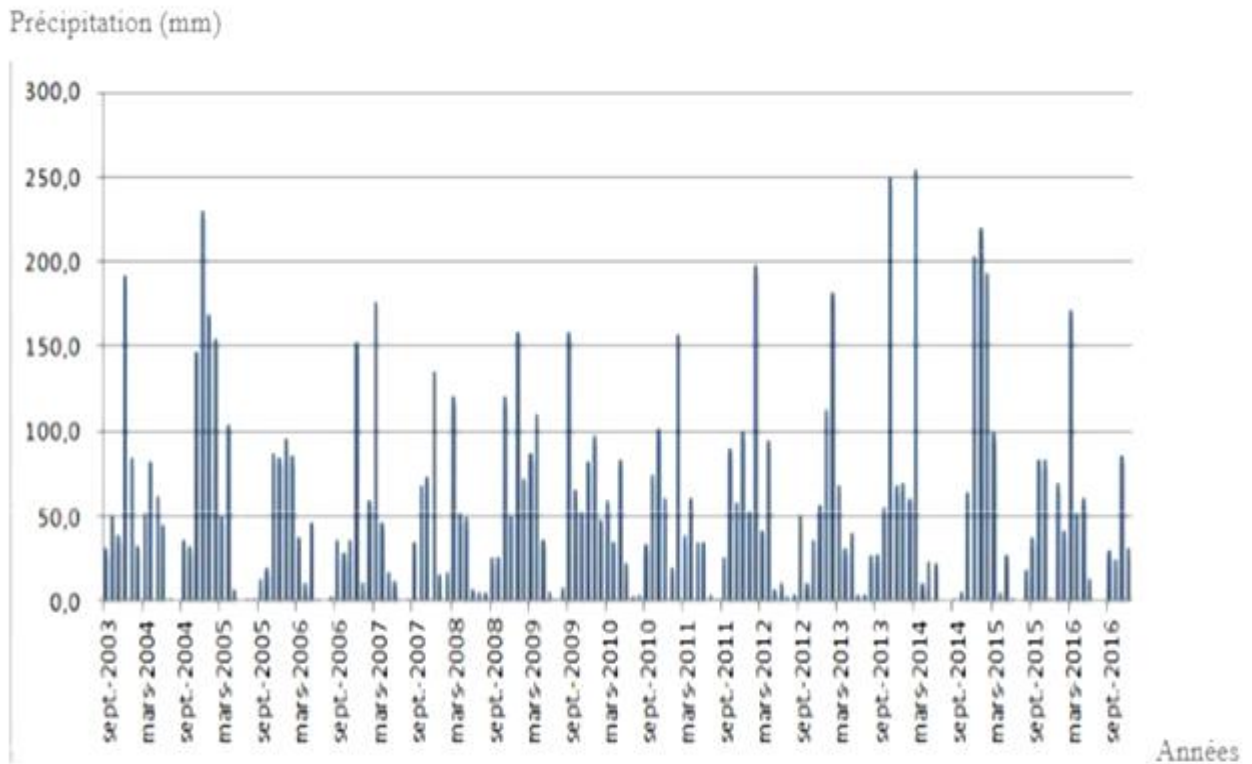
Les données de température se limitent à celles fournies à l'ANRH par la station météorologique de l'aéroport d'Ain El Bey à Constantine. La température moyenne saisonnière varie entre 10°C en hiver et 25°C en été. Par contre la moyenne annuelle et de l'ordre de 17.06 °C.

**Tableau II.1** : Températures moyennes mensuelles à la station Ain El Bey Constantine

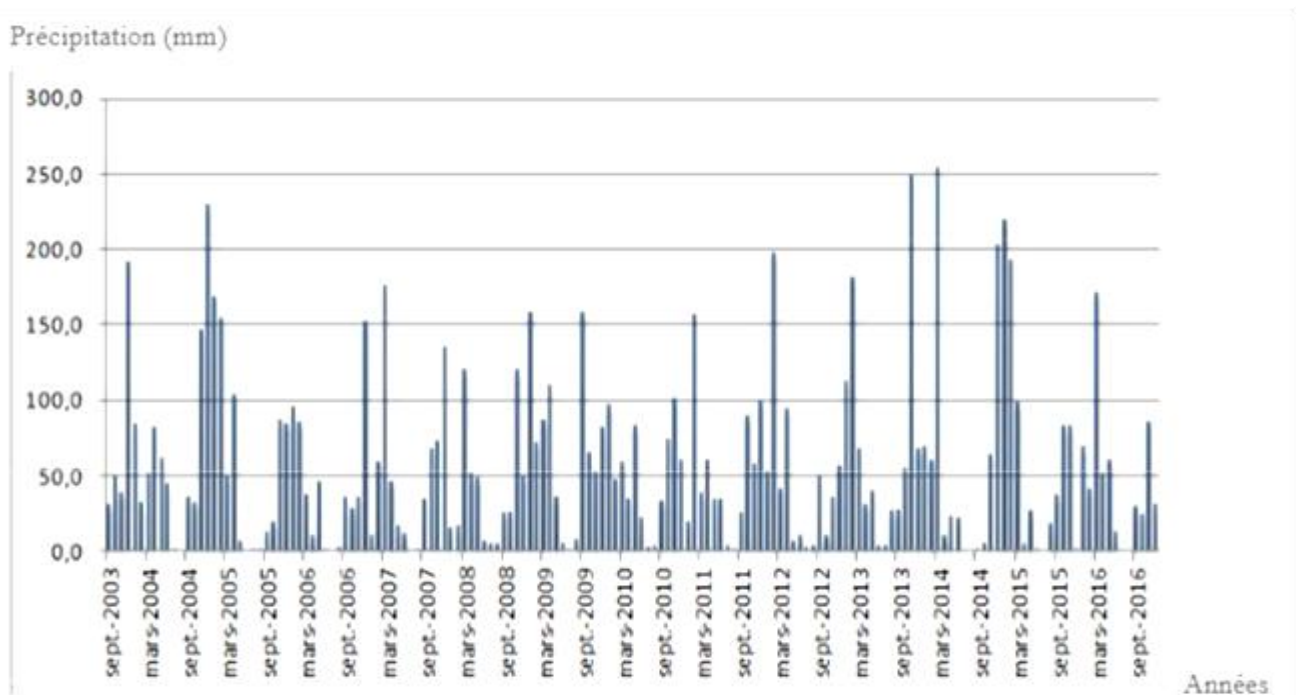
Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
Température °C	22.60	18.82	14.80	11.70	10.89	11.35	12.30	14.40	17.70	21.10	24.10	24.74

### II.2.2.2 La précipitation

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères. La région d'étude est considérée parmi les régions les plus arrosées. Elles sont relativement importantes, variables et irrégulières d'une année à une autre.



**Figure II.2 :** Variations interannuelles des précipitations 2003-2016 station de Beni Haroun (Donné ANBT).



**Figure II.3 :** L'évaporation ou niveau de barrage Beni Haroun (2003-2016) (Donné ANBT).

### II.2.2.3 L'humidité et le vent

L'humidité est plus élevée de l'année, s'étalent de juin jusqu'à septembre qu'en été, le

taux d'humidité moyen au cours de l'année est de 70%.

Le vent est un facteur important du climat, il influe sur la température, l'humidité et l'évaporation. La direction, la fréquence et la vitesse des vents sont variables au cours de l'année. En générale, la connaissance de la vitesse et de la direction des vents est primordiale pour la mise en place d'un ouvrage quelconque. Les vents dominants dans la région sont ceux du Nord-Ouest avec une vitesse assez constante au cours de l'année, entre 1.9 et 2.5 m/s.

#### II.2.2.4 Pluviométrie

La moyenne annuelle des précipitations ne reflète nullement la réalité .Des années très sèches peuvent succéder à des données exceptionnellement pluvieuse.

Comme nous le montre le tableau ci-dessous, la variation des quantités annuelles de pluie à précipitation atteint son maximum de 603.10 mm en 2002.Elle eau un deuxième de 543.2 mm en 1991 avec deux années sèches : 213 mm en 1996, et 219.40 mm en 2000. [29]

**Tableau II.2** :Répartition annuelle des précipitations (mm). (1981-2008)

<b>Années</b>	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
<b>Quantités</b>	498.20	<b>543.20</b>	358.80	277.90	449.40	503.10	<b>213.00</b>	407.10	394.70	306.60	<b>219.40</b>	262.10
<b>Années</b>	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
<b>Quantités</b>	<b>603.10</b>	541.50	391.10	368.21	310.80	297.70	464.05	429.00	410.10	356.86	433.70	

#### II.2.3 Caractéristiques hydrographiques du bassin [30,31]

Le milieu physique dans lequel évolue le cycle hydrologique varie d'un bassin à l'autre en fonction d'un certain nombre de paramètres physiques, morphologiques et géométriques qui interviennent, et souvent de façon combinée, dans les modalités de l'écoulement fluvial. L'analyse de ces paramètres permet une meilleure compréhension des causes de variation des régimes hydrauliques d'un bassin. Le bassin de Kèbir-Rhumel se compose de Sept 7 sous bassins dont les limites correspondent à celles des unités hydrologiques contrôlées par des stations hydrométriques, c'est pourquoi l'étude des caractéristiques physique se fait pour chaque partie contrôlée par les stations de jaugeage.

##### II.2.3.1 Caractéristiques morpho-métriques [27].

Les paramètres morphologiques d'un bassin versant (forme, altitudes, pente, relief, etc.) jouent un rôle essentiel dans son comportement hydrologique. Ils ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée qu'il convient de préciser autant que possible, dès le début de toute

étude. La forme des bassins versant qui peut être traduite par l'indice de compacité de Gravelius a également une influence certaine sur l'écoulement. Les différentes grandeurs déterminantes de la forme d'un bassin versant sont les suivantes :

### II.2.3.2 Caractéristiques de forme [27].

La forme du bassin versant est la configuration géométrique telle qu'elle est projetée sur un plan horizontal. Elle influence directement le temps de réponse du bassin, c'est à dire sur le temps de parcours des eaux à travers le réseau de drainage et par conséquent sur l'hydrogramme de crue.

#### II.2.3.2.1. Indice de compacité ou indice de Gravelius

Il est défini par la relation II.1 :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi \cdot A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \dots \dots \dots (II.1)$$

Avec :

**P**: Périmètre du bassin en Km

**S**: Surface du bassin en Km<sup>2</sup>

Si ;  $K_G = 1$  : Le BV est de forme circulaire.

Si ;  $K_G = 1,12$  : le BV est un carré.

Si ;  $K_G < 1$  : le bassin est de forme compacte ou arrondie.

Si ;  $K_G > 1$  : le bassin est de forme allongée.

#### II.2.3.2.2. Elancement « $R_e$ » [27].

Ce rayon de circulation entre la superficie du bassin et celle du cercle dont la circonférence est égal au périmètre du bassin, soit:

$$R_e = \frac{\alpha P A}{P^2} = 12.56 \frac{A}{P^2} \dots \dots \dots (II.2)$$

Sa valeur est 1 pour un bassin circulaire et de 0.78 pour un bassin carré.

#### II.2.3.2.3. Rectangle équivalent [27].

Il est défini par sa longueur "L" et sa largeur "l" et par la même surface du bassin versant "S".

Les dimensions de ce rectangle sont données par les formules suivantes :

$$\text{Longueur : } L_R = \frac{K_G \sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \dots\dots\dots(\text{II.3})$$

$$\text{Largeur : } l_R = \frac{K_G \sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \dots\dots\dots(\text{II.4})$$

#### II.2.3.2.4. Caractéristiques du relief [27].

La région fait partie de l'Atlas tellien. Le relief est constitué de plaines et de vallées fertiles irriguées par des cours d'eaux, de collines à pentes régulières, de montagnes (Djebel Elgrar 1078 m, Djebel Bouaslouge 879 m etc..).

##### ➤ Hypsométrie des bassins

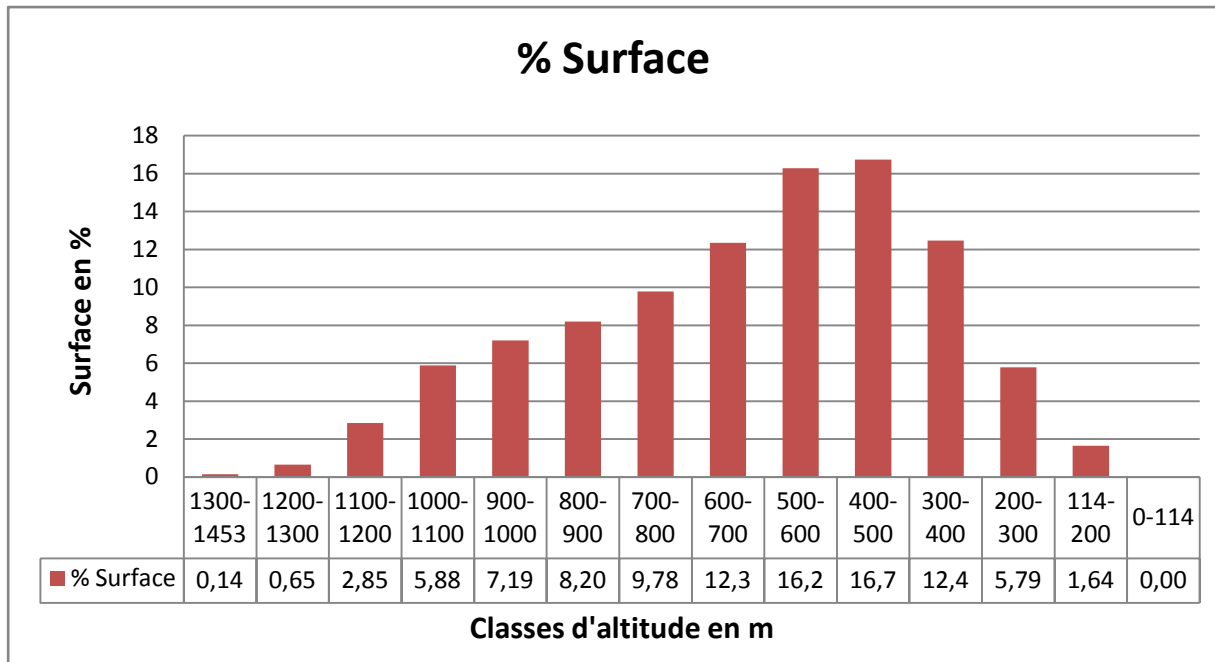
La variation d'altitude à l'intérieur d'un bassin ainsi que l'altitude moyenne sont des données essentielles aux études de la température et des précipitations.

La description détaillée de l'élévation d'un bassin est donnée par les courbes hypsométriques, et à partir de celles –ci, nous pouvons déterminer les caractéristiques de relief, à savoir :

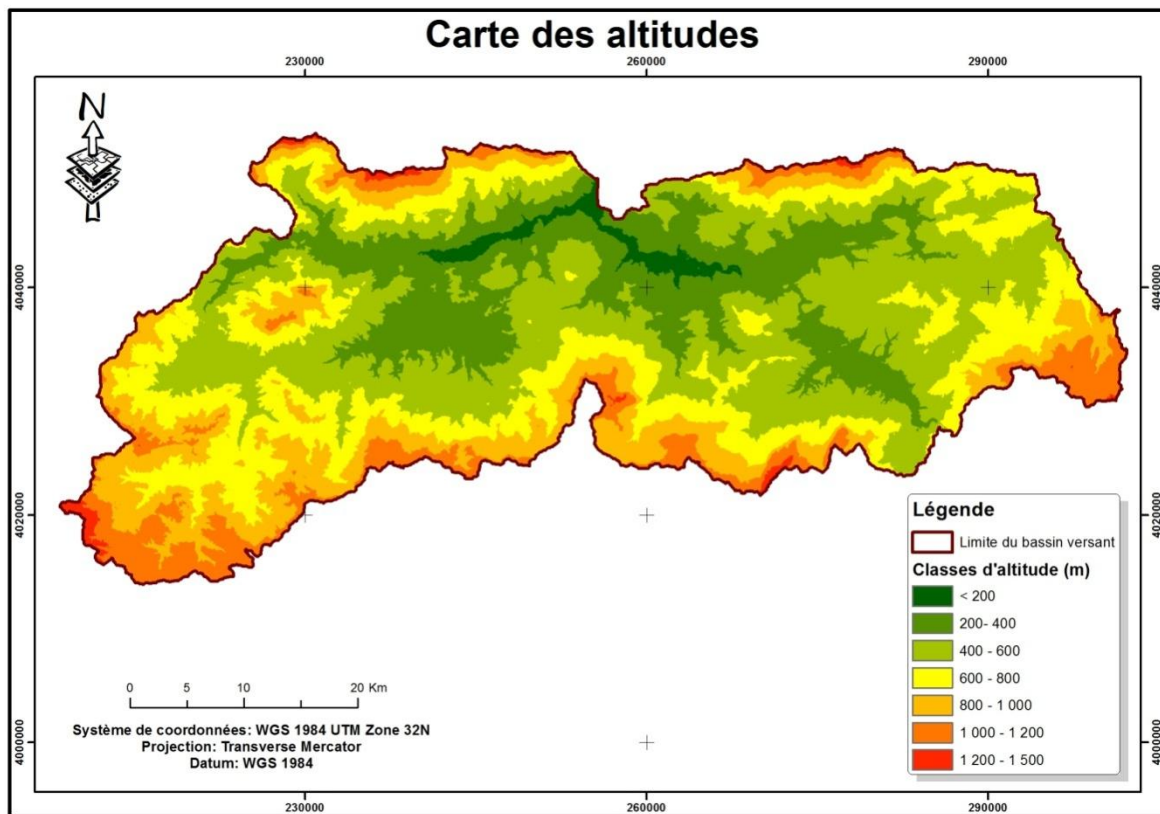
- L'altitude maximale( $H_{\max}$ ).
- L'altitude minimale( $H_{\min}$ ).
- L'altitude médiane correspond à 50% de la surface
- L'altitude moyenne( $H_{\text{moy}}$ ).
- L'altitude correspond à 5% de la surface
- L'altitude correspond à 95% de la surface
- La dénivelée

#### II.2.4. La carte d'altitudes

La carte d'altitudes est obtenue suite au traitement effectué en utilisant la carte MNT téléchargées gratuitement à partir du site <http://glovis.usgs.gov/> de l'USGS.



**Figure II.4 :** La répartition des classes d'altitude en fonction de surface

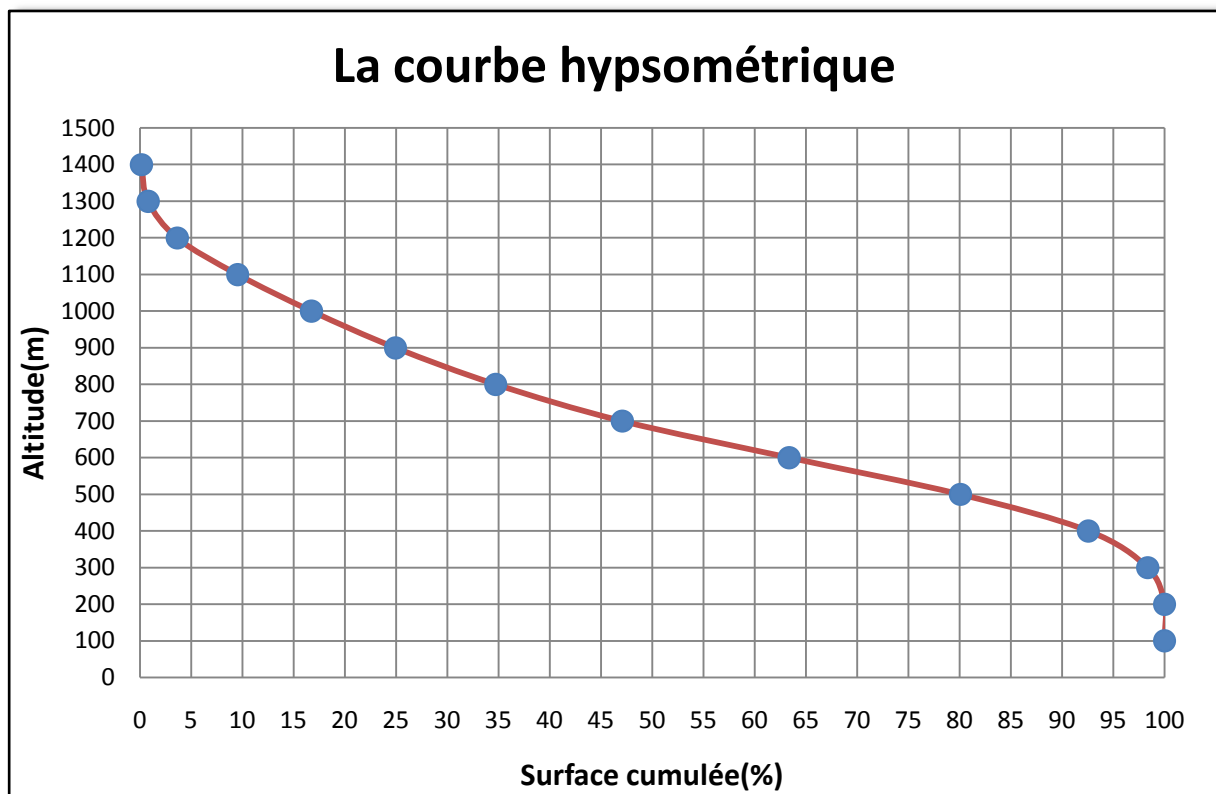


**Figure II.5 :** Carte d'altitude du bassin versant du barrage de Béni Haroun

Pour estimer ces paramètres on doit présenter la répartition hypsométrique après planimétrie des aires partielles comprises entre les courbes de niveau maîtresses et les différentes cotes.

**Tableau II.3** : Création d'une carte hypsométrique (Altitude)

classes	Altitudes (m)	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)	surface cumulée (%)
1	1300-1453	3,20	0,146	0,146
2	1200-1300	14,407	0,657	0,803
3	1100-1200	62,513	2,851	3,654
4	1000-1100	128,927	5,881	9,535
5	900-1000	157,79	7,198	16,733
6	800-900	179,893	8,205	24,938
7	700-800	214,423	9,78	34,718
8	600-700	270,903	12,356	47,074
9	500-600	356,972	16,282	63,356
10	400-500	366,736	16,728	80,084
11	300-400	273,497	12,475	92,559
12	200-300	127,0378	5,794	98,353
13	114-200	36,1036	1,646	99,999
14	0-114	0,00082	0,001	100
Total		<b>2192,41</b>	100.00	

**Figure II. 6** : La Courbe hypsométrique du bassin versant

### II.2.5. La carte des pentes

A partir du modèle numérique de terrain on a déduit la carte des pentes. En tenant compte de l'effet de la pente, le bassin versant de montre une forte susceptibilité à l'érosion. En effet, est assez contrasté avec des différentes pentes (fortes et moyennes).

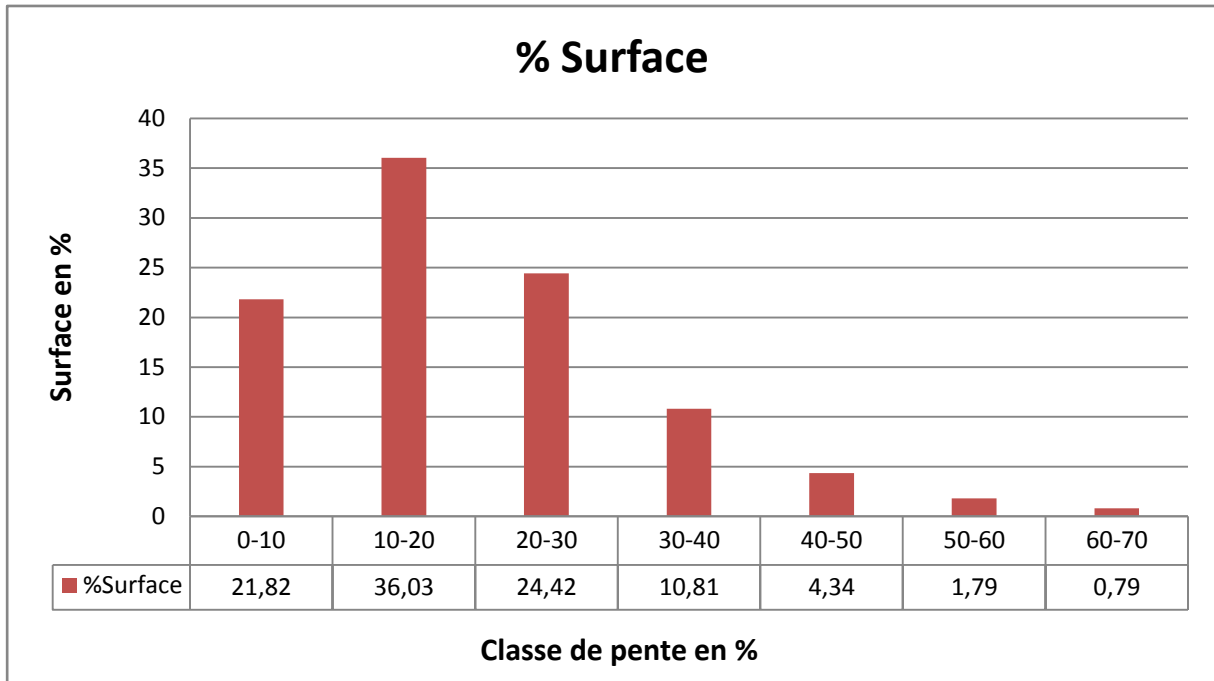


Figure II.7 : La répartition des classes de pentes en fonction de surface

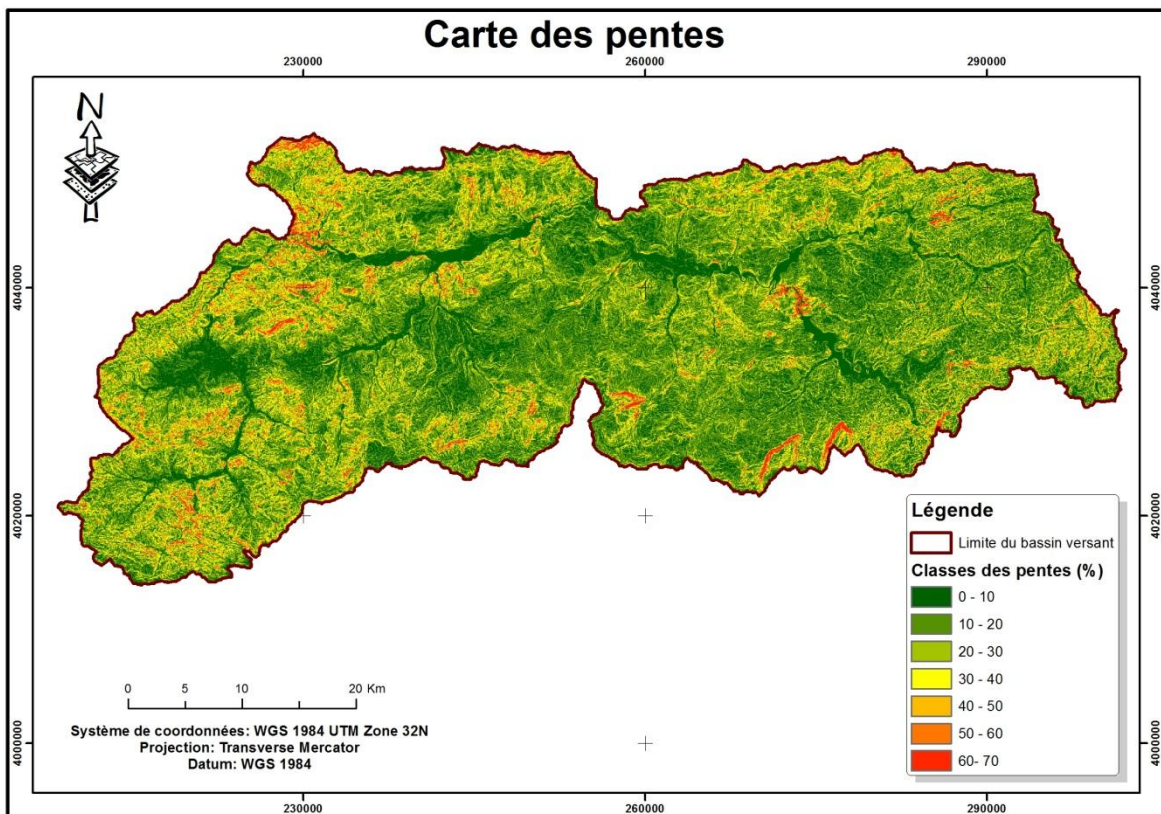


Figure II.8 : Carte des pentes du bassin versant du barrage de Ben Haroun

### \* Dénivelée simple

On définit comme étant la différence de cote entre  $H_{5\%}$  et  $H_{95\%}$

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \dots \dots \dots (II.5)$$

### \* Altitude moyenne de BV

$$H_{Moy} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i H_i}{A} \dots \dots \dots (II-6)$$

Avec :

$H_{moy}$  : altitude moyenne du bassin (m).

$S_i$  : Surface comprise entre deux courbes de niveaux  $i$  et  $i+1$  ( $Km^2$ ).

$H_i$  : Altitude entre ces deux courbes de niveaux (m).

$A$  : Surface totale du bassin versant en  $Km^2$ .

### \* Indice de pente

Selon Dubreuil (1974), le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant pour permettre des comparaisons et des classifications entre bassins. Ils sont déterminés à partir de la connaissance des courbes hypsométriques.

### \* Indice de pente de roche $I_p$

Il permet de déterminer la pente moyenne avec les données réelles du bassin versant, il est calculé par l'expression 2.8 :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{S_i (H_i - H_{i-1})} \dots \dots \dots (II.7)$$

Avec :

$I_p$  : indice de pente de roche en %.

$H_i$  : fraction de surface comprise entre l'altitude  $a_i$  et  $a_{i+1}$  ( $a_i, a_{i+1}$ ) altitude des courbes de niveau du bassin (m).

$L$  : longueur du rectangle équivalent en Km.

$H_{i+1}, H_i$  : Côtes de ligne de niveaux du bassin en m.

### \* Dénivelée brute

On définit comme étant la différence de cote entre  $H_{max}$  et  $H_{min}$  :  $D_b = H_{max} - H_{min}$

### \* Indice de pente globale $I_g$

Il est utilisé pour la classification des bassins versants, cet indice est déterminé par la formule :

$$I_g = \frac{D}{L_R} \text{ en } \% \dots\dots\dots (II.8)$$

Avec :

**D** : Dénivelée en m.

**L<sub>R</sub>** : Longueur du rectangle équivalent en Km.

**Tableau II.4 : Classification ORSTOM du relief à partir de l'indice de pente global  $I_g$ .**

Relief	Valeur de $I_g$
Très faible	$I_g < 0.002$
Faible	$0.002 > I_g > 0.005$
Assez faible	$0.005 > I_g > 0.01$
Modéré	$0.01 > I_g > 0.02$
Assez Modéré	$0.02 > I_g > 0.05$
Fort	$0.05 > I_g > 0.1$
Très fort	$0.1 < I_g$

### \* Pente moyenne d'un bassin versant $I_m$

La pente moyenne d'un bassin versant peut se calculer par l'expression suivant :

$$I_m = \frac{H(0,5L_1 + L_2 + L_3 + \dots + 0,5L_n)}{S} \dots\dots\dots (II.9)$$

Avec :  **$I_m$**  : pente moyenne du bassin en (%).

**H** : hauteur entre deux courbes de niveaux consécutives (m).

**I** : longueur de la courbe de niveau en (Km).

**S** : superficie du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

**L** : longueur du rectangle équivalent en (Km).

## II.3 Paramètres du réseau hydrographique [31]

### II.3.1. Densité de drainage DD

C'est le rapport de la longueur totale des talwegs à la surface du bassin versant, elle est exprimée en Km/Km<sup>2</sup>, soit :

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S} \dots\dots\dots (II.10)$$

Avec :  $\sum_{i=1}^n l_i$  : Longueur totale cumulée des talwegs (km).

**S** : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

### II.3.2 Coefficient de torrentialité (C<sub>t</sub>)

$$C_t = F_t \cdot D_d \dots \dots \dots (II.11)$$

Avec :

**F<sub>t</sub>** : Fréquence des talwegs élémentaires :  $F_t = \frac{N}{S}$

**N** : Nombre des talwegs d'ordre 1.

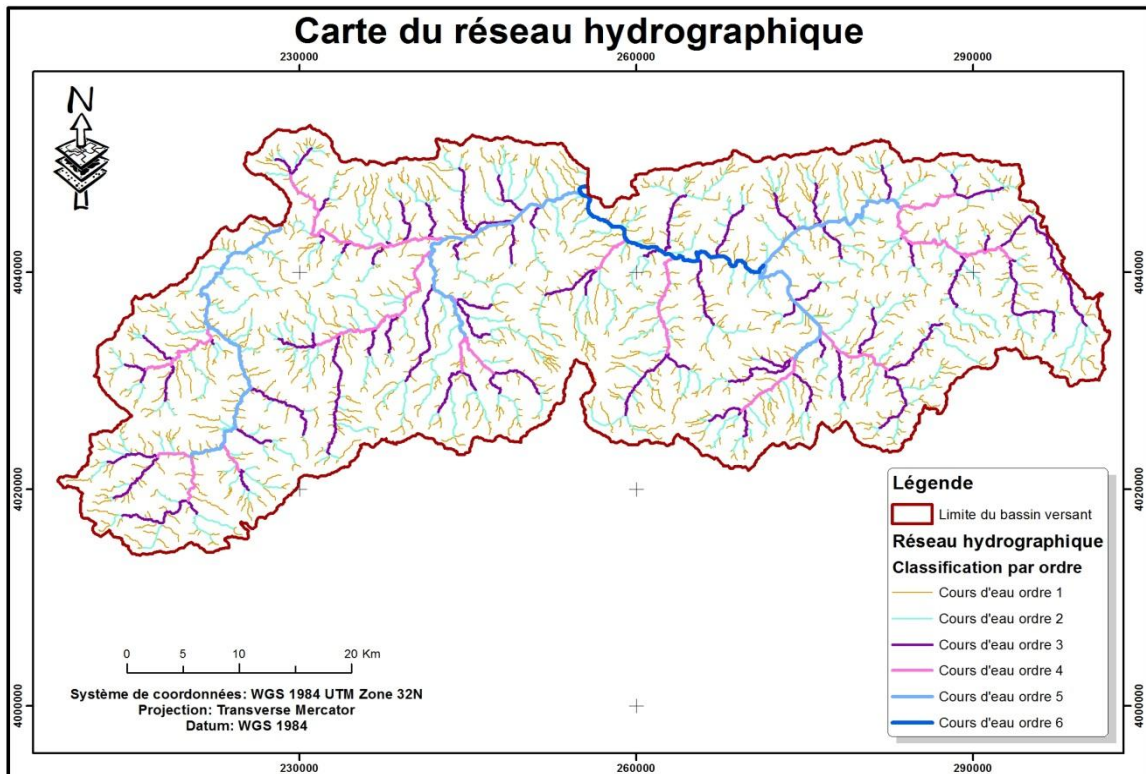
### II.3.3 Dénivelée spécifique D<sub>s</sub>

L'indice « I<sub>g</sub> » décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes. La dénivelée spécifique « D<sub>s</sub> » permet d'utiliser la classification de l'O.R.S.T.O.M. qui permet définir les différents types de relief des bassins versants quelque soient leurs superficies. La dénivelée spécifique est donnée par la formule suivante :

$$D_s = I_g * \sqrt{S_{bv}} \dots \dots \dots (II.12)$$

**Tableau II .5** : Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M.

R1	D <sub>s</sub> < 10 m	Relief très faible
R2	10 m < D <sub>s</sub> < 25 m	Relief faible
R3	25 m < D <sub>s</sub> < 50 m	Relief assez faible
R4	50 m < D <sub>s</sub> < 100 m	Relief modéré
R5	100 m < D <sub>s</sub> < 250 m	Relief assez faible
R6	250 m < D <sub>s</sub> < 500 m	Relief fort
R7	500 m < D <sub>s</sub>	Relief très fort



**Figure II.9 :** Réseau hydrographique du bassin versant du barrage de Ben Haroun

Tous les résultats de calcul sont résumés dans le tableau II.6

**Tableau II.6 :** Caractéristiques géométriques et hydromorphométriques du bassin

Paramètres	Symbole	Unité	Valeur
Superficie	A	Km <sup>2</sup>	2192,41
Périmètre	P	Km	323,88
Indice de compacité	K <sub>G</sub>	/	1,93
Longueur du rectangle équivalent	L <sub>R</sub>	Km	146,39
Largeur du rectangle équivalent	l <sub>R</sub>	Km	15,00
Indice de pente global	I <sub>g</sub>	%	5,51
Dénivelée spécifique	D <sub>s</sub>	m	257,99
Indice de pente de Roche	I <sub>p</sub>	%	5,28
Altitude moyenne	H <sub>moy</sub>	m	770,59
Altitude maximale	H <sub>max</sub>	m	1453
Altitude minimale	H <sub>min</sub>	m	114
Altitude à 5%	H <sub>5%</sub>	m	1176
Altitude à 95%	H <sub>95%</sub>	m	368
Pente moyenne	I <sub>moy</sub>	m/m	32.21
Temps de concentration	t <sub>c</sub>	Heures	13,2
Densité de drainage totale	D <sub>d</sub>	Km/ Km <sup>2</sup>	1,15
Coefficient de torrentialité	C <sub>t</sub>	/	0,77
Longueur de cours d'eau principale	LPC	Km	52,83
Longueur des thalwegs totales	LPT	Km	2536,75
Nombre de thalwegs Ordre 1	∑L1	Km	1474
Classification de Horton	Ordre	/	6

#### II.4. Caractéristiques du barrage de Beni Haroun

Le barrage Béni Haroun est considéré comme l'un des plus grand complexe hydraulique, il est conçu en béton, il est situé en aval de la confluence de Oued Rhumel et Oued Endja au nord de la région de Grarem Gouga, wilaya de Mila et à une quarantaine de Kilomètres au nord de Constantine et une distance équivalente par rapport à l'embouchure de Oued Kébir (wilaya de Jijel). Sa mise en eau a commencé en Août 2003. Il permet d'emmagasiner 960 millions  $m^3$  d'eau, avec un volume utile de 732  $hm^3$ , entre les cotes 172 et 200 m. Le barrage .

Béni Haroun permet de régulariser un apport annuel d'eau de 435 millions de  $m^3$ . Le rapport entre la capacité de la retenue et sa surface donne une lame d'eau moyenne de 24 cm [32].

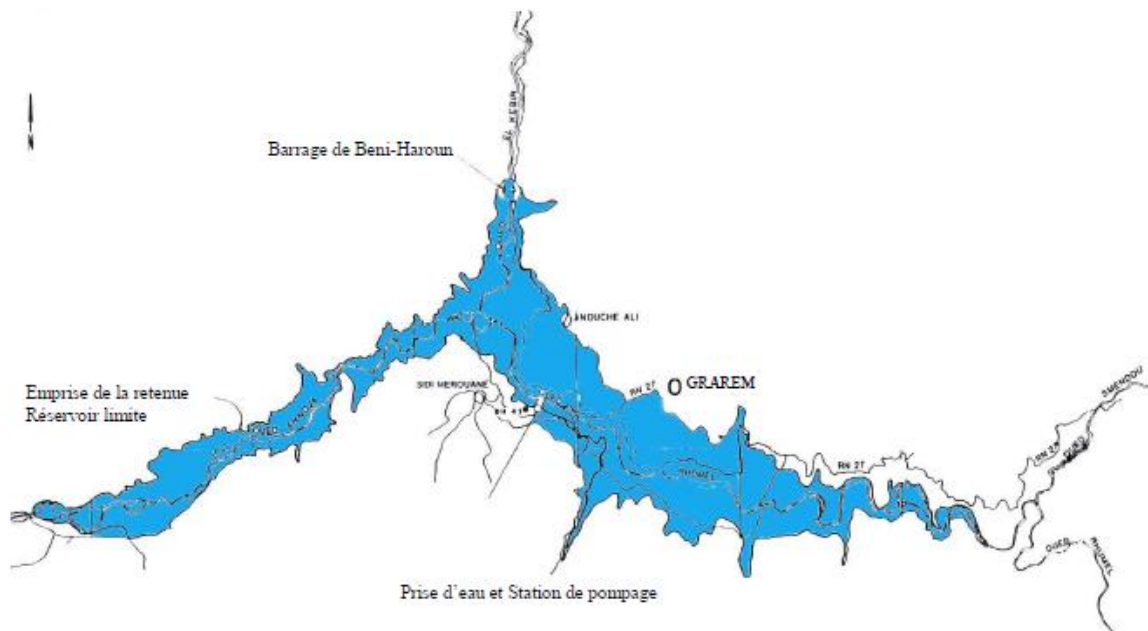
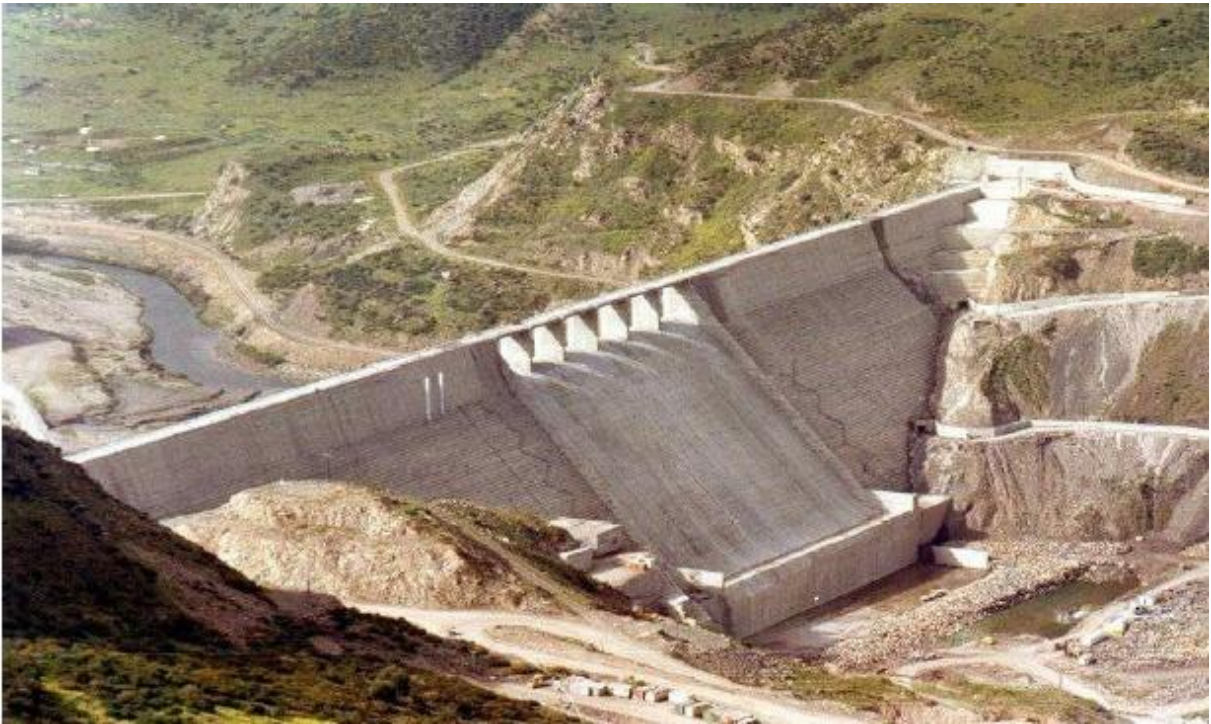


Figure II. 10. Retenue du barrage de Béni Haroun [33].

#### II.5. caractéristiques principales du barrage [33]

Le barrage est de type poids rectiligne en béton compacté au rouleau s'appuyant sur une fondation rocheuse calcaire. Le niveau de retenue normale (RN) qui est aussi la crête de l'évacuateur à seuil libre est à la cote 200m. Il y correspond un ouvrage d'une hauteur maximale sur fondation de 118m et une longueur en crête de 710m. (Voir Figure 11)



**Figure II.11.** Vue du barrage de Béni Haroun (ANBT, 2002)

La conception du barrage et des es ouvrages annexes a été dictée par les ouci:

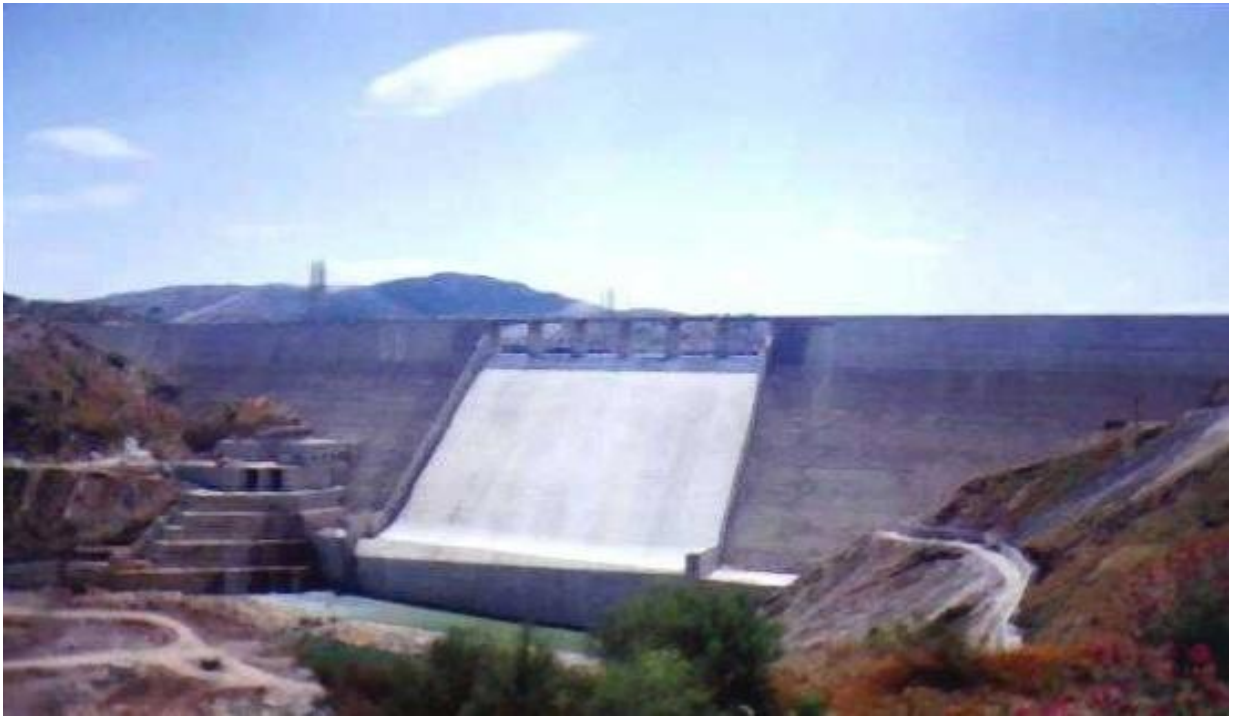
- ✓ De minimiser les quantités de béton conventionnel
- ✓ De garantir une bonne continuité du chantier BCR
- ✓ De concentrer les ouvrages nécessitant l'usage d'un béton

traditionnel .Le profil de base du barrage est un triangle qui a les caractéristiques ci-dessous:

- Sommet à la cote 214,80 m niveau maximum de crue(P.H.E)
- Parement amont vertical
- Parement aval incliné à 0.8 H pour 1V

La section non déversant posse de une crête d'une largeur de 8 m arasée à la cote 216,30 m ce qui laisse une revanchede1, 5m au-dessous des plus hautes eaux.

L'évacuateur de surface, de type section change de pente au-dessous de la cote196m, ce qui renforce la résistance aux séismes et permet l'installation d'une voie de circulation (figure03)



## II.6. Caractéristiques principales de l'aménagement

Les différentes caractéristiques principales de l'aménagement de Beni-Haroun ont été présentées dans le tableau suivant.

**Tableau II.7. Caractéristiques principales de l'aménagement**

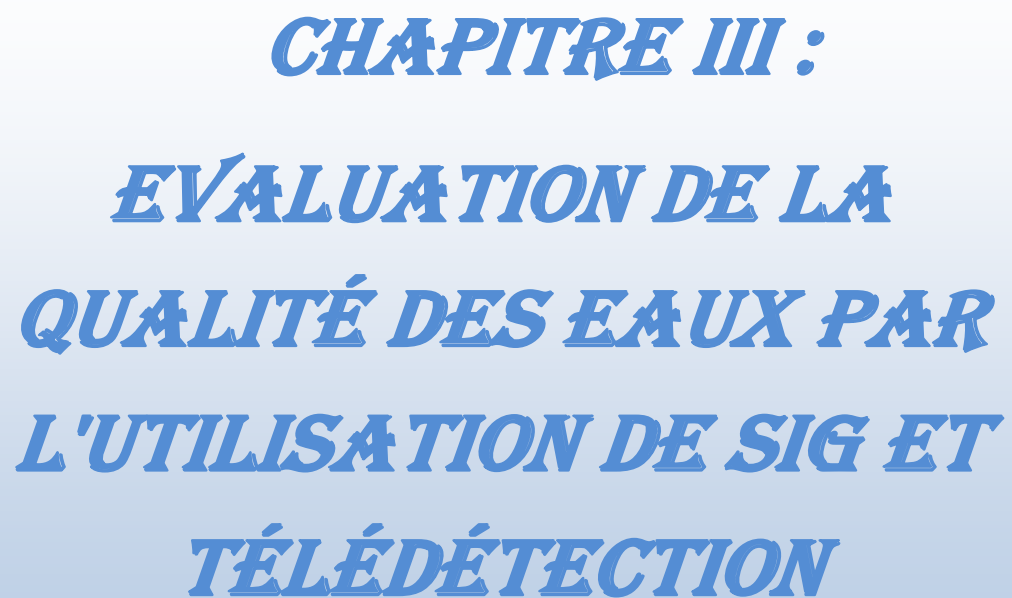
Retenue du barrage	
Niveau normal (RN)	200,00m
Niveau des plus hautes eaux (PHE)	214,00m
Niveau minimum d'exploitation	172,00m
Volume de la tranche morte (110-173)	24010 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume utile(172-200)	72310 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume total(110-200)	96310 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

<b><u>Barrage</u> Type : Barrage poids en béton compacté au rouleau (BCR)</b>	
Hauteur maximale :	
- au dessus du terrain naturel	107 m
- au dessus des fondations	118 m
Longueur en crête	710 m
Largeur en crête	8 m
Largeur maximale au niveau des fondations	93 m
Fruit du parement amont	Vertical

### **Conclusion :**

L'étude des différentes caractéristiques du sous bassin nous avons pu tirer les synthèses suivantes :

- Un climat n'est pas uniforme, car nous avons pu distinguer trois types de climat : climat littoral tempéré, climat de l'Atlas Tellien et climat des hautes plaines.
- Un réseau hydrographique très développé (ordre 6). Oued principale et leurs affluents constituent son squelette hydrographique.
- Une altitude maximum est de 1453 m au pic et un temps de concentration de 13.2 heures.



***CHAPITRE III :***  
***ÉVALUATION DE LA***  
***QUALITÉ DES EAUX PAR***  
***L'UTILISATION DE SIG ET***  
***TÉLÉDÉTECTION***

## Chapitre III . Evaluation de la qualité des eaux superficielles par SIG et télédétection

### III.1. Système d'information géographique

#### III.1.1. Définitions et concepts associés

Un système d'information géographique ou SIG (en anglais, géographique information system ou GIS) est un système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques. L'acronyme SIG est parfois utilisé pour définir les « sciences de l'information géographique » ou « études sur l'information géospatiale ». Cela se réfère aux carrières ou aux métiers qui impliquent l'usage de systèmes d'information géographique et, dans une plus large mesure, qui concernent les disciplines de la géo-informatique (ou géomatique). Ce que l'on peut observer au-delà du simple concept de SIG a trait aux données de l'infrastructure spatiale.

Dans un sens plus général, le terme de SIG décrit un système d'information qui intègre, stocke, analyse et affiche l'information géographique. Les applications liées aux SIG sont des outils qui permettent aux utilisateurs de créer des requêtes interactives, d'analyser l'information spatiale, de modifier et d'éditer des données par l'entremise de cartes et d'y répondre cartographiquement. La science de l'information géographique est la science qui sous-tend les applications, les concepts et les systèmes géographiques.

Le SIG est un terme général qui se réfère à un certain nombre de technologies, de processus et de méthodes. Celles-ci sont étroitement liées à l'aménagement du territoire, la gestion des infrastructures et réseaux, le transport et la logistique, l'assurance, les télécommunications, l'ingénierie, la planification, l'éducation et la recherche, etc. C'est pour cette raison que les SIG sont à l'origine de nombreux services de géolocalisation basés sur l'analyse des données et leur visualisation.

Les SIG permettent également une mise en relation de données qui peuvent, sur le papier, sembler très éloignées. Quelle que soit la façon d'identifier et de représenter les objets et événements qui illustrent notre environnement (coordonnées, latitude & longitude, adresse, altitude, temps, médias sociaux, etc.), les SIG permettent de réunir toutes ces dimensions autour d'un même référentiel, véritable colonne vertébrale du système d'information.

Cette caractéristique clé du SIG permet d'imaginer de nouvelles applications et de nouveaux débouchés en matière de recherche scientifique. [34]

### III.1.2. Objectifs des SIG

- ✓ Les SIG se caractérisent par les objectifs suivants :
- ✓ La capacité de traitement de grosses quantités hétérogènes de points géo localisés;
- ✓ La possibilité de tri et d'accès à des données en fonction de leur existence, position, attributs parmi un grand nombre d'objets géo localisés par l'intermédiaire de requêtes ;
- ✓ La capacité d'interactivité de ces requêtes ;
- ✓ La flexibilité : concevoir l'accès concurrent de plusieurs utilisateurs sur des mêmes données et à des niveaux différents ;
- ✓ La capacité du système à tenir compte des requêtes et règles antérieures pour le traitement de données ultérieures. [35]

### III.1.3. SIG et gestion intégrée de la qualité de l'eau (GIRE)

#### III.1.3.1. Définition de La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE)

Plusieurs définitions ont été données à la GIRE. Pour le Partenariat Mondial de l'Eau (2000), la GIRE est un processus qui encourage la mise en valeur et la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources associées en vue de maximiser de manière équitable le bien-être économique et social qui en résulte d'une manière équitable, sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux (GWP).

Quand à Hofwegen et Jaspers (1999) c'est un processus d'attribution de fonctions à des systèmes d'eau d'établissement de normes, de mise en vigueur (surveillance) et la gestion. Elle comprend la collecte de données, l'analyse de processus physiques et socioéconomiques, la considération des différents intérêts et la prise de décisions par rapport à la disponibilité, l'exploitation et l'usage des ressources en eau.

La GIRE est aussi une question de planification et de gestion coordonnées des terres, de l'eau et d'autres ressources naturelles en vue de leur utilisation équitable, efficace et durable.

Enfin, la GIRE, selon le RIOB (atelier de mars 2000) serait « un outil visant à utiliser durablement l'eau pour répondre aux différents besoins, en permettant à la fois :

- De lutter contre les catastrophes naturelles et les risques d'érosion, d'inondation ou de sécheresse, en prenant en compte gestion de l'eau et de l'espace;
- De satisfaire de façon fiable les besoins des populations urbaines et rurales en eau potable de qualité, afin d'améliorer l'hygiène et la santé, et de prévenir les

grandes épidémies;

- D'assurer la suffisance agroalimentaire par l'assainissement des terres agricoles et l'irrigation appropriée;

- De développer de manière harmonieuse l'industrie, la production énergétique, la pratique des loisirs et les transports par voie d'eau;

-De prévenir et de combattre les pollutions de toutes origines et de toutes natures, afin de préserver les écosystèmes aquatiques, notamment en vue de protéger la faune et d'optimiser la production piscicole pour l'alimentation, de satisfaire les besoins des différents usages et de façon plus générale préserver la biodiversité des milieux aquatiques. » (Concept GIRE, cours 2007) [35]

### **III.1.3.2.Relation entre la GIRE et les SIG**

#### **III.1.3.2.1.SIG, un outil d'aide à la décision**

L'élaboration d'une politique de gestion des ressources naturelles, les mesures à prendre pour la prévention de catastrophes ou pour l'atténuation de leurs effets ou même pour assurer une eau de qualité et en quantité à la population, suppose que l'on dispose de toutes les informations nécessaires à la prise de décision. Les décideurs ont besoin, quelque soit leurs niveau de compétence d'un outil pouvant les aider dans leur prise de décision. Dans cette partie de notre étude, nous allons proposer et analyser des cas d'étude qui mettent en évidence le caractère outil d'aide à la décision des Système d'Information Géographique. [36]

## **III.2.Télédétection**

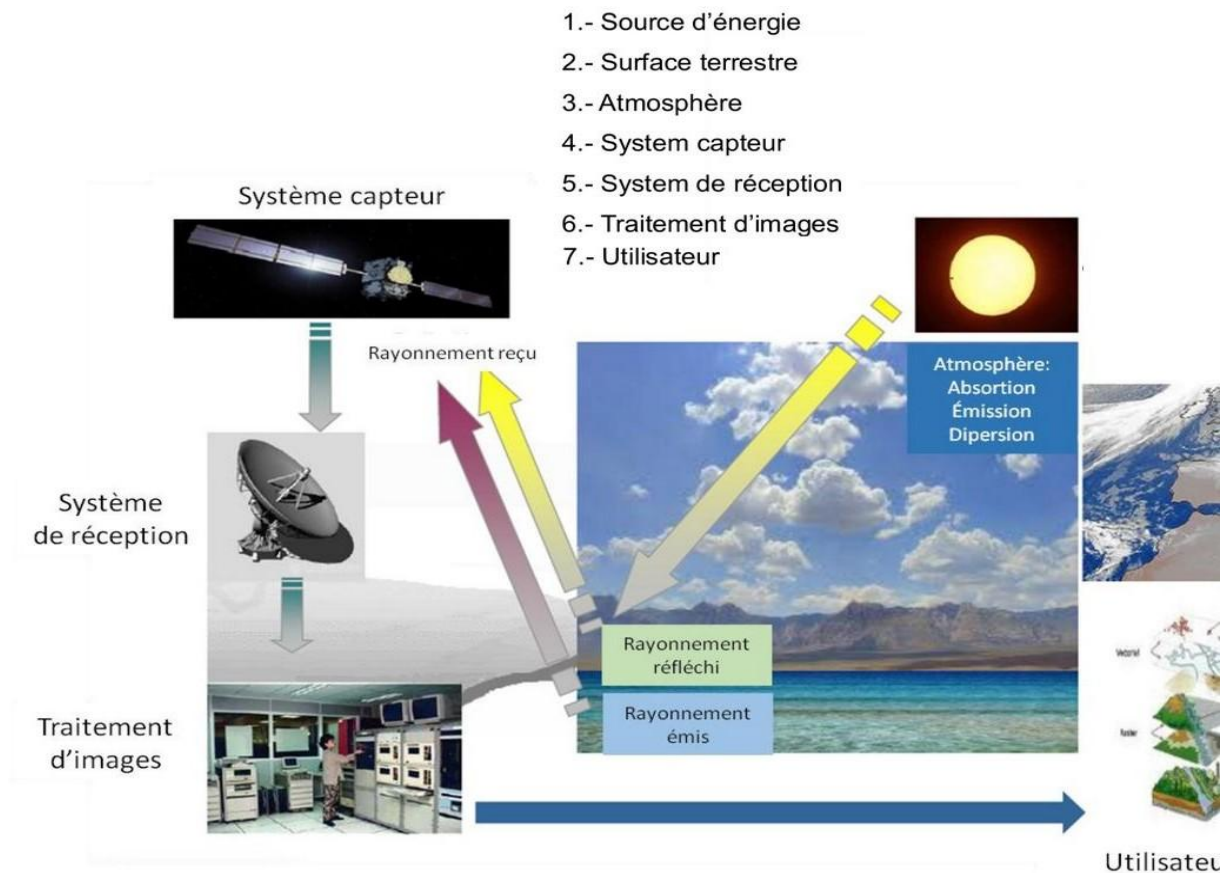
### **III.2.1.Définition**

1. La télédétection (détection à distance, Remote Sensing (RS) en anglais) désigne, dans son acception la plus large, la mesure ou l'acquisition d'informations sur un objet ou un phénomène, par l'intermédiaire d'un instrument de mesure n'ayant pas de contact avec l'objet étudié (Figure 1). [37]

2. « Remote sensing is the practice of deriving information about the Earth's land and water surfaces using images acquired from an overhead perspective, using electromagnetic radiation in one or more regions of the electromagnetic spectrum, reflected or emitted from the Earth's surface. »

Traduction globale : « La télédétection est la pratique d'acquisition d'informations sur les surfaces terrestres et aquatiques de la Terre à l'aide d'images acquises de haut (avion, satellite ) , en utilisant le rayonnement électromagnétique dans une ou plusieurs régions du spectre

électromagnétique, réfléchi ou émis à partir de la surface de la Terre. ». C'est l'utilisation à distance (par exemple, d'un avion, d'un engin spatial, d'un satellite ou encore d'un bateau) de n'importe quel type d'instrument permettant l'acquisition d'informations sur l'environnement. On fait souvent appel à des instruments tels qu'appareils photographiques, lasers, radars, sonars, sismographes ou gravimètres.



**Figure III.1. Principe de la télédétection spatiale [38]**

L'on distingue en général les moyens de télédétection « **actif** » et « **passif** »  
 Si les ondes électromagnétiques mises en jeu dans le processus sont émises par un capteur (exemple : un radar) puis recueillies par ce même capteur après interaction avec la zone terrestre observée, on parle de télédétection active. Si le capteur (exemple : un radiomètre) recueille directement la lumière visible ou infrarouge émise ou diffusée par la zone terrestre observée, on qualifie les ondes analysées d'ondes électromagnétiques naturelles et on parle de télédétection passive.

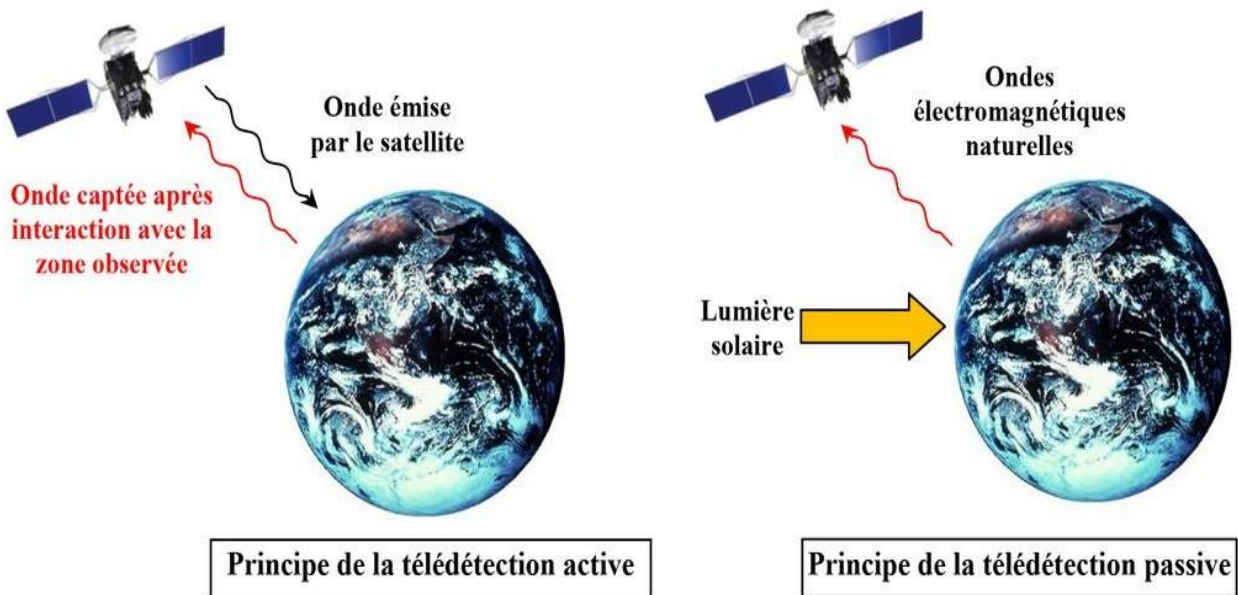


Figure.III.2 : Les principes de la télédétection

### III.2.2. Objectif fondamental de la télédétection

L'objectif fondamental de la télédétection est d'élargir la connaissance de notre environnement et faciliter l'interprétation des multiples processus qui affectent la planète" [40]

### III.3.Applications

Les exemples d'applications de la télédétection spatiale sont très nombreux :

- ✓ Les cartes topographiques sont souvent produites à l'aide de paires stéréographiques de photos aériennes permettant de recréer une image en trois dimensions.
- ✓ Les modèles numériques de terrain peuvent être produits par interférométrie, méthode consistant à enregistrer une série de mesures de la cible à partir d'un avion, d'un satellite ou d'une navette spatiale. La combinaison des données issues de ces mesures offre une carte détaillée contenant de l'information sur la couverture du sol, le relief ou encore le mouvement à une échelle centimétrique. Les données couvrent généralement des bandes de plusieurs kilomètres de largeur.
- ✓ Les précipitations, les aéronefs et les navires peuvent être détectés par radars.
- ✓ Les fonds marins sont cartographiés grâce à l'usage des sonars.
- ✓ Les précipitations, les aéronefs et les navires peuvent être détectés par radars.

Des inventaires forestiers (comptage d'arbres, évaluation de la biomasse ou de l'état de stress et de santé des arbres) utilisent de plus en plus l'imagerie aérienne, voire satellitaire (dont dans

l'infrarouge). Dans le cadre de la lutte contre la désertification (LCD), la télédétection facilite le suivi et la surveillance à long terme des zones à risques, la définition des facteurs de désertification, l'aide à la prise de mesures adéquates de gestion environnementale par les décideurs et l'évaluation de l'impact de ces mesures.

Dans l'atmosphère et les autres milieux diffus, les concentrations de gaz et de particules spécifiques, la densité, la température... peuvent être mesurée. [39]

### III.4. Caractéristiques des images [39]

Une image satellite est constituée de nombreux carrés appelés pixels. Chaque pixel est codé par un numéro de colonne et de ligne. Le pixel représente la plus petite unité figurant sur une image satellite. La taille mémoire de l'image = Nb colonnes x Nb lignes. Les pixels fournissent toute l'information qui constitue l'image dans son intégralité. Chaque pixel d'une image a une valeur. Cette valeur correspond à l'intensité du rayonnement réfléchi par l'objet observé dans la gamme de longueur d'ondes auxquelles le capteur est sensible.

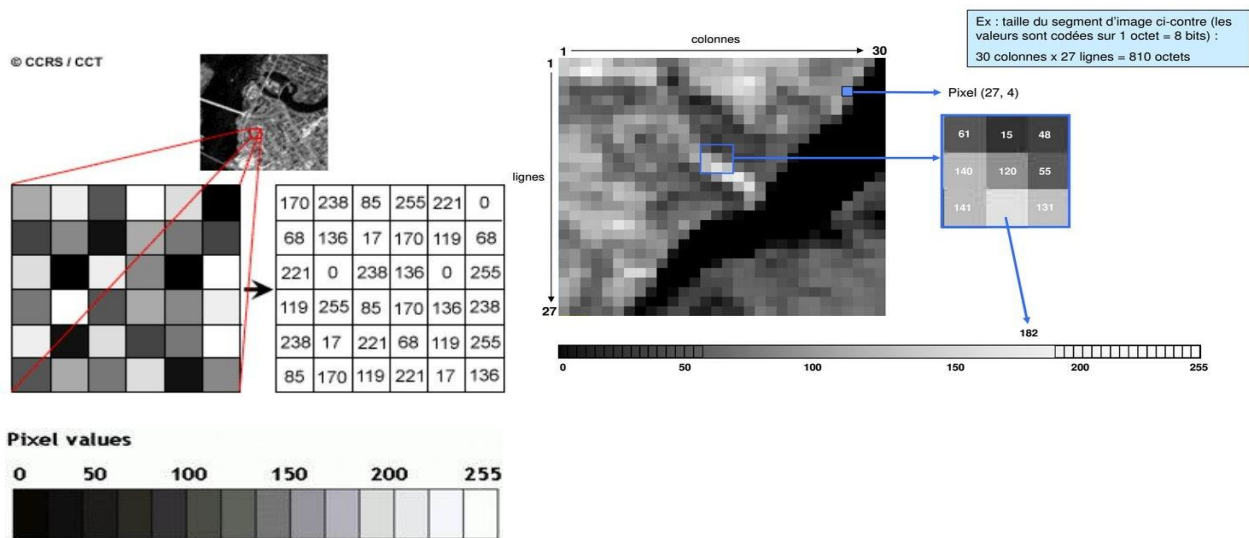


Figure III.3-caractéristiques des images satellitaires.

Tableau III.1. Combinaison des bandes

Bande	Longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )	Rayonnement Electromagnétique	Intérêts et applications
1	0.45 - 0.52	Visible (Bleu)	Cartographie des eaux côtières, différenciation du sol et de la végétation
2	0.52 - 0.60	Visible (Vert)	Estimation de la vigueur de la végétation
3	0.63 - 0.69	Visible (Rouge)	Zone d'absorption de la chlorophylle donnant l'état de différenciation de la végétation
4	0.76 - 0.90	Infrarouge proche	Surveillance de la Biomasse et délimitation de zones immergés
5	1.55 - 1.75	Infrarouge moyen	Mesures de l'humidité du sol et de la végétation; différenciation entre la neige et les nuages
6	10.40- 12.50	Infrarouge Thermique	Cartographie thermique, études de l'humidité du sol et mesures des contraintes engendrés par la chaleur sur les plantes
7	2.08 - 2.35	Infrarouge moyen	Cartographie hydrothermale
8	0.52 - 0.90 (panchromatique)	Visible (Vert et Rouge), Infrarouge proche	Cartographie de larges zones, évolution de l'urbanisation

#### III.4.1. La résolutions partiales

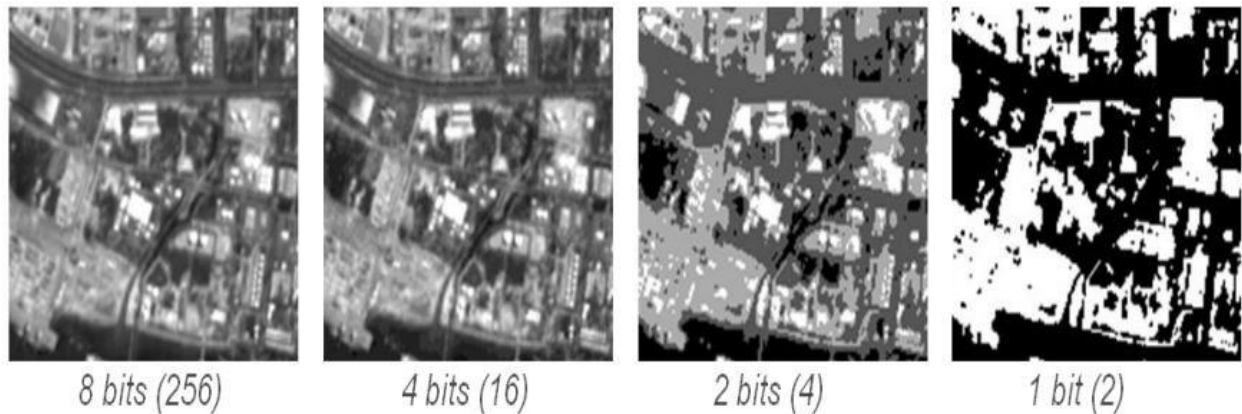
En télédétection, on ne parle pas d'échelle comme pour une photo aérienne, mais de résolution spatiale, qui donne la précision des images. La résolution d'une image est déterminée par la plus petite surface que le satellite peut détecter au sol, nommé un PIXEL. Cependant, plus on augmente la résolution, plus la superficie couverte par l'image est petite. Donc, ce qu'on gagne en précision, on le perd dans la vue d'ensemble.

#### III.4.2. La résolution spectrale

La résolution spectrale indique le nombre de bandes spectrales dans lesquelles le capteur peut capturer. Le nombre de bandes n'est pas le seul aspect important de la résolution spectrale. La position des bandes dans le spectre électromagnétique est un aspect clé.

#### III.4.3. La résolution Radiométrique

La résolution radiométrique d'un système de télédétection décrit sa capacité à reconnaître de petites différences dans l'énergie électromagnétique. Plus la résolution radiométrique d'un capteur est fine, plus le capteur est sensible à de petites différences dans l'intensité de l'énergie reçue.



**Figure III.4. Défiance de l'absorbance de l'énergie électromagnétique entre 1 et 8 bits**

Le nombre maximum de niveaux d'intensité disponibles dépend du nombre de bits utilisés. Par exemple, un capteur utilisant 8 bits pour enregistrer les données aura  $2^8 = 256$  niveaux d'intensité disponibles allant de 0 à 255. Si seulement 4 bits sont utilisés, alors seulement  $2^4 = 16$  valeurs allant de 0 à 15 seront disponibles. La résolution radiométrique sera donc plus faible.

#### III.4.4. La résolution temporelle

La résolution temporelle précise la fréquence de révision du satellite pour un emplacement spécifique (en fonction de la latitude et de la largeur du swath). Le facteur temps est important lorsque:

- Les nuages persistants offrent une vue directe limitée de la surface de la Terre.
- Les phénomènes à court terme (inondations, marées noires, etc.)
- Les phénomènes qui changent rapidement (atmosphérique)

On peut adopter la classification suivante :

- Haute résolution temporelle: < 1 - 3 jours
- Moyenne résolution temporelle : 4 - 16 jours
- Faible résolution temporelle: > 16 jours

#### III.5. Evaluation de la qualité des eaux par télédétection [40]

L'étude et l'évaluation de la qualité de l'eau à l'aide des SIG et des images satellitaires, l'objet du présent travail, a été envisagée afin de doter un système de surveillance spatiotemporelle. Des outils de base pouvant contribuer à une gestion durable du patrimoine en question, en apportant des éléments de réponse aux questions que l'on se pose et qui constituent la problématique de l'étude.

Les étapes de travail sont résumées et schématisées dans la figure suivante :

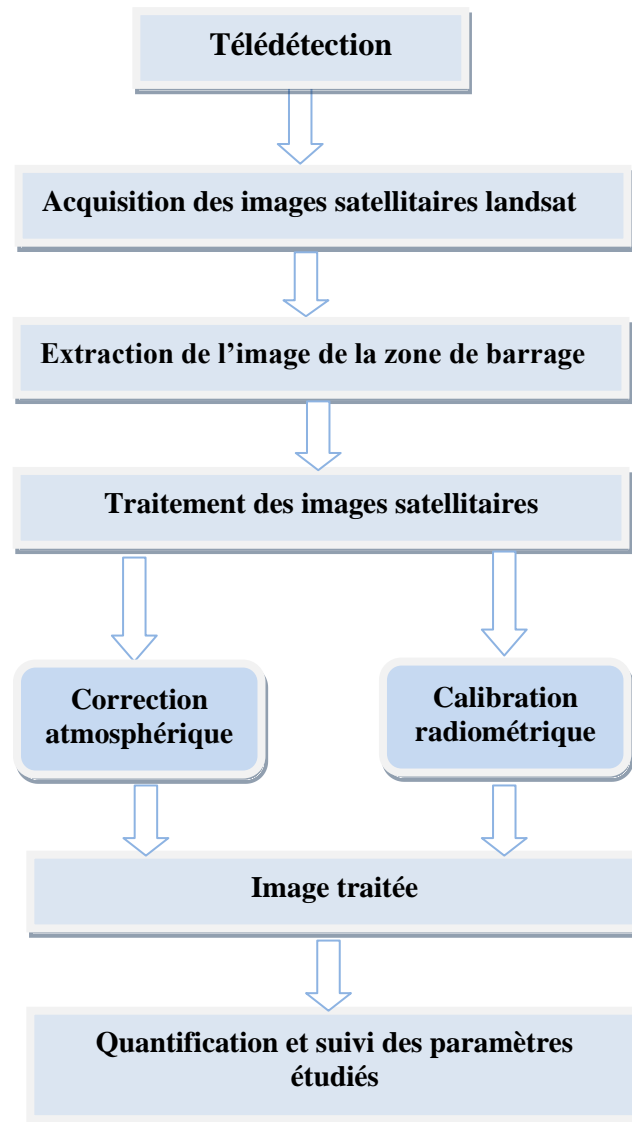


Figure III.5. La méthodologie adoptée pour la quantification et le suivi des paramètres étudiés

### III.5.1. Acquisition et traitement des données satellitaires

#### III.5.1.1. La série de satellites Landsat

##### III.5.1.1.1. Présentation

Le satellite Landsat est le programme géré à l'origine par la Nasa, est sous la responsabilité de la Noaa, en 1983. En 1985, Le programme Landsat a permis l'acquisition de données sur tous les coins de la planète. Le premier satellite Landsat a été lancé en 1972. Depuis, cinq autres satellites ont été lancés avec succès. LANDSAT 8, le dernier de la série, a été lancé en 2013, avec à son bord le capteur UTM+. [41]

Depuis 1972, la série de satellites d'observation de la Terre Landsat, réalisée conjointement par la NASA et les États-Unis, acquiert en permanence des images spatiales de la surface de la Terre. Fournissant des données ininterrompues pour aider les gestionnaires des terres et les responsables à prendre des décisions éclairées concernant nos ressources naturelles et l'environnement. (USGS/NLI Program) (Notions fondamentales de télédétection) Tous les satellites Landsat croisent l'équateur le matin pour profiter des conditions d'illumination optimales. (NASA/USGS)

##### III.5.1.1.2. Caractéristiques du capteur Landsat 8

Quatrième génération de satellites d'observation de la Terre à cycle orbital de 16 jours (orbite en 98,9 min.), l'inclinaison de l'orbite est de 98.2° (légèrement rétrograde), il peut faire un tour de Terre en 98.9 minutes. Le passage des satellites passage à l'Equateur à 10:00 locale +/- 15 minutes. [42]

Le Landsat 8 constitue de deux nouveaux capteurs :

- Operational Land Imager (OLI)
- Thermal Infrared Sensor (TIRS)

Chaque capteur des bandes avec une résolution spatiale différente des données sont représentées dans (tableau III.2) :

Tableau III.2 : Caractéristiques du satellite Landsat 8 OLI/TIRS. [43]

<i>Satellite</i>	<i>Capteur</i>	<i>Bande</i>	$\lambda$ en $\mu\text{m}$	<i>Amplitude</i>	<i>Résolution</i>
<b>Landsat 8</b>	<b>OLI</b>	Band 1 Visible	0.43 - 0.45	0,02	30
		Band 2 Visible	0.45 - 0.51	0,06	30
		Band 3 Visible	0.53 - 0.59	0,06	30
		Band 4 Red	0.64 - 0.67	0,03	30
		Band 5 Near-Infrared	0.85 - 0.88	0,03	30
		Band 6 Thermal Infrared	10.6 - 12.5	0,03	100
		Band 7 SWIR 2	2.11 - 2.29	0,18	30
		Band 8 Panchromatic	0.50 - 0.68	0,18	15
		Band 9 Cirrus	1.36 - 1.38	0,02	30
	<b>TIRS</b>	Band 10 TIRS 1	10.60 - 11.19	0,59	100
		Band 11 TIRS 2	11.50 - 12.51	10,01	100

### III.5.2. Traitement de l'image satellitaire Landsat 8 OLI

#### Correction et traitement des images satellitaires [44]

1. Télécharger une image Landsat 8 à partir du site **Earth Explorer**.
2. Une fois décompressée vous aurez un répertoire contenant une série de fichiers
3. Les images dont le nom se termine par B1 à B11 correspondent aux onze bandes du satellite. Elles contiennent des valeurs de radiance. Pour le NDVI on utilise les bandes 4 (rouge) et 5 (proche infrarouge).
4. Les données nécessaires aux différentes corrections sont contenues dans le fichier dont le nom se termine par MLT.
5. Pour le calcul du NDVI on utilise généralement une correction en TOA (Top-of-Atmosphere) en réflectance.
6. Pour convertir les données d'une bande (radiance) en TOA réflectances on utilise la méthode suivante:

$$pA' = Mp * Qcal + Ap$$

Où:

$pA'$  = réflectance TOA, non corrigée de l'angle d'incidence solaire;

$Mp$  = Facteur de redimensionnement multiplicatif spécifique à la bande à partir des métadonnées : REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_x, où

X est le numéro de bande.

**Ap** = Facteur de redimensionnement additif spécifique à la bande à partir des métadonnées : REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x, où X est le numéro de bande.

**Qcal** = valeur fourni dans la bande X du pixel.

Pour avoir une correction de la réflectance en fonction de l'angle d'incidence solaire, on utilise la formule suivante:

$$pA = pA' / \sin(\theta_{se})$$

Où **pA** est la réflectance TOA corrigée de l'incidence solaire

**theta\_se**= angle d'élévation du soleil au centre de l'image, fourni dans les métadonnées : SUN\_ELEVATION.

5. Calculer la correction atmosphérique de la Bande rouge (B4), nous aurons besoin des deux valeurs correspondantes à cette bande: REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_4 et REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_4 et la valeur de SUN\_ELEVATION pour la correction finale.

6. Nous chargeons la bande n°4 dans ArcMap

7. On ouvre la calculatrice raster (à partir de la Toolbox **Spatial Analyst Tools -> Map Algebra -> Raster calculator**)

On rentre la formule de calcul suivante, qui correspond aux formules décrites plus haut avec les valeurs obtenues du fichier de métadonnées:

$$((0.00002 * \ll \text{LC08\_L1TP\_194035\_20170321\_20170328\_01\_T1\_B4.TIF}\gg) - 0.1) / 0.42631886$$

Comme la calculatrice utilise des radians pour les fonctions trigonométriques, nous avons calculé le sinus de 25.23417171 (0.426318) de manière à simplifier la formule.

8. Une fois exécutée la commande, nous retrouvons une nouvelle image avec des valeurs de réflectance au lieu de radiances.

9. Nous répétons l'opération pour la bande 5.

10. Une fois les deux bandes corrigées en TOA, on calcule le NDVI avec la calculatrice raster

Ouvrir le fichier MTL

Nom	Modifié le	Type	Taille
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	27/05/2017 15:33	Document XML	1 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	27/05/2017 15:33	Fichier OVR	10 066 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	05/12/2016 16:25	Fichier Microsoft ...	54 400 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	27/05/2017 15:33	Document XML	1 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	27/05/2017 15:33	Fichier OVR	5 409 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	05/12/2016 16:25	Fichier Microsoft ...	54 400 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	27/05/2017 15:33	Document XML	1 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	27/05/2017 15:33	Fichier OVR	9 372 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	05/12/2016 16:25	Fichier Microsoft ...	108 743 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	05/12/2016 16:25	Document texte	15 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	05/12/2016 16:25	Document texte	8 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	05/12/2016 16:25	Fichier JPG	368 Ko
LT05_L1TP_195035_20030712_2016120...	05/12/2016 16:25	Document texte	214 Ko

REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_3 et REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_3 et la valeur de SUN\_ELEVATION  
 REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_4 et REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_4 et la valeur de SUN\_ELEVATION

REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.2748E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.7533E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 1.8643E-03
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.5879E-03
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.003818
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.007915
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.004824
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.007499
SUN_AZIMUTH = 112.07057746
SUN_ELEVATION = 61.75336073
EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0165919

La correction pour les deux bandes 3 et 4

Sun élévation = 61.7533 = 0.8089

$((\text{reflectance\_multi\_band\_3} * \ll \text{LC05\_B3.TIF} \gg) + \text{reflectance\_add\_band\_3}) / \text{Sun}$   
 (SUN\_ELEVATION)

$((0.00274 * \ll \text{LC05\_B3} \gg) - 0.004824) / 0.8089$

$((0.00275 * \ll \text{LC05\_B4} \gg) - 0.007499) / 0.8089$

Raster calculator -  $((0.00274 * \ll \text{LC05\_B3} \gg) - 0.004824) / 0.8089$  - ok

### III.5.3. Quantification et suivi des paramètres étudiés

#### III.5.3.1. La turbidité

La turbidité, un des principaux paramètres de détermination de la qualité de l'eau potable, est la mesure du trouble de l'eau. Elle est liée directement à l'existence de MES. La présence de ce paramètre peut être estimée à l'œil nu par le changement de couleur de l'eau et son apparition trouble. La turbidité de l'eau brute est mesurée à l'aide d'un turbidimètre. La mesure est donnée directement en NTU (Nephelometric Turbidity Unit). [45]

Le tableau suivant montre quelques modèles de la turbidité trouvés dans la littérature.

Tableau III.3. Différentes méthodes pour le calcul de la turbidité

Zone d'étude	Capteur	Modèle	R <sup>2</sup>	Référence
Green Bay	Landsat TM	$T=11,59+4,75 \ln R$	0,99	LATHROP & LILLESAND (1986)
Lacs du Nebraska	Landsat TM	$T=-24,8+10,0 Ra$	0,72	FRASER (1998)
Lacs Frisian	SPOT HRV Landsat TM	$T = 0,7581 e^{61,683 [(R+PIR)/2]}$	0,99	DEKKER & al. (2001)
Estuaire de la Gironde	SPOT HRV	$\frac{PIR}{V} = 0,91 \ln(T) - 0,961$ $\frac{PIR}{R} = 0,19 \ln(T) - 0,4832$	0,93 0,91	DOXARAN & al. (2002)
Rivière Charles	Ikonos	$T=-8,7+0,074 R$	0,70	HELLWEGER & al. (2007)
Estuaire de l'Ems	SPOT HRV	$R = 8,93 [1-\exp(-0,0214 T)]$	-	LEHNER S. & al. (2004)
Great Miami River (Ohio, USA)	Compact Airborne Spectrometric Imager	$T = 1224,4 R + 3,9561$	0,7917	SHAFIQUE G. & al. (2004)

Harrington et al en 1992 a montré expérimentalement que la turbidité peut être déduite de la concentration en sédiments en suspension (SSC) à partir de la formule suivante :

$$T=4,18+0,913 \text{ SSC} \quad \text{avec } R^2=0,877$$

Chen et al en 2009, a également calculé la turbidité en fonction de la concentration en matière en suspension (SSC) dans l'estuaire de la rivière Pearl.

$$T=0,2831 \text{ SSC} + 4,4892 \quad \text{avec } R^2=0,8602$$

Nous avons utilisés les formules Lathrop et lillesand(1986), Fraster (1998), Harrington et al (1992) et Chen et al(2009).

1. La turbidité par le modèle empirique de Chen

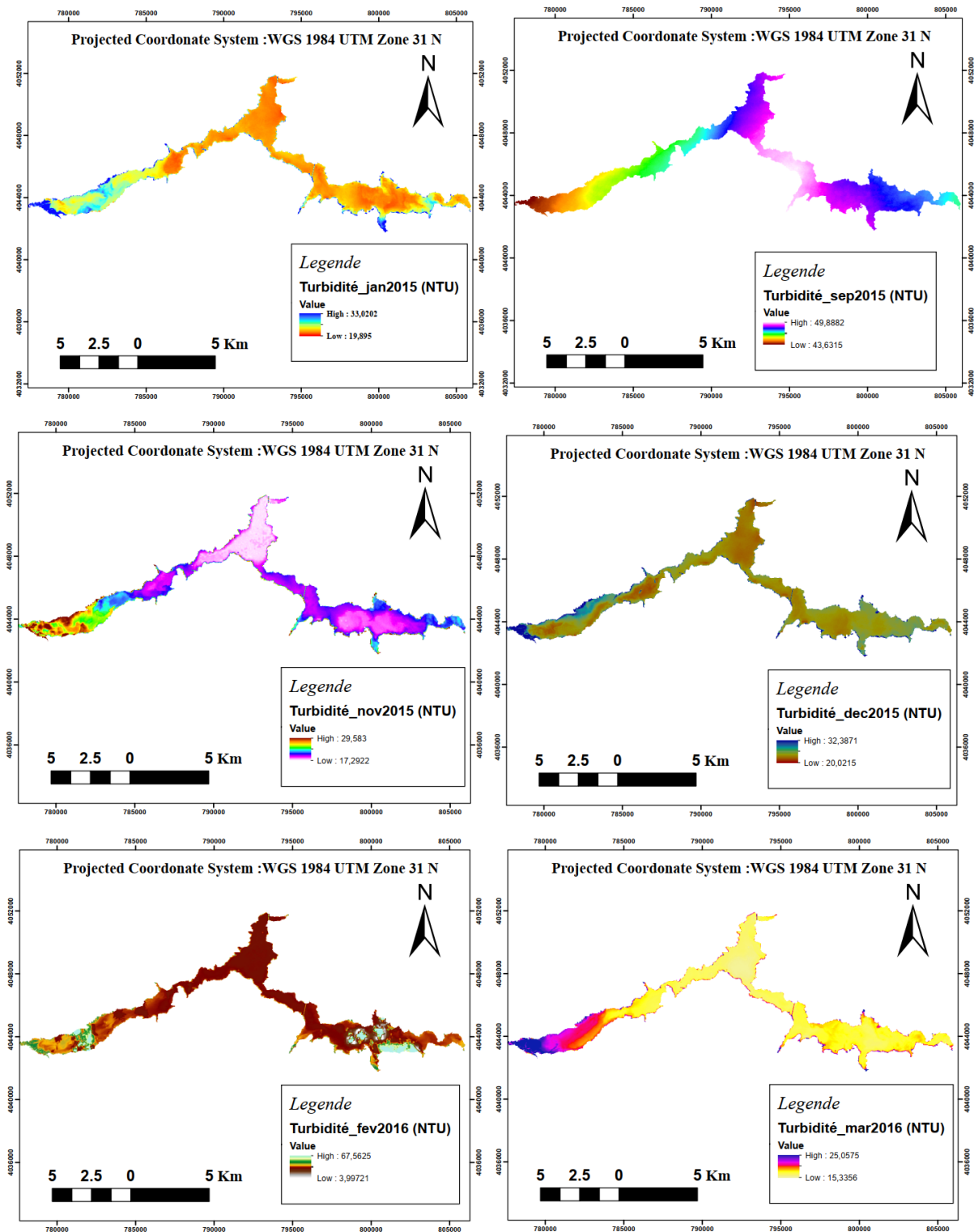


Figure III.6 : Variation spatio-temporelle de la turbidité de l'eau de barrage Ben Haroun par la méthode empirique de Chen

La figure III.6 montre la variation spatio-temporelle de la turbidité par l'utilisation de modèle empirique de Chen. Nous constatons une variation remarquable de la turbidité d'un mois à l'autre, à titre indicatif le mois janvier 2015, la turbidité varie entre 19 et 33 NTU et le mois

mars 2016 varie entre 15 et 25 NTU. Les valeurs les plus élevées de la turbidité situent au côté gauche de lac du barrage de Béni Haroun et les valeurs les faibles situés au côtés droites.

La turbidité moyenne sur l'ensemble de lac de Béni Haroun, 21.39 NTU pour le mois de Janvier 2015, 47.63 NTU pour le mois septembre 2015, 18.80 NTU (mois novembre 2015), 21.68 NTU (mois décembre 2015), 18.29 NTU (Février 2016) et 16.59 pour le mois de mars 2016.

## 2. La turbidité par le modèle empirique de Fraster

La figure III.7, montre la variation spatiotemporelle de la turbidité au niveau de lac du barrage de Béni Haroun par l'utilisation de modèle empirique de Fraster, ce modèle donne des valeurs très élevées de la turbidité pour tous les mois, janvier, septembre, novembre et décembre 2015, février et mars 2016.

La turbidité moyenne varie entre 307 et 1113.81 NTU, 307 NTU enregistré au mois mars 2016 et 1113.81 NTU durant le mois septembre 2015.

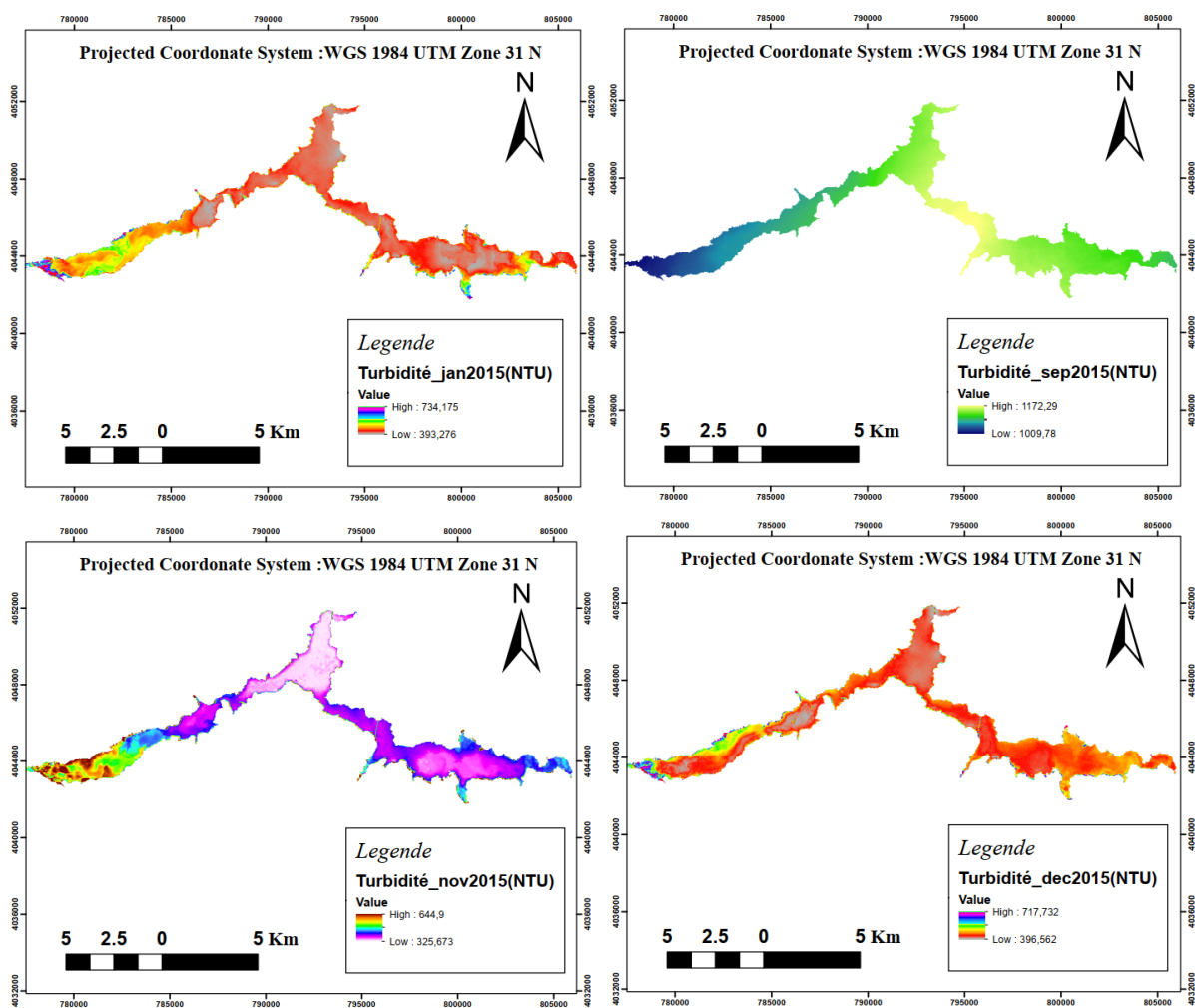
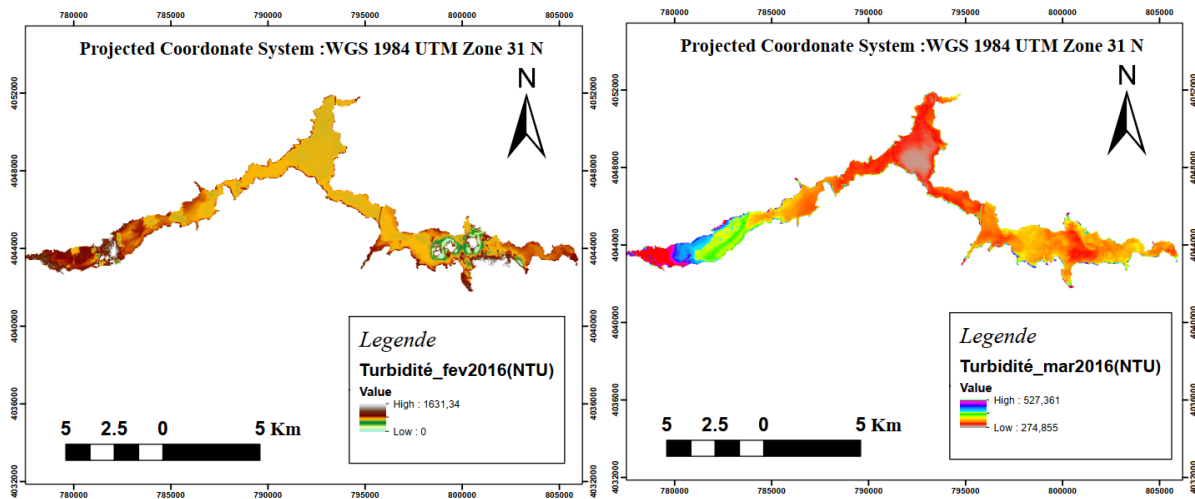


Figure III.7. Variation spatio-temporelle de la turbidité de l'eau de barrage Ben Haroun par la méthode empirique de Fraster



**Figure III.7.** Variation spatio-temporelle de la turbidité de l'eau de barrage Ben Haroun par la méthode empirique de Fraser (suite)

### 3. La turbidité par le modèle empirique de Harrington

La figure III.8, montre la variation spatio-temporelle de la turbidité par l'utilisation du modèle empirique de Harrington, la turbidité varie entre 53 et 96 NTU pour le mois de janvier 2015, et entre 2.54 à 207.54 NTU durant le mois de février 2016.

La turbidité moyenne sur l'ensemble de lac de Beni Haroun varie d'un mois à l'autre, 58.65 NTU (janvier 2015), 143.28 NTU (septembre 2015), 50.28 (novembre 2015), 59.58 NTU (décembre 2015), 48.63 NTU (février 2016) et 43.16 NTU (mars 2016).

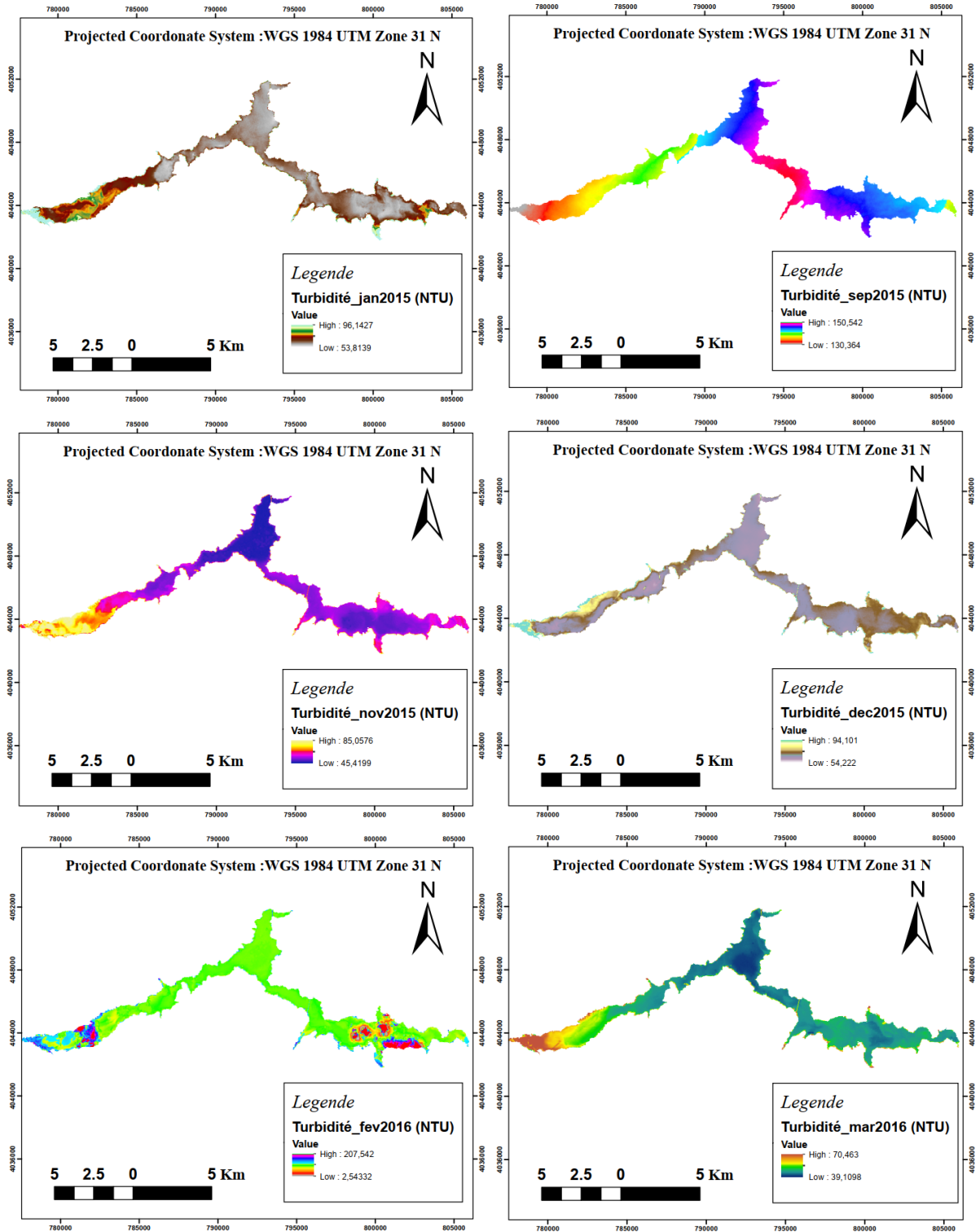
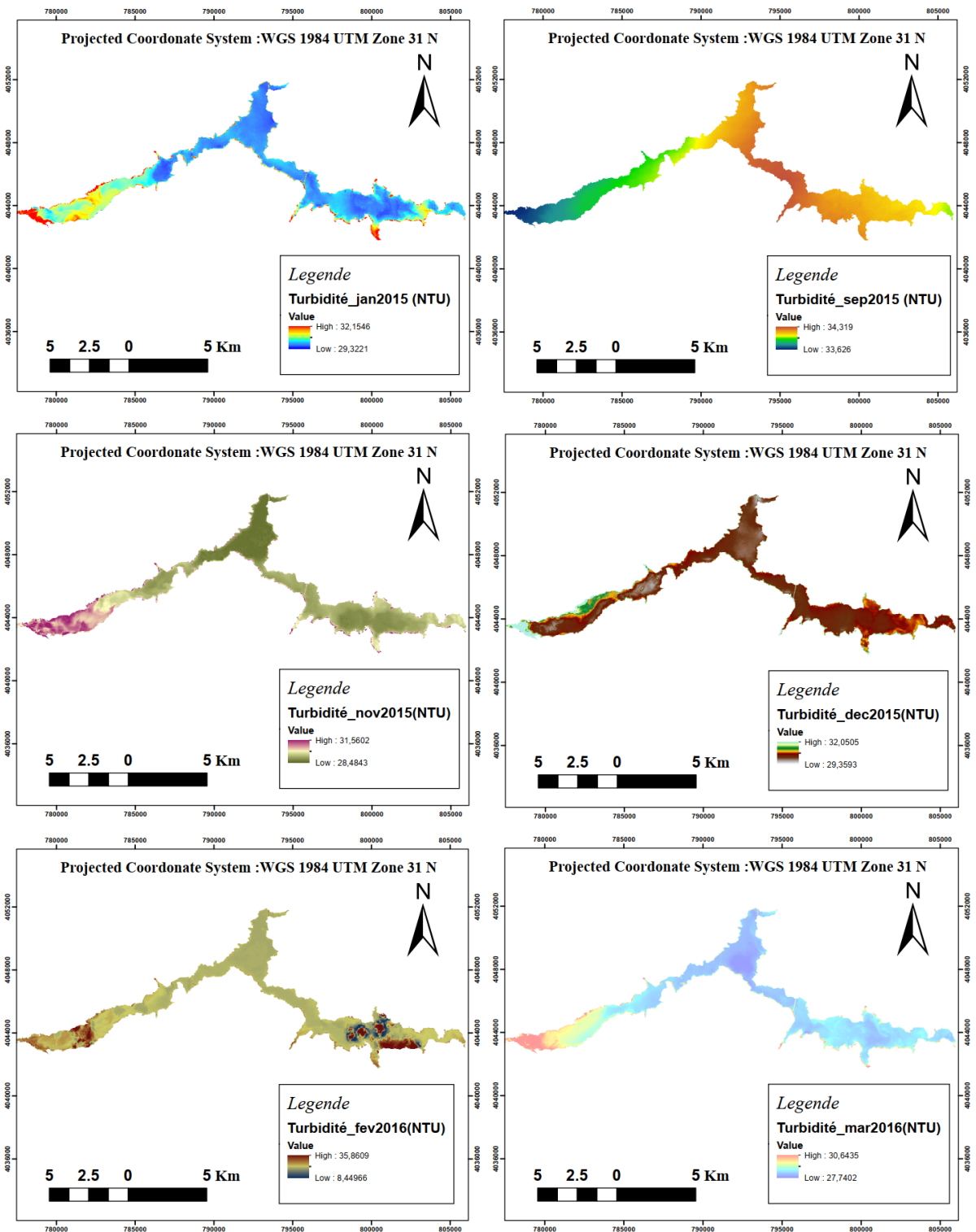


Figure III.8. Variation spatio-temporelle de la turbidité de l'eau de barrage Ben Haroun par la méthode empirique Harrington

#### 4. La turbidité par le modèle empirique de Lathrop et Lillesand

La figure III.9, montre la variation spatio-temporelle de la turbidité dans le lac du barrage de Beni Haroun, varie entre 8 et 35 NTU. La turbidité moyenne sur la totalité de lac, 28.21 durant le mois de mars 2016 et 34.08 enregistré durant le mois septembre 2015.



**Figure III.9.** Variation spatio-temporelle de la turbidité de l'eau de barrage Ben Haroun par la méthode empirique de Lathrop et lillesand

Après l'analyse des résultats de la turbidité trouvés par les 04 modèles empiriques, on conclure que les deux modèles empiriques de Chen et Lathrop donnent des résultats acceptable de la turbidité par rapport aux modèles de Harrington et Fraster qui donnent des valeurs très élevés de la turbidité.

### III.5.3.2. La matière en suspension (MES)

La MES s'agit de la matière minérale ou de la matière organique sous forme de particules qui restent en suspension dans l'eau. Donc, elle représente tout élément en suspension dans l'eau dont la taille permet sa rétention sur un filtre de porosité donnée. C'est souvent un mélange des matériaux. Elle est mesurée par le pesage de la matière séchée (à 105 degrés Celsius) obtenue après avoir filtré ou centrifugé un volume connu d'eau. [46]

Le tableau suivant rassemble un certain nombre de modèles empiriques de concentrations de matières en suspension trouvés dans la littérature.

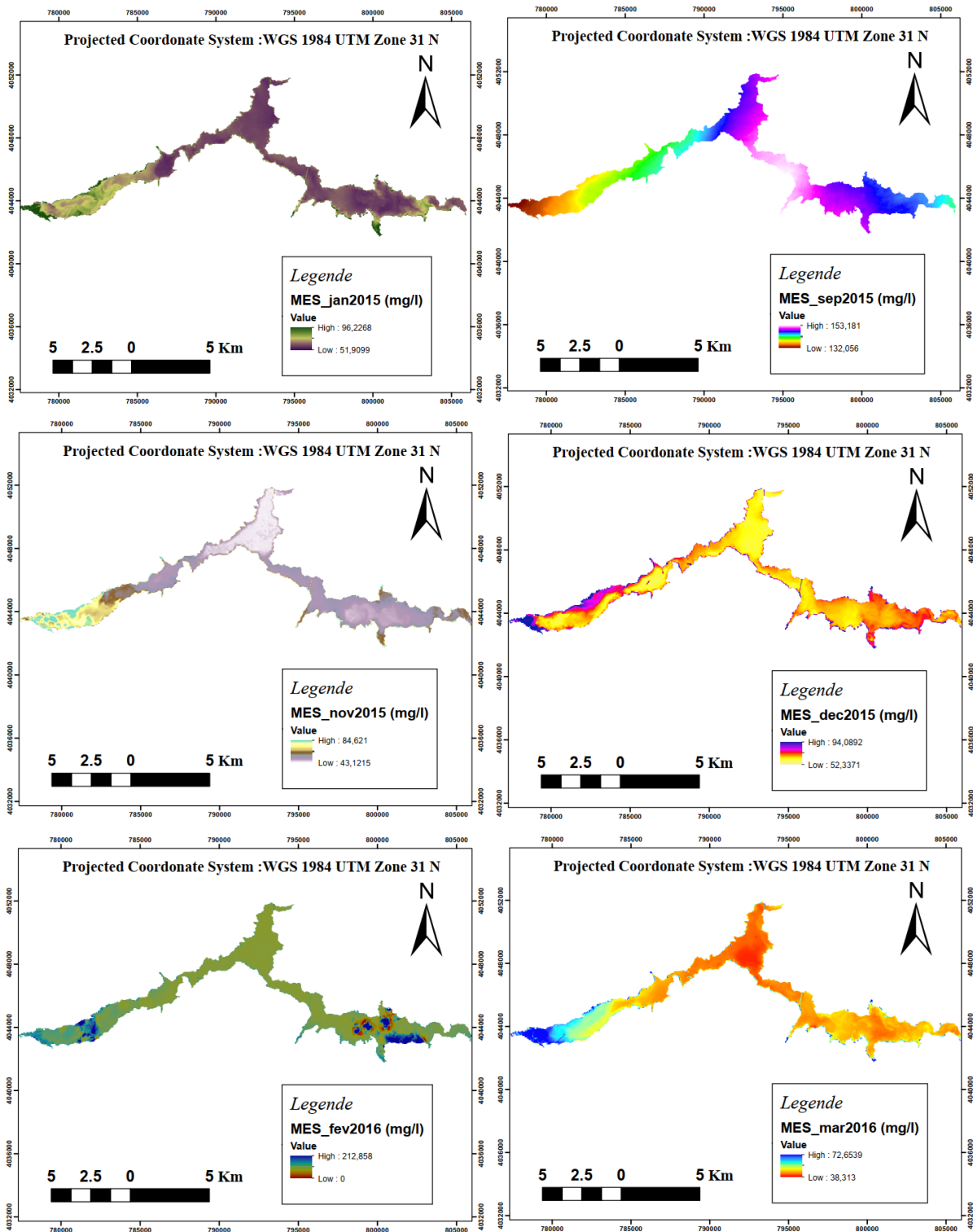
**Tableau III.4 Différentes méthodes de calcul de la concentrations de matières en suspension**

Zone d'étude	Capteur	Modèle	R <sup>2</sup>	Référence
Lac Chicot	Landsat MSS	$R_i = A_i + B_i [1 - e^{(-SSC/5i)}]$ A, B et S paramètres dépendant de la longueur d'onde i	0,77	HARRINGTON et al. (1992)
Mer du Nord estuaire de l'Elbe	SPOT	$R = 1 - \exp(-0,0214 \text{ SSC})$	0,893	LEHNER & al. (2004)
Lac Balaton (Hongrie)	Landsat TM	$\text{SSC} = -2,44 + 1,36 R$	0,89	TYLER & al. (2006)
Estuaire de la Gironde (France)	SPOT Landsat TM	$\text{SSC}_{\text{spot}} = 27.424 e^{0,0279(\text{PIR}/V)}$ $\text{SSC}_{\text{Landsat}} = 29.022 e^{0,0335(\text{PIR}/V)}$	0,8891 0,8806	DOXARAN D & al. (2004)
Embouchures des rivières autour de Cayenne.	SPOT4	$\text{SSC} = 3.4707 e^{109,31 X S^2}$	0,8652	FROIDEFOND J.M. & al. (2004)
Delta rivière Piece-Athabasca (Canada)	SPOT ASTER	In SSC=83 R-4,5 et In SSC=26 (V+R+PIR) - 4 In SSC=98 R-2,5 et In SSC=48 (V+R+PIR) - 9	0,82 et 0,89 0,78 et 0,79	PAVELSKY T.M. & al. (2009)

SSC : matières en suspension R : rouge ; V : Vert ; B : bleu ; PIR : poche infrarouge

Nous avons utilisé la méthode de calcul de la concentration de matières en suspension de Tyler et al (2006).

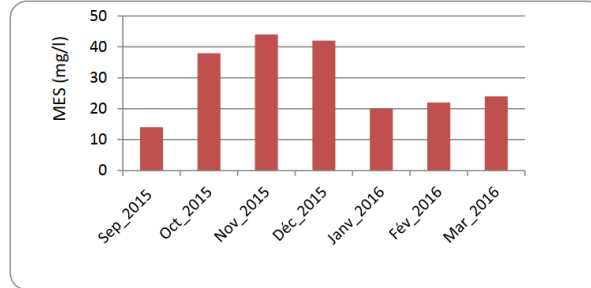
$$\text{SSC} = -2.44 + 1.3 * R$$



**Figure III.10.** Variation spatio-temporelle de la matière en suspension dans le barrage Ben Haroun  
 La figure III.10, montre la variation spatio-temporelle de matières en suspension dans le lac du barrage de Beni Haroun, les valeurs les plus élevés des matières en suspension 96.22 mg/l durant le mois janvier 2015 situé au coté gauche de lac, et les valeurs faibles situé au coté droite de lac, par contre le mois de septembre 2015 les valeurs les plus élevés se trouvent prochent de la digue de barrage et coté droite de lac.

Les valeurs moyennes des matières en suspension varient d'un mois à l'autre, 57 mg/l (janvier 2015), 145.58 mg/l (septembre 2015), 48.21 mg/l (novembre 2015), 57.95mg/l (décembre 2015), 46.5 mg/l (février 2016) et 42.75 mg/l durant le mois mars 2016.

Les résultats des matières en suspension selon l'étude expérimentale de Barkat en juin 2016,



**Figure III.11. Variation mensuelle des teneurs en matières en suspension de l'eau du barrage Béni (Barkat, 2016)**

Les résultats obtenus par télédétection de la présente étude permettent de classer les eaux superficielles du barrage en «classe II » selon la grille de l'ANRH ,1999 (Tableau III). Comparativement aux résultats obtenus en 2007 par Khaldi et Melghit, et 2012 par Melghite, et en 2016 par Barkat, les eaux du barrage Béni Haroun sont devenues de qualité passable.

**Tableau III.5** Grille de la qualité des eaux superficielles pour les teneurs en MES (ANRH, 1999)

Paramètre	Classe	Unité	CI	CII	CIII	CIV
			0-30	30-75	75-100	>100
MES		mg/l	0-30	30-75	75-100	>100

### III.5.3.3. Concentration de sédiment en suspension SSC

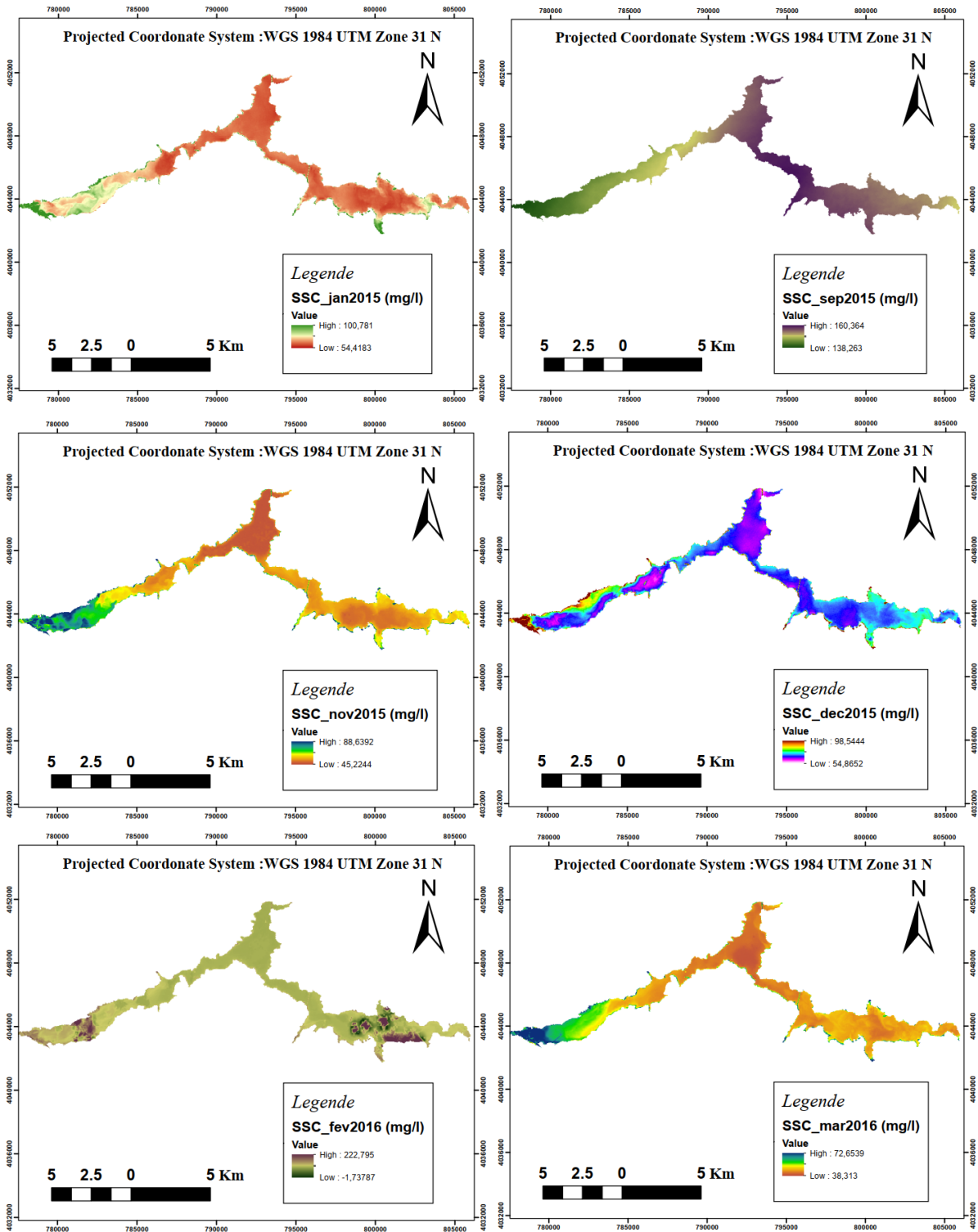
La concentration de sédiment en suspension (SSC) près de la surface est un indicateur de la dynamique côtière et agit sur la clarté des eaux qui est déterminante pour la production biologique du phytoplancton.

Nous avons utilisés la méthode de Harrington et all (1992),

$$T = 4.18 + 0.913SSC$$

$$\text{avec } R^2 = 0.887$$

$$SSC = (T - 4.18) / 0.913 \text{ avec } T : \text{turbidité}$$



**Figure III.12.** Variation spatio-temporelle de la concentration de sédiment SSC dans le barrage Ben Haroun

La figure III.12, montre la variation spatio-temporelle de la concentration de sédiment SSC dans le barrage de Beni Haroun, nous constatons une variation remarquable à l'échelle temporelle et spatiale. Les valeurs moyennes de la concentration de sédiment varient entre les mois, nous avons enregistrées 59.71 mg/l en janvier 2015, 152.41 mg/l en septembre 2015,

50.55 mg/l en novembre 2015 et 60.74 mg/l en décembre 2015 et 48.74 mg/l en février 2016 et en mars 2016 et 42.75 mg/l.

**Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons étudié la variation spatio-temporelle de la turbidité, les matières en suspension et la concentration de sédiment SSC dans le barrage de Beni Haroun par l'utilisation de la télédétection et SIG d'une part et les modèles empiriques trouvés dans la littérature d'autre part.



***CONCLUSION GÉNÉRALE***

## Conclusion générale

Dans ce travail, il convient de rappeler que le barrage de Béni Haroun est le plus grand complexe hydraulique en Algérie, il est destiné à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation, et couvre les besoins en eau de cinq wilayas, d'où l'intérêt d'un suivi régulier de la qualité physicochimique de ces eaux.

L'objectif principal de notre étude était donc de montrer l'utilité de la télédétection et des SIG dans l'évaluation de la turbidité, les matières en suspension et la concentration de sédiment dans le barrage de Béni Haroun dans la wilaya de Mila : Etait de produits des cartes thermiques des paramètres physico-chimique mesurés afin de pouvoir interpréter leur variations spatio-temporelle en utilisant un système d'information géographique SIG, les cartes thématiques produites ont montré la variation géographique et temporelle des paramètres mesurés, à travers ces cartes, nous avons pu avoir une image globale sur la distribution spatio-temporelle de chaque paramètre dans la totalité du barrage.

Les résultats d'évaluation des paramètres de turbidité, les matières en suspension et la concentration des sédiments montrés que les eaux du barrage sont caractérisées par :

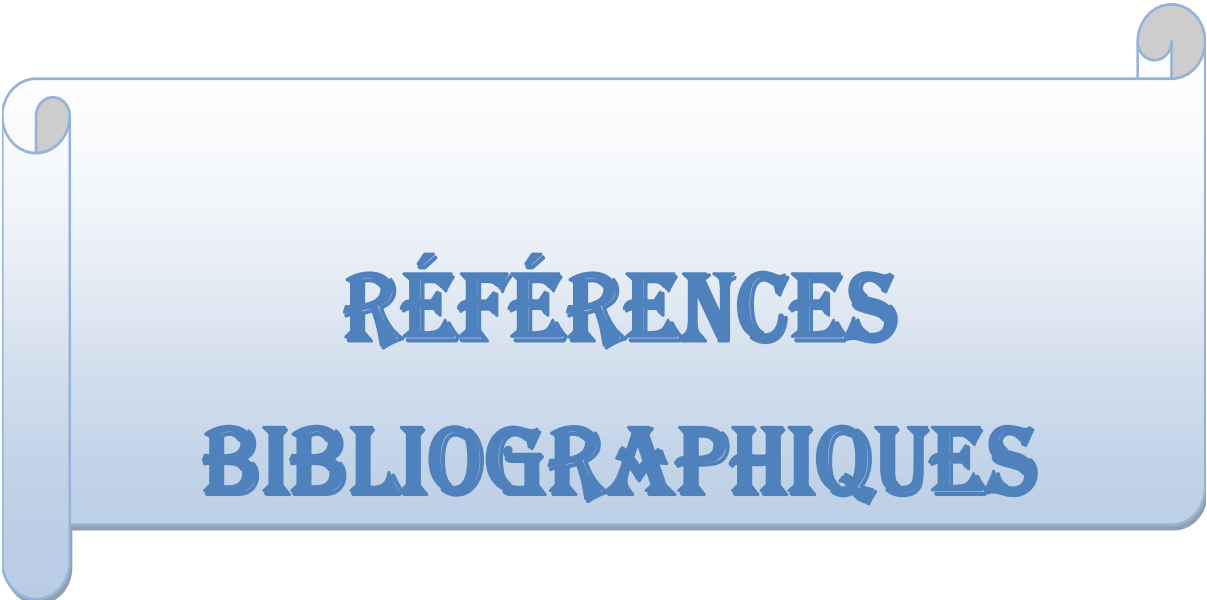
- Les deux modèles empiriques de Chen et Lathrop donnent des résultats acceptables de la turbidité par rapport aux modèles de Harrington et Fraster qui donnent des valeurs très élevée de la turbidité.
- Les résultats obtenus par télédétection de la présente étude permettent de classer les eaux superficielles du barrage en «classe II » selon la grille de l'ANRH, 1999. Comparativement aux résultats obtenus en 2007 par Khaldi et Melghit, et 2012 par Melghite, et en 2016 par Barkat, les eaux du barrage Béni Haroun sont devenues de qualité passable.
- Les valeurs moyennes de la concentration de sédiment varient entre les mois, nous avons enregistrées 59.71 mg/l en janvier 2015, 152.41mg/l en septembre 2015, 50.55 mg/l en novembre 2015, 60.74 mg/l en décembre 2015, 48.74 mg/l en février 2016 et en mars 2016 la concentration de sédiment est de 42.75 mg/l.

En conclusion la télédétection et SIG représente un outil fiable et rentable pour la télésurveillance des barrages. Le suivi et la quantification des paramètres physico-chimiques constitue un besoin stratégique, économique et écologique important pour les décideurs. La combinaison continue entre l'analyse des données satellitaires de télédétection et les mesures in-situ devrait renforcer notre objectif à long terme afin de cerner le maximum de facteurs

impliqués dans la quantification des paramètres physico-chimiques de l'eau et d'appliquer cette approche géomatique pour élaborer des prévisions fiables et précises et même leur impact sur la qualité de l'eau des barrages.

A l'issue de cette contribution, nous proposons dans nos perspectives :

- le suivi régulier de tous les paramètres physico-chimiques pour alimenter une banque de données permettant d'évaluer l'évolution de la qualité des eaux superficielles à l'aide de télédétection.



**RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

- [1] : DORE M., 1989 : Chimie des oxydants et traitement des eaux, Edition Lavoisier
- [2] : ABDESSELEM A., 1999 : Suive de la Qualité microbiologique et physicochimique de Trois serres alimentant de la région de Tlemcen, Mémoire d'ingénieur institut de biologie, université de Tlemcen, p 2-18 ;
- [3] : TARDAT., HENRY M ., 1992 : Chimie des eaux, 2ème Edition, Les éditions du griffon d'Argile, p 213- 215 ;
- [4] : RODIER J., 1984 : L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer, 7ème édition, Dulod, Paris
- [5] : VILLERS J., 2005 : Qualité physicochimique et chimique des eaux de surface, Edition Squilbin M., Yourassowsky C, Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement ;
- [6] : BERRYMAN D., 1990 : Sélection de nouveaux indicateurs de la qualité des cours d'eau du Québec, Ministère de l'environnement du Québec, Direction de la qualité des cours , rapport : QE-90-05, EN900140 QE/67/1 ;
- [7] : AMINOT, A., & CHAUSSEPIED, M. (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin CNEXO. Brest, p. 395.
- [8] : CHAUVALLIER. H. (2007). L'eau un enjeu pour demain, p. 26.
- [9] : LOUP J., 1974 : Les eaux terrestres, Edition Masson et Cie, Paris ;
- [10] : RODIER J., 1996 : L'analyse de L'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, 8ème Edition, Dunod, Paris, p13-35 ;
- [11] : DORE M., 1989 : Chimie des oxydants et traitement des eaux, Edition Lavoisier ;
- [12] : [www.eau-tensift.net/.../1\\_Grille\\_de\\_qualité](http://www.eau-tensift.net/.../1_Grille_de_qualité);
- [13] : Squilbin Marianne, Yourassowsky Catherine 2005. Qualité physico-chimique et Chimique des eaux de surface. 16p.
- [14] : ADE. Algérien Des Eaux (2005), Maintien de la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution et lutte contre les pollutions accidentelles, formation contenue en entreprise, les cahiers techniques du stage T2, Algérien Des Eaux, Centre de formation aux Métiers de l'eau de Tizi-Ouzou, Algérie.
- [15] : .R.A.A.G. (Centre de Recherches Astronomiques et Géophysiques Algérien) (2004). Etude Géophysique Par Gravimétrie De La Région D'Oued Zénati, Guelma. Rapport Interne. 42 p. BOEGLIN Jean-claude. Propriétés des eaux naturelles. Technique de l'ingénieur, traité environnement, G1 110.

- [16] : FLOOD, JF., & CAHOON, LB. (2011). Risks to coastal wastewater collection systems from sea-level rise and climate change. *Journal of Coastal Research*, vol. 27(4), p. 652-660.
- [17] : SBARGOUD, A. (2009). Diagnostic environnemental de la gare routière (Pollution atmosphérique par TSP et métaux lourds). Mémoire : Ingénieur d'état en Ecologie et Environnement.
- [18] : MEMOUNE BOUCHEMAL, A CHARAFEEDDINE HAMMOUDI (2015-2016). Analyse de la qualité des eaux de la station de traitement de Hammam DEBEGH. p16
- [20] : BOEGLIN Jean-claude. Propriétés des eaux naturelles. *Technique de l'ingénieur, traité environnement*, G1 110.
- [21]: DJEMMAL S. (2008-2009), *Les Ressources en Eau et L'environnement, l'effet de la sebkha sur la qualité des eaux Souterraines dans la partie sud-est de Sétif Cas du Guidjal*, Université de Constantine, Algérie.
- [22]: DEGREMONT. *Mémento technique de l'eau, Technique et documentation*, tome 1, 1989, P : 5, 24,25.
- [23] : ADE 2005
- [24] : A.B.H-C.S.M. (Agence des Bassins Hydrographiques; Constantinois, Seybouse, Mellègue) (2005). *Qualité Des Eaux Souterraines Dans Le Bassin De La Seybouse, Rapport Interne*.
- [25] : EZZIANE, S. (2007). *Traitement des eaux de rejets. Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de Magister, Université Hassiba Ben Bouali de CHLEF*, p.186
- [26] : BRGM/RP ou RC-60354-FR Novembre 2011, étude réalisée dans le cadre des projets de service public du BRGM 2011 N° 11EAUK49. Page 11
- [27] : Mémoire, *EVALUATION ET LA CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'érosion par l'utilisation de sig et le modèle EPM cas de bassin versant du barrage de Ben Haroun*, (université de M'sila).
- [28] : Article, *Le Système « Beni-Haroun » (Oued Kebir-Rhumel, Algérie) : Aménagements Hydrauliques Et Contraintes Morpho-Géologiques*, (AZZEDINE MEBARKI, CHAOUKI BENABBAS, FLORINA GRECU).
- [29] : Mémoire, *Perte de capacité de stockage en eau dans quelques barrages de l'est Algérien (université 8 Mai 1945 de Guelma) Join 2017*
- [30] : A. Bechroune, *Elaboration d'une base de données hydrologique du bassin versant de la Soummam via le modèle hydrologique HEC-HMS, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister, 2011.*

- [31] : MOKHTARI, E. H. (2017). Impact de l'érosion hydrique sur l'envasement du barrage Ghrib. Thèse de doctorat en science, université Hassiba Ben Bouali Chlef.
- [32] : Barkat Kanza, 2016, Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage Beni Haroun ,(Université de Des Frères Mentouri Constantine) présenté par 23/06/2016.
- [33] :Marouf Nadir, 2012. Etude de la Qualité des Eaux et de Transport Solide dans le Barrage de Beni-Haroun (Mila), Son Impact sur l'Environnement de la Région, Thèse de Doctorat en Sciences. Université Mohamed Khider-Biskra
- [34] :[http://fr.wikipedia.org/wiki/syst%c3%a8me\\_d'information\\_g%c3%a9ograpue](http://fr.wikipedia.org/wiki/syst%c3%a8me_d'information_g%c3%a9ograpue)
- [35] :MONPROJET :[http://documentation.2ie-edu.org/doc\\_num](http://documentation.2ie-edu.org/doc_num)  
[HTTP://WWW.ESRIFRANCE.FR/SIG2005/COMMUNICATIONS2005/SMIDA\\_HABIB/SMIDA.HTM](HTTP://WWW.ESRIFRANCE.FR/SIG2005/COMMUNICATIONS2005/SMIDA_HABIB/SMIDA.HTM).  
 JARAR ET AL. 2005. ELABORATION D'UN S.I.G. POUR LA GESTION DES RESSOURCES EN .
- [36] : SIG ET TELEDETECTION APPLIQUES A LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU, COURS  
 SIG ET TELEDETECTION : UN OUTIL DE GESTION DE L'ESPACE. NOTE DE COURS
- [37] : ANTOINE DENIS, 2013, TRAVAUX PRATIQUES DE TELEDETECTION SPATIALE,  
 ARLON. CAMPUS ENVIRONNEMENT, UNIVERSITE DE LIEGE, BELGIQUE
- [38] : TELECAN. FRANCISCO EUGENIO GONZALEZ, JAVIER MARCELLO  
 RUIZ, FERRAN MARQUES ACOSTA.MANUEL DE TELEDETECTION SPATIALE.
- [39] : Document de cours Notions de télédétection
- [40] : ZIDANE Massinissa.2019. Apport de la télédétection et des SIG pour le suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage de Telesdit dans la wilaya de Bouira mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master Filière : Ecologie et Environnement Spécialité : Biodiversité et Environnement
- [41]: NORTHROP, A. (2015). IDEAS – LANDSAT Products Description Document. On behalf of the LANDSAT SPPA Team. 201
- [42]: DEWITZ, J. (2004). *Assessment of Landsat 7 ETM+ SLC-off Gap-filled Data for Impervious Surface and Canopy Cover Estimation*. USGS EROS Data Center, [En ligne] «<http://landsat.usgs.gov/> » (dernière visite Fevrier, 2015)
- [43]: USGS NATIONAL LAND IMAGING (NLI) PROGRAM. Disponible sur « [http://nilerak.hatfield\\_group.com/French/NRAK/EO/html/landsat.html](http://nilerak.hatfield_group.com/French/NRAK/EO/html/landsat.html)« Consulté le 20/05/2019
- [44]: Mokhtari Elhadj, 2020. Manuel d'utilisation les modèles d'érosions RUSLE et EPM à l'aide du logiciel ArcGIS <https://elearning.univmsila.dz/moodle/course/view.php?id=3392>
- [45]: AMJAD, Z. (2010). *The science and technology of industrial water treatment*. United States. of America IWA Publishing, Alliance House, 2010

[46] : ANDRE, B., HOFFERT, M., ANDRE, S., & MARC, T. (2000) *L'eau, sa pollution, et son traitement : Chapitre 4 : La pollution de l'eau*. Edition sciences de la terre et del'univers. «Les eaux du ciel». Vuibert Paris : Robert Kandel, ISBN 2-7117-5280-1

[47] : DRISSI, H. E. (2020). Evaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'utilisation de SIG et le modèle EPM Cas du bassin versant du barrage de Beni Haroun . Mémoire de Master, Univ M'sila.