



Réf :/UAMOB/F.SNV.ST/DEP.BIO/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

Domaine : SNV **Filière :** Ecologie et Environnement
Spécialité : Biodiversité et Environnement

Présenté par :

ZIDANE Massinissa

Thème

*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*

Soutenu le : 07 / 07 / 2019

Devant le jury composé de :

<i>Nom et Prénom</i>	<i>Grade</i>		
<i>M^r BOUCHIBANE Mebarek</i>	<i>MAA</i>	<i>Université de Bouira</i>	<i>Président</i>
<i>M^r TAFER Mourad</i>	<i>MAA</i>	<i>Université de Bouira</i>	<i>Examineur</i>
<i>M^r LAMINE Salim</i>	<i>MCB</i>	<i>Université de Bouira</i>	<i>Promoteur</i>
<i>M^{me} BOUGUEROUMA Wassila</i>		<i>Directrice de l'ANBT- barrage de Tiledit BOUIRA</i>	<i>Invité</i>
<i>M^r BACHARI Nour El Islam</i>	<i>Prof</i>	<i>USTHB-Alger</i>	<i>Invité</i>



REMERCIEMENTS

Je remercie avant tout Allah de nous avoir gardés en bonne santé afin de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ici mon profond respect et ma gratitude à mon promoteur Dr : LAMINE. S qui m'a encouragé, soutenu, suivi et orienté tout au long de l'évolution de ce travail, ainsi que les membres de Jury ; Monsieur TAFER, M et Monsieur BOUCHIBANE. M et je remercie aussi tout le personnel de l'université de Bouira surtout les enseignants de département des Sciences de la Nature et de la vie et des Sciences de la Terre.

Ma plus profonde gratitude va bien évidemment à Madame BOUGAROUMA la directrice de barrage Tilesdit de Bechloul qui nous a guidés tout le long du stage pratique.

Je profite l'occasion à remercier tous mes enseignants dès la première année primaire jusqu'au deuxième cycle universitaire. Ainsi que l'équipe de formation de l'USTHB a leur tête monsieur le professeur BACHARI.

Enfin, j'associe à cet hommage mes amis et collègues ; ainsi que ma familles, proches et à tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation et la réussite de ce travail.

Massinissa ZIDANE

Dédicace

*Je ne peux commencer sans évoquer le nom d'ALLAH le tout puissant qui m'a
donné la patience, la santé, le courage et la force tout le long de ma vie*

Je didie ce modeste travail

*À la mémoire de mes grands-parents ils sont partie laissée derrière eux une
profonde tristesse et un grand vide que Dieu les accueille dans son vaste paradis.*

*À mes chers parents qui éclairent mon chemin, je ne pourrais rendre le mérite
comme il se doit, qu'ALLAH les garde et les bénisse.*

À mon cher frère Youghourta (Hicham)

À mes chers sœurs, Liza et Amel et leurs maris Sami et Toufik,

Aux Anges Aya et Hocine

*À tous mes copains et à tous mes amis sans exception surtout avec lesquels j'ai
connu des moments agréables*

*Un dédicace très spécial pour ma fiancée "SIHEM", la magnifique et sublime
femme au monde, celle qui a été toujours à mes cotés et m'a entouré de tendresse,
d'amour et d'encouragement pour finir ce travail.*

*À tous ceux qui ont contribués à la réalisation de ce modeste travail sans oublier
notre promoteur Monsieur Dr : LAMINE .S*

ZIDANE_Massinissa

*© Lamine Sami
Image Lamine Sami*

Résumé

Les eaux des barrages sont vulnérables face aux diverses pollutions et sont souvent de qualité médiocre. Ces eaux sont susceptibles de contenir des substances diverses, de nature physico-chimique. Notre travail a pour but de montrer le potentiel et l'utilité de la télédétection et des SIG dans la quantification de sept (07) paramètres relatifs avec la qualité des eaux du Barrage de TELESDIT dans la wilaya de Bouira. **Premièrement**, nous avons déterminé la qualité de l'eau brute du barrage de TILES-DIT en faisant des mesures in-situ suivi avec des analyses au laboratoire concernant les paramètres physico-chimiques de 30 échantillons de l'eau. Dans l'étude de terrain, à l'aide d'un multi-paramètre, nous avons estimé cinq paramètres physico-chimiques de l'eau de barrage (Température, pH, PDS, Salinité, Conductivité électrique). Ensuite, dans le travail de laboratoire réalisé à l'ENSSMAL, nous avons estimé la turbidité et la MES. **Deuxièmement**, en utilisant un SIG (ArcGIS 10.2), les cartes thématiques des paramètres mesurés ont été produites pour montrer leur variation géographique. **Troisièmement**, nous avons fait une estimation de sept (7) indices spectraux de l'eau de barrage (NDWI, MNDWI, NSMI, NDSSI, WRI, AWEI, NDMI) par télédétection en utilisant une image satellitaire multispectrale (Landsat-8 OLI du 18/03/2019) acquit en concordance avec les prélèvements des échantillons de l'eau de barrage. L'utilité de la télédétection et des SIG a été investiguée et prouvée par les analyses in-silico. 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.

Mots clés : Eau de barrage, paramètres physico-chimiques, indices spectraux, télédétection, SIG.

Abstract

Dam water is vulnerable to various types of pollution and is often of poor quality. These waters are likely to contain various substances of a physico-chemical nature. Our work aims to show the potential and usefulness of remote sensing and GIS in quantifying seven (07) parameters related to the water quality of TELESBIT Dam in the province of Bouira. *First*, we determined the raw water quality of TILESBIT dam by making in-situ measurements followed by laboratory analyses concerning the physico-chemical parameters of 30 water samples. In the field work, using a multi-parameter, we estimated five physico-chemical parameters of the dam water (Temperature, pH, SDD, Salinity, Electrical conductivity). After that, in the laboratory work carried out at ENSSMAL, we estimated turbidity and TSM. *Secondly*, using ArcGIS 10.2, thematic maps of the measured parameters were produced to show their geographical variation. *Third*, we estimated seven (7) spectral indices of dam water (NDWI, MNDWI, NSMI, NDSSI, WRI, AWEI, NDMI) by remote sensing using a multispectral satellite image (Landsat-8 OLI dated 18/03/2019) acquired in accordance with the sampling of dam water. The usefulness of remote sensing and GIS has been investigated and proven by in-silico analyses. The continuous combination of satellite remote sensing data analysis and in-situ measurements should reinforce our long-term objective to identify the maximum number of factors involved in the quantification of physico-chemical water parameters and apply this innovative approach to develop reliable and accurate models and even their impact on dam water quality.

Keywords: Dam water, physico-chemical parameters, spectral indices, remote sensing, GIS.

ملخص

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 وفائدة الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية في تقدير سبعة (07) معايير تتعلق بنوعية المياه لسد Telesdit في ولاية البويرة. أولاً، حددنا نوعية مياه السد من خلال إجراء قياسات في الموقع تليها التحاليل المخبرية للمعايير الفيزيائية والكيميائية لـ 30 عينة مياه. في الدراسة الميدانية، باستخدام جهاز متعدد القياسات، قدرنا خمس معايير فيزيوكيميائية لمياه السد (درجة الحرارة، الرقم الهيدروجيني، PDS، الملوحة، الموصلية الكهربائية). في العمل المختبري المنجز في معهد ENSSMAL، قدرنا التعكر و MES. ثانياً، باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (ArcGIS 10.2)، تم إنتاج الخرائط الوصفية للمعايير المقاسة لإظهار توزيعها الجغرافي. ثالثاً، قدرنا سبعة (7) مؤشرات طيفية لمياه السد (NDWI و MNDWI و NSMI و NDSSI و WRI و AWEI و NDMI) عن طريق الاستشعار عن بعد باستخدام صورة القمر الصناعي متعددة الأطياف Landsat-8 OLI في 18 / 03 / 2019) يكتسب عينات من ماء الحاجز وفقاً لأخذ العينات. تم التحقق من فائدة الاستشعار عن بُعد ونظام المعلومات الجغرافية (GIS) وأثبتت ذلك من خلال التحليلات انسيابكو. إن الجمع المستمر بين تحليل بيانات الاستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية والقياسات في الموقع ينبغي أن يعزز هدفنا على المدى الطويل المتمثل في تحديد الحد الأقصى لعدد العوامل التي تنطوي على تحديد المعايير الفيزيائية والكيميائية للمياه وتطبيق هذا النهج. نهج الجيوماتيكي لتطوير تنبؤات موثوقة ودقيقة ودراسة تأثيرها على نوعية مياه السدود.

الكلمات المفتاحية: مياه السدود، المعايير الفيزيوكيميائية، المؤشرات الطيفية، الاستشعار عن بعد، نظام المعلومات الجغرافية.

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Table des matières

Introduction Général..... 01

CHAPITRE I : Généralités sur la qualité des eaux

I.1. Définition de l'eau..... 03

I.2. Cycle hydrologique..... 03

I.3. Importance de l'eau..... 04

I.4. Les grands réservoirs d'eau..... 05

I.4.1. L'eau atmosphérique..... 05

I.4.2. L'eau souterraine..... 05

I.4.3. Le réservoir d'eau continentale..... 05

I.4.4. Mers et océans..... 06

I.4.5. Barrages..... 06

I.4.6. Rivières..... 07

I.5. Utilisations et consommation de l'eau..... 08

I.5.1. Usages domestiques..... 08

I.5.2. Usages agricoles..... 08

I.5.3. Usages industriels..... 09

I.6. Principaux types de la pollution de l'eau..... 09

I.6.1. Pollution organique..... 09

I.6.2. Pollution minérale..... 10

I.6.3. Pollution microbienne..... 10

I.6.4. Pollution par les métaux lourds..... 10

I.7. Paramètres de mesure de la qualité de l'eau..... 10

I.7.1. Paramètres physico-chimiques..... 10

I.7.1.1. Température.....	10
I.7.1.2. pH.....	11
I.7.1.3. Salinité.....	11
I.7.1.4. Conductivité électrique (CE).....	11
I.7.1.5. L'oxygène dissous.....	11
I.7.1.6. Matière en suspension.....	12
I.7.1.7. Turbidité.....	12
I.7.1.8. Demande chimique en oxygène (DCO).....	12
I.7.1.9. Demande biochimique en oxygène (DBO5).....	12
I.7.1.10. Sulfates.....	13
I.7.1.11. Eléments chimiques toxiques dangereux.....	13
I.7.2. Paramètres microbiologiques.....	13
I.7.2.1. Germes pathogènes.....	13
a. Bactérie (<i>Escherichia coli</i>).....	13
b. Virus.....	14
c. Parasites.....	14
I.8. Normes des paramètres physico-chimiques de l'eau potable.....	14

CHAPITRE II : SIG et télédétection pour l'évaluation de la qualité des eaux

II.1. Système d'Information Géographique.....	16
II.1.1. Définitions et concepts associés.....	16
II.1.2. SIG et gestion intégrée de la qualité de l'eau (GIRE).....	16
II.1.2.1. Définition de la (GIRE).....	17
II.1.2.2. Relation entre la GIRE et les SIG.....	17
II.1.3. Evaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux.....	18
II.2. Télédétection.....	18
II.2.1. Définition.....	18
II.2.2. Principe de la télédétection.....	18
II.2.3. Les caractéristiques des images satellitaires.....	19
II.2.4. Les type de Résolutions.....	20

II.2.4.1. La résolution spatiale.....	20
II.2.4.2. Résolution radiométrique.....	20
II.2.4.3. Résolution spectrale.....	21
II.2.4.4. Résolution temporelle ou répétitivité.....	21
II.3. Télésurveillance de la qualité de l'eau.....	22
II.3.1 Bases de la télédétection de la qualité de l'eau.....	22
II.3.2 Interférences atmosphériques.....	22

CHAPITRE III : Matériels et méthodes

III.1. Présentation de la zone d'étude.....	24
III.1.1. Présentation et localisation du barrage Tilesdit.....	24
III.1.2. Historique de réalisation du barrage.....	25
III.1.3. Géologie, hydrogéologie et géomorphologie de la région.....	25
III.1.3.1. Structure géologique.....	25
III.1.3.2. Hydrogéologie.....	26
III.1.3.3. Géomorphologie et topographie du bassin.....	26
III.1.4. Climatologie de site du barrage.....	26
III.1.4.1. Température de l'air.....	27
III.1.4.2. Les précipitations.....	27
III.1.4.3. Régime des vents.....	27
III.1.5.4. Caractéristique hydrochimique d'eau.....	27
III.2. Matériel et Protocole expérimental.....	38
III.2.1. Phase de terrain.....	30
III.2.1.1. Préparation pour la sortie.....	30
III.2.1.2. Campagnes de prélèvement et mesure in-situ.....	30
III.2.1.3. Equipements et méthodes de mesure in-situ.....	31
a. Température.....	32
b. pH.....	32
c. Conductivité.....	32
d. Salinité.....	32
e. Profondeur de disque de Secchi (transparence).....	33
III.2.2. Analyse au laboratoire.....	33
III.2.2.1. Mesure des matières en suspension (MES).....	34

a. Matériel utilisé.....	34
b. Protocole expérimentale.....	34
III.2.2.2. Mesure de turbidité.....	36
a. Matériel utilisé.....	36
b. Réalisation de la mesure.....	36
III.3. Cartographie des paramètres physico-chimiques.....	37
III.3.1. Logiciel utilisé (ArcMap 10.2).....	37
III.3.2. Interpolation des paramètres mesurés par IDW.....	37
III.4. Acquisition et traitement des données satellitaires.....	39
III.4.1. La série de satellites Landsat.....	39
III.4.1.1. Présentation.....	39
III.4.1.2. Caractéristiques du capteur Landsat 8.....	39
III.4.1.3. Les étapes d'acquisition des images Landsat.....	40
a. Acquisition.....	40
b. Création d'une image composite multi-bandes.....	40
c. Coloration, affichage et mise en exploitation.....	41
III.4.2. Traitement de l'image satellitaire Landsat 8 OLI 18/03/2019.....	42
III.4.2.1. Logiciel utilisé (ENVI 5.2).....	42
III.4.2.2. Prétraitement de l'image satellitaire.....	43
a. Calibration radiométrique.....	43
b. Correction atmosphérique.....	43
III.4.3. Calcul de différents indices pour la caractérisation de la qualité d'eau.....	44

CHAPITRE IV : Résultats et discussions

IV.1. Estimation des paramètres physico-chimiques d'eau de barrage.....	46
IV.1.1. Présentation des paramètres mesurés in-situ (T, pH, CE, Sal, PDS)....	47
IV.1.1.1. Variation de la température de l'eau dans le barrage.....	48
IV.1.1.2. Variation du pH	49
IV.1.1.3. Variation du PDS	49
IV.1.1.4. Variation de salinité	51
IV.1.1.5. Variation de la conductivité	52
IV.1.2. Présentation des paramètres analysés au laboratoire (MES, Turbidité)	53

IV.1.2.1. Variation de MES dans l'eau de barrage.....	53
IV.1.2.1. Variation de la turbidité de l'eau dans le barrage.....	55
IV.2. Calcul des indices.....	56
IV.2.1. Résultats de calculs des indices spectraux sur le logiciel ENVI.....	56
IV.2.2. Interprétation des indices.....	57
IV.2.2.1. Variation spectrale de l'indice NDWI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée.....	57
IV.2.2.2. Variation spectrale de l'indice MNDWI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée.....	59
IV.2.2.3. Variation spectrale de l'indice NSMI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée.....	59
IV.2.2.4. Variation spectrale de l'indice NDSSI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée.....	61
IV.2.2.5. Variation spectrale de l'indice WRI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée.....	63
IV.2.2.6. Variation spectrale de l'indice AWEI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée.....	64
IV.2.2.7. Variation spectrale de l'indice NDMI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée.....	65
Conclusion générale.....	68
Références bibliographiques	
Annexes	

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux

<u>Tableau (1) :</u>	Stocks et temps de résidence de l'eau dans les divers réservoirs	p.07
<u>Tableau (2) :</u>	Normes et recommandations pour quelques paramètres de qualité de l'eau potable en Algérie.	p.14
<u>Tableau (3) :</u>	Caractéristiques du satellite Landsat 8 OLI/TIRS	p.42
<u>Tableau (4) :</u>	Résultats des paramètres mesuré (T, pH, PDS, Salinité, CE, MES, Turbidité,) pour les trente (30) stations.	p.46
<u>Tableau (5) :</u>	Grille de la qualité des eaux superficielles pour les teneurs en MES (ANRH, 1999).	p.55
<u>Tableau (6) :</u>	Résultats de calcul des indices de qualité de l'eau de barrage Tilesdit sur ENVI.	p.57

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

Figure (1) :	Cycle biogéochimique de l'eau.	p.04
Figure (2) :	Principe de base de la télédétection.	p.19
Figure (3) :	Signature spectrale sur la surface de la Terre	p.20
Figure (4) :	Déférence de l'absorbance de l'énergie électromagnétique entre 1 et 8 bits	p.21
Figure (5) :	Interaction : rayonnements-atmosphère	p.23
Figure (6) :	Positionnement du barrage Tilesdit willaya de Bouira Algérie	p.24
Figure (7) :	Carte de délimitation du barrage de Tilesdit Wilaya de Bouira _Algérie.	p.25
Figure (8) :	Organigramme du travail	p.29
Figure (9) :	Représentation des (30) stations de prélèvements dans le bassin versant de barrage Tilesdit (ArcMap 10.1)	p.30
Figure (10) :	Valise de multi-paramètre	p.31
Figure (11) :	Disque de Secchi	p.33
Figure (12) :	Protocole et mode opératoire suivi pour l'analyse de la matière en suspension	p.35
Figure (13) :	Turbidimètre « HANNA HI88703 ».	p.36
Figure (14) :	Interpolation de pondération par l'inverse de la distance (IDW) des données d'échantillonnage à sur ArcGis.	p.38
Figure (15) :	Base de création d'image multi- bande	p.41
Figure (16) :	Superposition des bandes à l'aide de logiciel ArcGis	p.42
Figure (17) :	Insertion et calcul d'indices sur Band Math_ENVI.	p.45
Figure (18) :	Histogramme de variation de la température des 30 stations de mesure.	p.47
Figure (19) :	Variation géo spatiale de température de l'eau de barrage (ArcMap 10.1)	p.48
Figure (20) :	Histogramme de variation du pH des 30 stations de mesure.	p.48
Figure (21) :	Variation géo spatiale du pH de l'eau de barrage (ArcMap 10.1)	p.49
Figure (22) :	Histogramme de variation du PDS des 30 stations de mesure.	p.50
Figure (23) :	Variation géo spatiale de la profondeur du disque de Secchi dans l'eau de barrage (ArcMap 10.1)	p.50
Figure (24) :	Histogramme de variation de la salinité des 30 stations de mesure.	p.51
Figure (25) :	Variation géo spatiale de la salinité de l'eau de barrage (ArcMap 10.1)	p.51

LISTE DES FIGURES

<u>Figure (26) :</u>	Histogramme de variation de la conductivité des 30 stations de mesure.	p.52
<u>Figure (27) :</u>	Variation géospatiale de la conductivité de l'eau de barrage (ArcMap 10.1)	p.53
<u>Figure (28) :</u>	Histogramme de variation de MES des 30 stations de mesure.	p.53
<u>Figure (29) :</u>	Variation géospatiale de MES dans l'eau de barrage (ArcMap 10.1)	p.54
<u>Figure (30) :</u>	Histogramme de variation de la turbidité des 30 stations de mesure.	p.55
<u>Figure (31) :</u>	Variation géospatiale de la turbidité de l'eau de barrage (ArcMap 10.1)	p.56
<u>Figure (32) :</u>	Courbe de la variation spectrale de l'indice NDWI.	p.58
<u>Figure (33) :</u>	Variation géospatiale de l'indice spectrale NDWI dans le barrage.	p.58
<u>Figure (34) :</u>	Courbe de la variation spectrale de l'indice MNDWI.	p.59
<u>Figure (35) :</u>	Variation géospatiale de l'indice spectrale MNDWI dans le barrage.	p.59
<u>Figure (36) :</u>	Courbe de la variation spectrale de l'indice NSMI.	p.60
<u>Figure (37) :</u>	Variation géospatiale de l'indice spectrale NSMI dans le barrage.	p.61
<u>Figure (38) :</u>	Courbe de la variation spectrale de l'indice NDSSI.	p.62
<u>Figure (39) :</u>	Variation géospatiale de l'indice spectrale NDSSI dans le barrage.	p.62
<u>Figure (30) :</u>	Courbe de la variation spectrale de l'indice WRI	p.63
<u>Figure (41) :</u>	Variation géospatiale de l'indice spectrale WRI dans le barrage.	p.64
<u>Figure (42) :</u>	Courbe de la variation spectrale de l'indice AWEI.	p.64
<u>Figure (43) :</u>	Variation géospatiale de l'indice spectrale AWEI dans le barrage.	p.65
<u>Figure (44) :</u>	Courbe de la variation spectrale de l'indice NDMI.	p.66
<u>Figure (45) :</u>	Variation géospatiale de l'indice spectrale NDMI dans le barrage.	p.66

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
ANBT	Agence nationale des barrages et de transfert
ANRH	Agence nationale des ressources hydrauliques
AWEI	Automated Water Extraction Index
BT	Barrage Tilesdit
C.I.EAU	Centre d'information en eau
CCRC	Conseil canadien sur la reddition de comptes
CCT	Centre canadien de télédétection
CE	Conductivité électrique
CVI	Champ de vision instantanée
DBO5	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
DOS	Dark Object Substructions
E.coli	Escherichia coli
ENSSMAL	École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral
ENVI	ENvironment for Visualizing Images
ETM	Enhanced Thematic Mapper
GIRE	Gestion intégrée des ressources en eau
GPS	Global Positioning System
IDW	inverse distance weighting
MES	Matière en suspension
MIR	Medium infrared
MNDWI	Modified Difference Standardized Water Index
MREE	Ministère des ressources en eau et environnement
MS	Matériaux en suspension
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDMI	Normalized Difference Moisture Index
NDSSI	Normalized Difference Suspended Sediment Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NIR	Near infrared
NLI	National Land Imaging
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration ⁷

LISTE DES ABRÉVIATIONS

NSMI	Normalized Suspended Material Index
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OD	Oxygène dissous
OLI	Operational Land Imager
OMS	Organisation mondiale de la santé
PDS	Profondeur de disque de Secchi
PME	Partenariat Mondial de l'Eau
Ps	poids
RADP	République Algérienne Démocratique et Populaire
RN	Route nationale
RS	Résolution spatiale
SIG	Systèmes d'information géographique
SS	Sédiments en suspension
TDS	Téledétection par satellite
TIRS	Thermal Infrared Sensor
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UPS	Unité Pratique de Salinité
USGS	United States Geological Survey
WRI	Water Ratio Index

Introduction

Générale

Introduction

En Algérie, les eaux de surface (lacs, rivières, barrages.) sont de plus en plus utilisées ces dernières années pour les besoins de l'agriculture, de l'alimentation des populations et de l'industrie (**Allalqua et al., 2017**). De ce fait, les menaces sur cette ressource naturelle s'aggravent de plus en plus et également elle devient rare et impropre, quand elles sont confrontées avec des objets environnementaux et anthropiques (**Fahssi, 2016**).

Cependant, les eaux des barrages sont vulnérables face aux diverses pollutions et sont souvent de qualité médiocre. (**Allalqua et al., 2017**) Ces eaux sont susceptibles de contenir des substances diverses, de nature physico-chimique (sels minéraux, matières en suspension, micropolluants organiques et minéraux) et de nature biologique (bactéries, virus, parasites,...). Certains de ces éléments peuvent non seulement dégrader la qualité de ces eaux mais aussi créer des problèmes plus au moins désastreux face à la santé publique et à l'écosystème entière. (**Chahboun et al., 2013**).

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 ont 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. (**Lamine et al., 2014, 2017, 2019 ; Evans et al., 2018**)

L'émergence et l'application de cette nouvelle technologie dans le suivi de la qualité de l'eau des barrages permettent de réduire le temps dans la caractérisation des paramètres physico-chimique et le suivi de leur évolution à des coûts relativement faibles, ainsi que leur répartition géospatiale régional, national et même global. (**Petropoulos et al., 2016 ; Suman et al., 2018 ; Deng et al., 2019a, 2019b**)

Dans notre étude concernant le barrage de TILES DIT à Bechloul, 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 des données d'observation de la terre par télédétection en synergie

INTRODUCTION

avec les systèmes d'information géographique (SIG) est étudiée. La méthodologie proposée combine les données de mesure in-situ et les données Landsat 8 Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor (OLI/TIRS) avec les indices (NDWI, MNDWI, NSMI, NDSSI, WRI, AWIE, NDMI) a calculés par le logiciel ENVI.

Le but global de notre travail c'est de montrer l'utilité et l'importance de la télédétection et SIG dans la quantification des paramètres physico-chimiques de l'eau de barrage, ainsi que la télésurveillance des barrages.

Les objectifs spécifiques de notre travail consistent à :

1-Déterminer la qualité de l'eau brute du barrage de TILES DIT en faisant des mesures in-situ suivi avec des analyses au laboratoire concernant les paramètres physico-chimiques de 30 échantillons de l'eau de barrage.

2-Cartographier des paramètres physico-chimiques mesurés afin de pouvoir interpréter leurs variations géospatiale en utilisant un Système d'Information Géographique (ArcGIS 10.2).

3- Estimation des indices spectrales de l'eau de barrage par télédétection à partir d'une image satellitaire multispectrale (Landsat-8 OLI du 18/03/2019) acquit en concordance avec les prélèvements des échantillons de l'eau de barrage (même jour et horaire).

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 portera sur l'aspect des SIG et télédétection dans l'évaluation de la qualité des eaux.
- Le troisième chapitre sera consacré à la description du barrage étudié et les différentes méthodes d'analyse ainsi que le matériel utilisé rappelant les techniques d'analyses mises en œuvre.
- Dans le quatrième chapitre, nous exposerons les résultats d'analyse physico-chimique de l'eau et les résultats de calcul d'indices de qualité de l'eau du barrage avec discussions des résultats obtenus.
- Notre étude on l'achèvera par une conclusion générale et perspective.

Chapitre I

Généralités sur la Qualité

De L'eau

Le présent chapitre propose un aperçu des principaux concepts de base en relation avec l'eau afin de connaître l'aspect primordial de notre recherche est d'avoir un canevas général de l'ensemble des paramètres de mesures qualitatives de l'eau.

I.1. Définition de l'eau

L'eau ou H₂O appelé aussi or bleu est le premier élément naturel vital indispensable à la vie, apparue il y a plus de 3 milliards d'années, l'eau est presque aussi ancienne que la Terre (**Metayer, 2004**). L'eau définie comme une substance sans couleur ni odeur, ni goût. (**Saint-Laurent, 1984**) C'est le seul élément qui peut coexister sous les trois formes physiques ; solide, liquide, gazeuse (**Boislève, 2010**).

L'eau potable doit répondre à des normes établit soit au niveau national, ou international Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (**O.M.S., 1972**) l'eau ne peut être potable, que si elle présente des concentrations normalisées de sels physiologique nécessaires à l'organisme (potassium sodium, magnésium et calcium) et assure l'absence de bactéries, de virus et de toute substance chimique toxique qui figure une nocivité. Ces substances sont la source majeure de plaintes des consommateurs (**Namkung et Rittmann, 1987**).

I.2. Cycle hydrologique

Comme l'eau est une ressource naturelle très importante, bien qu'elle recouvre plus de 70% de la surface de notre planète. Depuis, son volume est resté globalement stable (**Hem, 1985**).

Entre la lithosphère et l'atmosphère, la même eau est en circulation depuis des milliards d'années (**Metayer, 2004**). Cette eau est toujours en mouvement et se transforme en permanence et change constamment d'état physique, de liquide en vapeur et en glace, cela par l'intervention des facteurs climatiques (T°, vent, pression, précipitations) (**Amjad, 2010**). Suivant un cycle qui se répète indéfiniment six phases majeures sont interdépendants durant ce cycle biogéochimique de l'eau (**figure 01**) :

- 1) **Evaporation et évapotranspiration** : Grâce à l'énergie solaire, l'eau des mers et des océans s'évapore dans l'atmosphère.
- 2) **Condensation** : Au contact de l'atmosphère, la vapeur d'eau se refroidit et se transforme en gouttelettes qui vont former les nuages, la brume ou le brouillard.

- 3) **Précipitation liquide et solide** : Par l'intervention des vents, les nuages se déplacent dans l'atmosphère. Lors d'un changement climatique et par effet de gravité, les nuages s'alourdissent et retombent sur le sol sous forme d'eaux pluviales, de grêle ou de neige.
- 4) **Infiltration dans le sous-sol** : Les eaux de pluie qui pénètrent dans le sol par infiltration peuvent stagner jusqu'à des milliers d'années avant de retourner dans les océans.
- 5) **Ruissellement** : 70% des eaux de pluie s'écoulent le long des pentes pour se jetées ensuite et se lessivent dans des mers, lacs et des barrages de réservation d'eau.
- 6) **Écoulement** : l'eau infiltré par le sol s'écoule lentement dans les couches lithosphériques jusqu'au nappes phréatiques proches de la surface les nappes captives qui sont plus profondes (**Kiwad, 2018**).

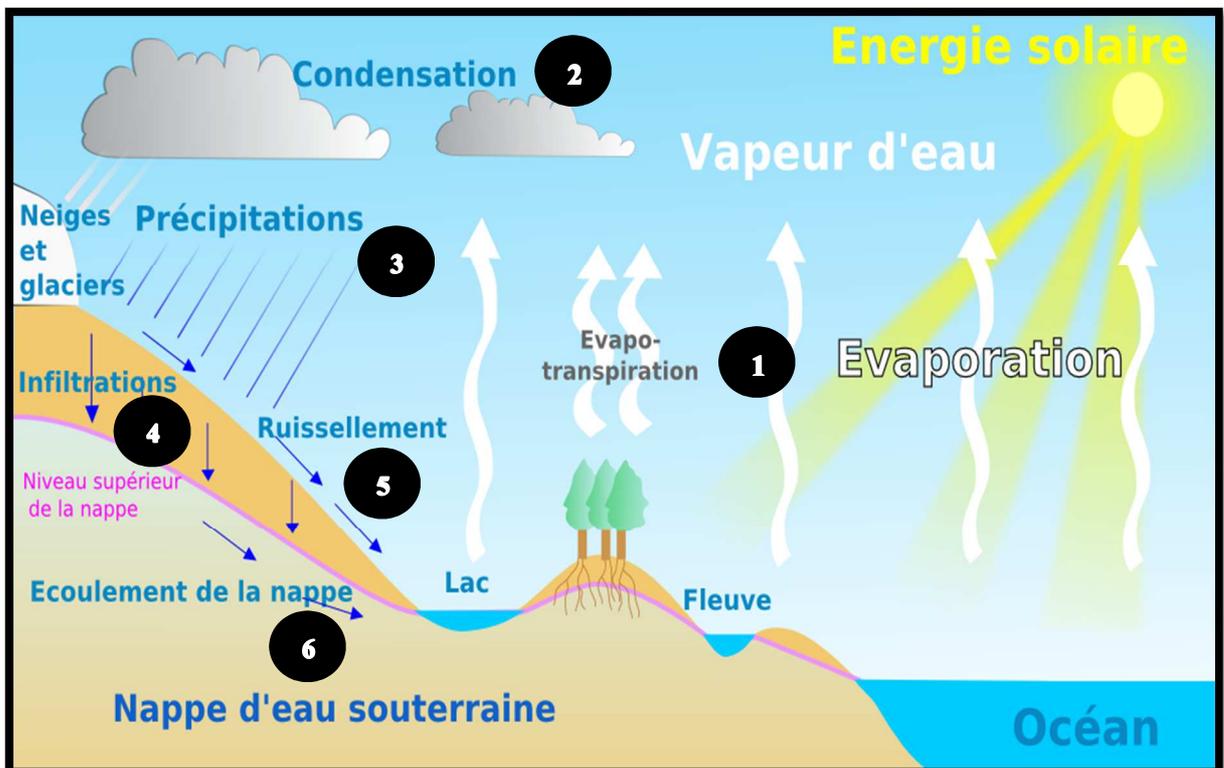


Figure (1) : Cycle biogéochimique de l'eau (**C.I.Eau, 2018**)

I.3. Importance de l'eau

"L'eau est le sang de la terre, le support de toute vie" (**Schauberger, 1985**). L'absence de l'eau, la vie sur terre disparaîtra, son importance ne réside pas seulement dans son existence, cependant l'austérité de son rôle fonctionnel qui veille sur l'équilibre de la planète régulièrement. Si on se réfère un peu à l'histoire, l'eau a été toujours la matière première la plus utilisable par l'homme primitif, afin de développer sa vie (**Belghiti et al., 2013**).

De multitude études sur le sujet ont démontré que l'eau a été toujours considérée comme faisant partie des énergies renouvelables et intégrantes du développement énergétique, de la production, et aussi un élément fondamental du développement économique durable. (**Liu et al., 2017**)

I.4. Les grands réservoirs d'eau

Les réserves globales d'eau naturelle disponibles sont constituées des charges d'eaux atmosphérique, d'eaux de surface (barrages, lacs, rivières,) d'eaux souterraines (nappes phréatiques, nappe captive) des eaux terrestres, et en eaux de mer et océan, ce dernier présente le plus grand réservoir d'eau naturelle.

I.4.1. L'eau atmosphérique

Une quantité immense de vapeur d'eau contenue dans l'air sous forme de gaz (H_2O), l'eau se concentre afin d'alimenter l'atmosphère. L'atmosphère présente un réservoir ou une source d'eau issue de l'évaporation des eaux de surface terrestre, ainsi l'évapotranspiration des végétaux chlorophylliens. Ces vapeurs d'eau se régénèrent par leurs intégrations dans le cycle hydrologique afin de garder son équilibre. En outre, l'eau atmosphérique intervient dans l'établissement du bilan radiatif de la planète. (**Ekaterina et al., 2012**)

I.4.2. L'eau souterraine

Les eaux souterraines sont les quantités qui se trouvent sous la terre dans les fissures et les espaces entre les sols, et les roches où elles sont stockées et se déplacent lentement. Et donc c'est de l'eau contenue dans les roches poreuses saturées par les eaux de pluie qui sont infiltrées. Elle représente la seule source d'approvisionnement en eau potable qui se caractérise par leur qualité plus au moins tolérable (**Gregor, 2013**).

I.4.3. Le réservoir d'eau continentale

Plus d'un tiers de la masse d'eau terrestre se figure à la surface de la croûte océanique et du manteau, il englobe les eaux d'écoulement et celles qui sont stagnées. Ces eaux sont les plus exposées à la pollution et sont naturellement riches en matières en suspension et en matières organiques naturelles, acides, peu minéralisées. Sa qualité varie en fonction de leurs origines. (**Marsily, 2006**)

I.4.4. Mers et océans

Les mers et les océans sont des étendues d'eau salée contrairement aux fleuves, rivières et lacs. Les mers et les océans recouvrent 71% de la surface de la Terre et sont à la base de l'équilibre du climat. **(Andrée, 2001)**

L'eau des mers et des océans est naturellement salée. La teneur moyenne en sel varie en fonction de l'arrivée d'eau douce (plus il y a d'eau douce, moins il y a de sel, et inversement). Les océans ont pour principales caractéristiques d'être d'une superficie bien supérieure à celle des mers et d'être délimités par plusieurs continents. **(Monnot et al., 2016)**

I.4.5. Barrages

Un barrage, nommé aussi retenue artificielle. Un barrage est un ouvrage construit en travers d'une vallée, pour retenir l'eau ou constituer un réservoir. Il désigne l'étendue d'eau formée par des processus parfois non humains, par accumulation à l'amont du barrage et utilisée pour le stockage, la régularisation et le contrôle des ressources en eau. **(UNESCO, 2005)**.

La plupart des barrages sont construits par des humains pour la recueillir des eaux des rivières et bien véhiculer les effluents des bassins versants pour se déboucher dans les barrages.

L'eau des barrages a des caractéristiques très variées selon les sources d'alimentation de barrage et la géologie de leurs terrains. **(Bampton, 1999)**

Le secteur hydrique en Algérie compte 136 retenues réparties sur tout le territoire national **(Annexe 1)**, atteindre une capacité de stockage de près de 12 milliards de mètres cubes sur l'ensemble du pays cette immense quantité d'eaux stockées est exploitées à des fins diverses. La création de ces barrages est conditionnée par des obligations et des nécessités bien définies. **(MREE, 2018)**

Les principaux objectifs des barrages peuvent être regroupés en quatre catégories :

- Réduire les irrégularités naturelles des flux d'eau à la surface du sol dans le but de les rendre compatibles avec les activités humaines.
- Garantir une source d'eau fiable pour les utilisations agricoles, industrielles et domestiques, réduire les risques liés aux crues.
- Utiliser l'eau comme source d'énergie (hydroélectricité...).
- Fournir un cadre pour certains loisirs.
- Un grand distributeur en eau potable après traitement. **(ANBT, 1985)**

I.4.6. Rivières

L'écoulement et le ruissellement des eaux des pluies rendent les rivières en mouvement. Elle commence sa course en son point le plus élevé en altitude et va descendre par gravité jusqu'à son point le plus bas. L'eau qui s'écoule se mélange de haut (surface) en bas (fond) et de gauche à droite de la rivière jusqu'au point de l'embouchure est l'arrivée de ce cours d'eau dans un fleuve ou dans la mer. **(Gregor, 2013)**

Le volume d'eau transporté par une rivière varie grandement au travers des saisons :

- Le Printemps : la fonte de la neige et les pluies printanières qui se traduisent par des fortes crues
- L'Été : période où le niveau d'eau est généralement au plus bas par le manque des précipitations sous ses différentes formes.
- L'Automne : les pluies abondantes viennent gonfler les eaux
- L'Hiver : sous la glace, le débit reste faible, mais peut augmenter lorsque les températures sont plus douces.

La répartition moyenne des volumes d'eau stockés dans les différents réservoirs naturels sont apparus dans le tableau ci-dessous. Cela montre aussi que chaque molécule d'eau reste dans un réservoir donné pendant une certaine période dont la durée moyenne est appelée « temps de résidence » il existe de grandes variations de temps de quelques heures à quelques millénaires **(Gremmel, 2016)** (tableau 01).

Tableau 1 : Stocks et temps de résidence de l'eau dans les divers réservoirs. **(Gremmel, 2016)**

Les réservoirs	Temps de résidence	Stocks en km ³ , (%)
Océans	2500 ans	1 350 000 000 (97,40)
Eaux continentales		35 976 700 (2,40)
Glaciers	1600 à 1900 ans	27 500 000 (1,98)
Eaux souterraines	1400 ans	8 200 000 (0,59)
Mers intérieures	250 ans	105 000 (7,58 x10 ⁻³)
Barrages et Lacs	1 à 17 ans	100 000 (7,21 x10 ⁻³)
Eaux superficielles	1 an	70 000 (5,05 x10 ⁻³)
Rivières	16 jours	1 700 (1,23 x10 ⁻⁴)
Atmosphère	8 jours	13 000 (9,38 x10 ⁻⁴)

Les océans constituent le réservoir principal du cycle de l'eau et la profonde moyenne de stock et que d'énormes quantités d'eau le traversent chaque année et donc est le plus durable dans le temps. (Gremmel, 2016)

I.5. Utilisations et consommation de l'eau

Les domaines d'utilisations de l'eau, accrue de plus en plus au fil du temps, correspondent à une mobilisation de la ressource en eau par des services multiples ; des unités fonctionnelles ou du développement et des secteurs rassurants le bien-être des sociétés. Certains usages valorisent l'eau économiquement (secteur industriel, production d'énergie, Les transports fluviaux et maritimes...), d'autres par une valorisation non économique symbolique a mise en évidence tel que l'esthétique, baignade et pour des loisirs nautiques. (Emmanuelle et Sandrine, 2011)

L'eau est également indispensable aux activités humaines : la consommation domestique, les besoins en eau de l'agriculture et de l'industrie sont en constante augmentation. (Bertrand, 2010)

I.5.1. Usages domestiques

L'utilisation domestique de l'eau est défini selon le code de l'environnement comme étant la quantité d'eau destiné à la satisfaction des besoins des personnes à domicile. On la retrouve ainsi dans toutes les activités qui rythment notre quotidien : toilette, lavages divers, évacuation des déchets, à boire, pour cuisinier, et même pour l'arrosage des jardins de quelques bâtisses. (Article R.214-5)

La consommation domestique d'eau représente aujourd'hui 10 % de la consommation d'eau mondiale, avec de fortes variations selon le niveau et le mode de vie des pays. Selon les directives de l'Organisation mondiale de la santé, la quantité disponible doit être suffisante (de 1 à 20 L par personne et par jour) et fournie de façon continue. (O.M.S., 1972)

I.5.2. Usages agricoles

L'agriculture est le plus gros utilisateur d'eau au monde, elle consomme environ de 70% des ressources en eau douce disponible sur terre, soit pour l'irrigation des cultures ou les élevages. (Jerome et al., 2004)

Historiquement, la progression du secteur agricole et l'accroissement de la productivité qui satisfait les besoins des populations fondée sur un usage intensif de l'eau en irrigation, tout en respectant les équilibres naturels des écosystèmes (**Muller, 2000**).

I.5.3. Usages industriels

Dans le domaine industriel l'eau utilisé dans divers processus, de production, de réactions chimiques, de refroidissement d'appareillage, ainsi que pour produire de la vapeur servant à la puissance d'entraînement directe. Donc, L'eau est présente dans presque toutes les chaînes de production et de transformation des produits que nous consommons : (métaux, plastiques, produits pétroliers, produits alimentaires...). De plus en plus, l'industrie recycle et réutilise cette eau réellement consommés, c'est-à-dire ne retournent pas au milieu naturel (**Benoudiz, 2012**).

I.6. Principaux types de la pollution de l'eau

Comme l'eau participe à toutes les activités quotidiennes de l'homme, quelles soit domestiques, industrielles ou agricoles, rend l'eau susceptibles de contenir des substances diverses, et comme un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution. La dégradation de l'état de l'eau par la pollution contribue de façon considérable à la limitation des ressources en eau et surtout en eau potable. (**Guergazi, 2014**)

I.6.1. Pollution organique

La pollution de l'eau par des polluants organiques qui sont des produits chimiques composés principalement d'atomes de carbone, d'hydrogène et de divers petits atomes en faible quantités, tels que le chlore. Ces polluants qui sont plus au moins biodégradable sont d'origine urbaine comme les protides qui se décompose en contact avec l'eau. Et d'origine industrielle sous forme des produits organiques toxiques tels que les phénols, les aldéhydes, les composés azotés, les pesticides, les hydrocarbures et les détergents. (**Rao, 1997**)

La biodégradabilité de ces composés organiques par des bactéries, engendre une surconsommation d'oxygène qui se traduira par une eutrophisation après l'asphyxie du milieu. (**Gilles et al., 2017**)

I.6.2. Pollution minérale

Elle s'agit de l'excès d'ions minéraux dans l'eau, issue principalement d'effluents industriels contenant des substances minérales tel que : le plomb, l'arsenic, les sels, les nitrates, les chlorures, les phosphates, les ions métalliques, le chrome, le cuivre et le chlore. **(Bechac et Boutin, 1988)**

I.6.3. Pollution microbienne

Un grand nombre de microorganismes vient généralement de décharges, d'épandages d'eaux usées, de l'élevage, de fosses septiques, de fuites de canalisations et d'égouts ou d'infiltration d'eaux superficielles, prolifèrent dans l'eau qui sert l'habitat naturel ou comme un simple moyen de transport pour ces microorganismes. Les principaux organismes pathogènes qui se multiplient ou qui sont transportés dans l'eau sont : les bactéries, les virus, les parasites et les champignons. On parle ainsi de pollution bactérienne, virale ou parasitaire. Ces microorganismes nocifs peuvent générer des maladies graves dans les cas de contact ou d'ingestion de l'eau qui en est porteuse. **(Thomas, 1955)**

I.6.4. Pollution par les métaux lourds

Les métaux sont les micro-polluants minéraux présents 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. **(Ezziane, 2007)**

I.7. Paramètres de mesure de la qualité de l'eau**I.7.1. Paramètres physico-chimiques****I.7.1.1. Température**

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit presque la totalité des caractéristiques importantes et réactions physiques, chimiques et biologiques de l'eau. Elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et aussi la détermination du pH. Sa mesure est effectuée par le thermomètre **(Nouayti et al., 2015)**.

I.7.1.2. pH

Le pH de l'eau est la mesure de la concentration en ions d'hydrogènes [H⁺] contenus dans l'eau, il renseigne sur son acidité et son alcalinité, ce paramètre peut être mesuré par un pH-mètre. Le potentiel d'hydrogène dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé. La valeur du pH est sensible à la température, la salinité, et aux gaz dissous dans l'eau. Selon les normes de l'OMS relatives à la potabilité des eaux, les valeurs optimales du pH est compris entre 6,5 et 9,5. (Al-Qawati et al., 2015)

I.7.1.3. Salinité

La salinité est une propriété de l'eau de mer qui est fondamentale à l'étude du milieu marin (Aminot et Chaussepied, 1983).

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 (Chevallier, 2007).

I.7.1.4. Conductivité électrique (CE)

La conductivité est la mesure du degré de la salinité, désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, la conductivité électrique renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau. La CE se mesure par un conductimètre qui fournit une indication précise sur la concentration totale en sels dissous. (Nisbet et al., 1970)

I.7.1.5. L'oxygène dissous

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute, d'autant plus que les eaux sont froides et douces, seuls les principaux facteurs de contrôle de la variation de l'OD y sont brièvement mentionnés, notamment l'influence de l'activité autotrophe et hétérotrophe en relation avec la productivité du milieu, de même que l'effet de la température sur les concentrations en oxygène. (Valérie et al., 2005)

La teneur de l'OD dans l'eau est mesurée en nombre de milligrammes d'oxygène (O₂) par litre d'eau (mg/L) ou en pourcentage de saturation. Sa valeur est en fonction de l'origine de l'eau. (Hubiche, 2012)

I.7.1.6. 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. (André et al., 2000)

I.7.1.7. 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). (Amjad, 2010).

I.7.1.8. Demande chimique en oxygène (DCO)

Désigne la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement et totalement les matières organiques contenues dans l'eau qu'elle soit ou non biodégradables qui seront transformée en gaz carbonique. Dans ce cas, l'oxygène est fourni par un oxydant puissant (bichromate de potassium). Le principe repose globalement sur la technique de dosage effectué par spectrophotométrie. (Gomella et Guerree, 1978)

I.7.1.9. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

Elle est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants pour assurer l'oxydation et la stabilisation des matières organiques présentes dans l'eau. C'est un paramètre qui permet d'évaluer la fraction de la pollution organique biodégradable. Par convention, la DBO₅ est la valeur obtenue après cinq jours d'incubation. (Eckenfelder, 1982)

I.7.1.10. 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. (**Flood et Cahoon, 2011**)

I.7.1.11. 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 (**Sbargoud, 2009**).

I.7.2. Paramètres microbiologiques**I.7.2.1. Germes pathogènes**

Les eaux peuvent contenir des organismes (virus, bactéries, protozoaires, helminthes...) qui peuvent être pathogènes. Il est d'usage de se contenter de mesurer des «germes tests » qui comprennent les coliformes du genre *Escherichia coli* et les streptocoques fécaux dans l'eau.

La présence de certains germes dans l'eau sont indicateurs soit d'une contamination, soit de possibilité de contamination de l'eau par ces pathogènes (**Landreau et Sauter, 1983**).

a. Bactérie (*Escherichia coli*)

E.coli est présente indépendamment avec une majeure partie dans l'eau, avec laquelle on la confonde habituellement, mais abusivement il est un bon indicateur de contamination fécale d'origine liée au déversement des eaux usées dans les surfaces d'eau (**Paruch et Maehlum, 2012**).

b. Virus

Les virus sont présents eux aussi en quantité dans les effluents urbains (poliovirus, adénovirus, hépatit A, etc.) mais y sont rarement recherchés. En revanche, les analyses de ses germes sont un peu plus fréquentes dans les eaux superficielles. (Masschelein, 1992)

c. Parasites

Les parasites tels que les formes enkystées des amibes, des œufs de ténia sont très rarement recherché. L'ensemble des analyses réalisées dans le cadre de la recherche d'une contamination bactériologique doit toujours s'interpréter avec précaution, car le travail sur du matériel biologique est extrêmement complexe et soumis aux variations inhérentes aux micro-organismes.

La présence de ces organismes dans l'eau est plus souvent due à une dégradation de la qualité de la ressource en eau, à une mauvaise protection ou un manque d'entretien des ouvrages de captages. Le paramètre d'évaluation de la qualité bactériologie de l'eau est plus important, ce qui doit être strictement suivi. Car la mise en évidence de ces germes dans l'eau témoigne de la possibilité de présence de germes pathogènes. (Masschelein, 1992)

I.8. Normes des paramètres physico-chimiques de l'eau potable

Pour certifié la bonne qualité de l'eau potable et la destinée à la consommation humaine, elle doit répondre à des normes physique, chimiques et bactériologiques précises et qui peut donc être bue sans provoquer de maladies (tableau 2).

Le tableau suivant (tableau 02) présente les principales normes qui caractérisent la qualité des eaux de consommations.

Tableau 2 : Normes et recommandations pour quelques paramètres de qualité de l'eau potable en Algérie. (MRE, 1997)

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Température	°C	Inférieur à 25°C
Potentiel hydrique		Entre 6.5-8.5
L'oxygène dissous	mgO ₂ /L	5 mgO ₂ /L
Turbidité	NTU	Ne doit pas dépasser 5 NTU

Conductivité	$\mu\text{s}/\text{cm}$	En dessous de 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$
Sulfate	[mg]/l	Maximum admissible [500] mg/l
Chlorure	mg/l	Maximum admissible [200] mg/l
Phénols	mg/l	Entre 0.001-0.002
DBO5	mg/l	5
DCO	mg/l	20
Dureté (TH)	mg/l en CaCO_3	500
Escherichia Coli	n/100ml	0
Bactéries sulfitoréductrices	n/20ml	0

Chapitre II

***Aperçu sur SIG et
télédétection pour l'évaluation
de la qualité des eaux***

II.1. Système d'Information Géographique

II.1.1. Définitions et concepts associés

Un système d'information géographique (S.I.G) est un outil informatique qui permet à partir de diverses sources, de rassembler, organiser, gérer, analyser, combiner, simuler, cartographier et de présenter des informations et des données alphanumériques spatialement référencées et localisées géographiquement, **(Thériault, 1994 ; Evens et al., 2018)** contribuant notamment à la gestion de l'espace, ainsi que de produire des plans et cartes **(Pornon, 1996)**.

Un SIG est un système informatique de matériels, de logiciels, et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion, et a la simulation de comportement d'un phénomène naturel. **(Taceicawa et al., 1994)**

Ses usages couvrent les activités géomatiques de traitement et diffusion de l'information géographique.

Le SIG est un ensemble de données repérées dans l'espace, structurées de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision. **(Thériault, 1992)**

Les disciplines mobilisées pour fournir des méthodes ou des techniques dans le domaine des SIG sont nombreuses. On peut citer : la géodésie, la géographie, la topographie, l'informatique, la mathématique, la cartographie, la photogrammétrie, la statistique, la télédétection, le management,... Le domaine des SIG constitue historiquement un domaine spécifique à part de la géographie et de l'informatique qui a suscité un développement spécifique. Mais chacune des disciplines génère sa propre approche des SIG. **(Rhind et al., 1991)**

II.1.2. SIG et gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)

Le travail sur les relations vise à comprendre le fonctionnement du système d'information géographique et à identifier l'ensemble des concepts et les facteurs déterminants les méthodes d'une politique de gestion raisonnée et durable de l'eau. **(Charnay, 2010)**

II.1.2.1. Définition de la (GIRE)

La GIRE est un processus qui encourage la mise en valeur et la gestion coordonnée de l'eau, des surfaces et la qualité des ressources associées en vue de maximiser de manière équitable le bien-être économique, social et environnementale. (PME, 2000). Et donc la GIRE serait « un outil visant la mise en vigueur et la gestion d'eau » (Ouédraogo, 2007). Elle comprend la collecte de données, l'analyse de processus physiques et la prise de décisions par rapport à la disponibilité, l'exploitation et l'usage des ressources en eau. Permettant à la fois :

- de lutter contre les catastrophes naturelles et les risques 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.
- De prévenir et de combattre les pollutions de toutes origines et de toutes natures, afin de préserver les écosystèmes aquatiques. (Salleron, 1994)

II.1.2.2. Relation entre la GIRE et les SIG

La mise en place de système (SIG) est un atout majeur pour l'élaboration d'une gestion des ressources naturelles en eau, C'est aussi un moyen efficace pour rendre performants les différents systèmes de collecte et de suivi de données liées à la ressource elle-même. Gérer l'eau ne peut se limiter à l'évaluation des besoins et à la construction d'ouvrages de maîtrise d'eau pour leur satisfaction (Landon, 2007). Au travers cet outil, toutes les données de base seront facilement prises en compte pour la GIRE. Ainsi la prise de décision se fera en prenant en compte tous les usages liés à la ressource et son évolution. Car il permet aussi le suivi de la ressource au cours du temps (Weiler et al., 2003).

Le bon fonctionnement de ce système est un maillon essentiel à la planification des ressources en eau, toutes les expertises doivent être mises à contribution. (Rietjens et al., 1995)

Au terme de ce constat, nous pouvons dire que le SIG est un outil indispensable dans la mise en œuvre de la GIRE. Ils permettent d'avoir une vue panoramique sur tous les enjeux liés à l'eau afin d'en tenir compte dans les prises de décision et d'élaborer des cartes de surveillance appropriées (Smida et al., 2005).

II.1.3. Evaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux

L'évaluation spatio-temporelle à long terme de la qualité de l'eau est importante pour comprendre les phénomènes qui arriveront dans un système aquatique et faciliter la tâche pour discuter les effets des polluants naturels ou anthropiques sur la qualité de l'eau. (Amjad, 2010)

Ce processus est le suivi de la variation de la concentration d'un élément et des compartiments de l'eau (pH, température, salinité, ions et cations,...) ou le changement de l'état d'un corps avec le temps. Tandis que le suivi peut être quotidien, hebdomadaire, ou parfois être mensuel. Comme il peut aussi être spatial, où les échantillons sont pris à différentes profondeurs. Dans le but de faire un suivi de la variabilité spatio-temporelle de la qualité de l'eau et pour étudier la stabilité temporelle de la structure spatiale, et mesurer ses variations (Fahssi et al., 2016 ; Mabrouki et al., 2015)

II.2. Télédétection

II.2.1 Définition

Le mot télédétection (en anglais « remote sensing ») désigne l'ensemble des techniques qui permettent d'étudier des objets ou des phénomènes à distance sans contact direct avec la surface de la Terre, par l'acquisition d'images (Larousse, 2019).

La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, par une cible quelconque, et aussi à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information. (Soudani, 2005 ; Guillet, 2005).

La télédétection est un moyen très commode de créer les données à introduire dans les SIG. Il s'agit en effet d'utiliser, dans des conditions particulières et rigoureuses, soit les photographies aériennes, soit les images enregistrées et transmises par satellite (Sauvagnargues-Lesage et al., 2005 ; Lamine et al., 2014, 2017, 2019 ; Evans et al., 2018)

II.2.2 Principe de la télédétection

Le principe de base de la télédétection est similaire à celui de la vision de l'homme. La télédétection est le fruit de l'interaction entre trois éléments fondamentaux ; une source d'énergie, une cible et un vecteur (Figure 2).

- La cible : est la surface de terre captée par le satellite.
- La source d'énergie : c'est le flux de photons ou l'onde électromagnétique émet par l'élément qui éclaire la cible.
- Le vecteur : appelé aussi plate-forme de télédétection mesure le rayonnement électromagnétique de l'énergie solaire réfléchi par la cible le vecteur peut être un satellite un avion. (Soudani, 2005)

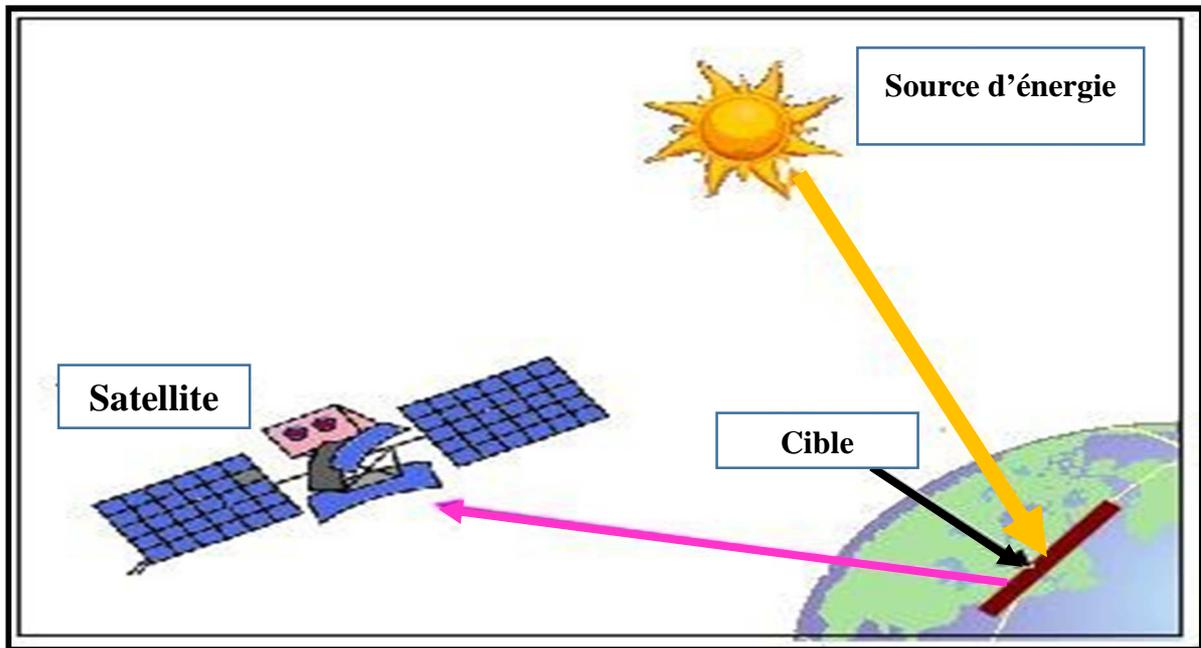


Figure (2) : Principe de base de la télédétection. (Centre Canadien de Télédétection)

II.2.3 Les caractéristiques des images satellitaires

Dans la mesure des données de télédétection où il existe différents types d'images (Landsat, ortho-photographie), obtenues depuis des plateformes aéroportées ou satellitaires, sont le plus souvent des images numériques structurées sous forme de matrices spatialisées, il convient de s'attacher à comprendre les spécificités de chacun d'eux. Afin de savoir ce que chaque type peut apporter et de choisir entre les différentes combinaisons vecteur / capteur, il faut notamment prendre en compte trois caractéristiques : la résolution spectrale, la résolution spatiale et la résolution temporelle (Servadio, 2011).

II.2.4 Les type de Résolutions

II.2.4.1. La résolution spatiale

La résolution spatiale correspond à la taille du plus petit objet perceptible dans une image. Il s'agit du pixel, qui est la plus petite surface homogène constitutive d'une image numérique. Généralement la résolution spatiale est exprimée en mètre (Clark, 2004).

La RS étant la fonction de la dimension du plus petit élément qu'il est possible de détecter dépend de son Champ de vision instantanée (CVI) qui est le cône visible du capteur (A) et de sa cellule de résolution aire de la surface visible à une altitude donnée et à un moment précis (B) comme elle représente la (figure 3). (CCRC/CCT.2008)

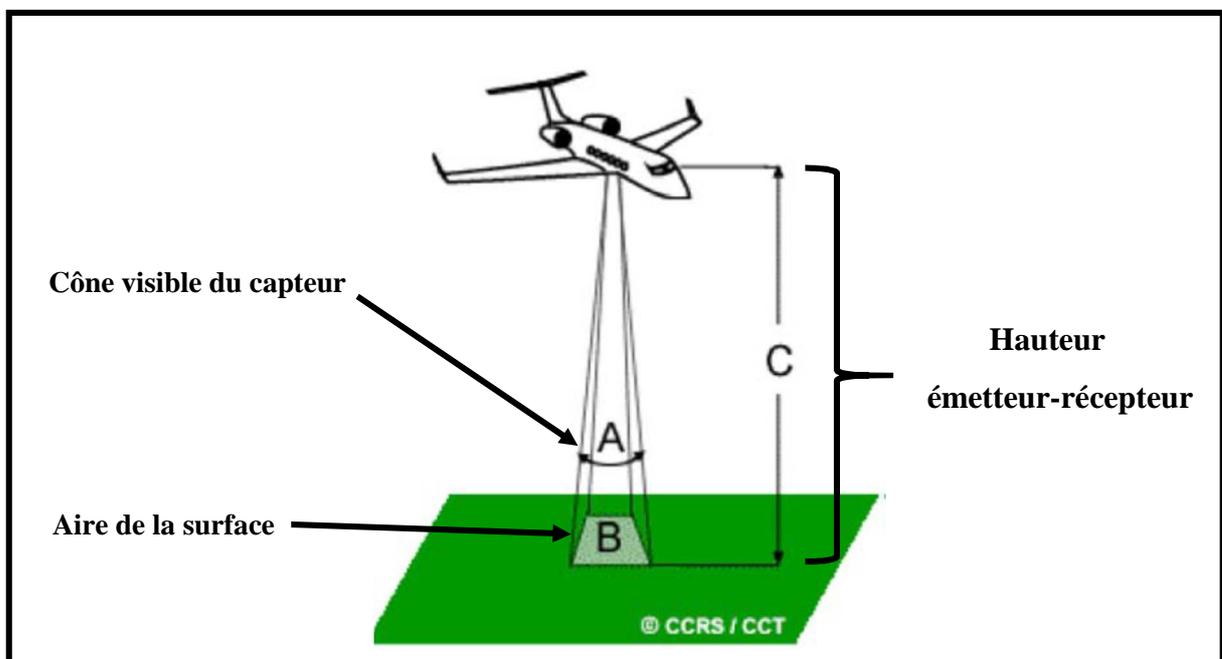


Figure (3) : Signature spectrale sur la surface de la Terre. (CCRC/CCT.2008)

II.2.4.2. Résolution radiométrique

La Résolution radiométrique décrit la capacité de reconnaître de petites différences dans l'énergie électromagnétique et distinguer deux quantités d'énergie voisines, Par une plage dynamique : gamme de longueurs d'onde à l'intérieur de laquelle un capteur est sensible exemple : capteur utilisant 1 bit, 8 bits (figure 4). (Wiederkehr et al., 2008)

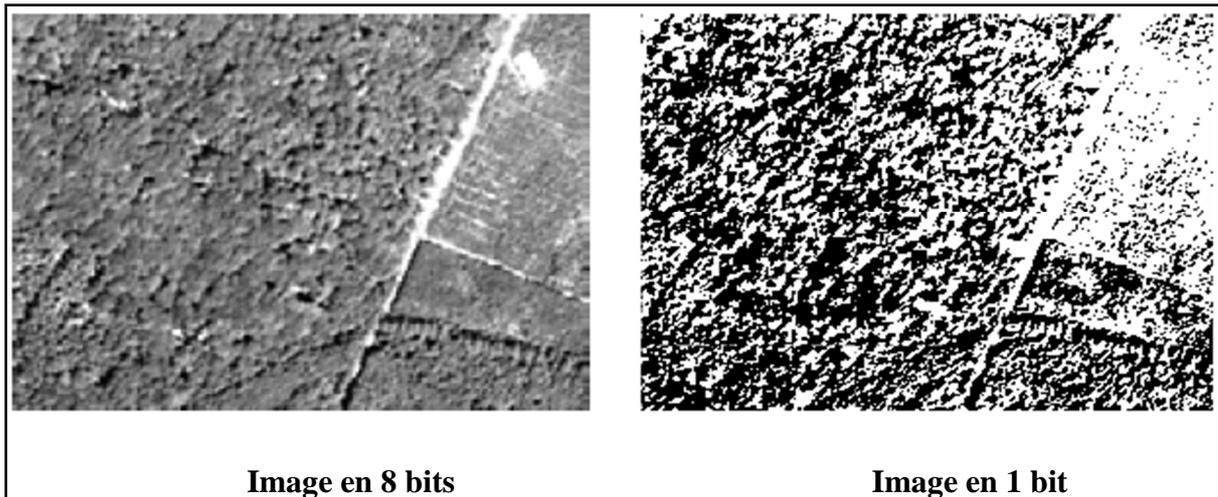


Figure (4) : Différence de l'absorbance de l'énergie électromagnétique entre 1 et 8 bits.
(CCRC/CCT.2008)

Le rayonnement réfléchi par les cibles au sol et enregistré par le capteur est codé en format numérique binaire et l'image résultante est en niveaux de gris

II.2.4.3. Résolution spectrale

La résolution spectrale correspond à l'aptitude du capteur à distinguer des rayonnements électromagnétiques de fréquences différentes. Etant donné que les objets n'absorbent pas tous la même partie du rayonnement solaire, le spectre du rayonnement réfléchi sera différent en fonction de chaque objet (Wiederkehr et al., 2008).

La spectrale est définie par le nombre de bandes ; la largeur des bandes du capteur et le pas d'échantillonnage spectral de l'instrument (Clark, 2004), On qualifie un capteur de haute résolution spectrale lorsque la largeur des bandes est étroite et de résolution hyper spectrale lorsque les bandes sont à la fois étroites .Une amélioration de la résolution spectrale se traduit souvent par une meilleure appréciation de la signature spectrale de la surface considérée (Robin, 1999).

II.2.4.4. Résolution temporelle ou répétitivité

Correspond à la période entre deux acquisitions de la même scène. Cette résolution ne dépend pas du capteur mais de l'orbite et du mode de manœuvre du satellite. Notons que le satellite SPOT offre la possibilité de viser un site sur commande permettant ainsi d'assurer une

excellente résolution temporelle. Sans manœuvre, la résolution temporelle de SPOT est de 26 jours, 16 jours pour LANDSAT TM et 14.5 jours pour NOAA-AVHRR.

C'est le cycle de passage du satellite effective : dépend de la zone de chevauchement entre les fauchées adjacentes, de la capacité du satellite et de ses capteurs et de latitude (Soudani, 2005 ; Petropoulos et al., 2016 ; Suman et al., 2018 ; Deng et al., 2019a, 2019b).

II.3. Télésurveillance de la qualité de l'eau

II.3.1. Bases de la télédétection de la qualité de l'eau

La recherche soutenue par le projet **EU BON** a démontré que la télédétection par satellite (TDS) serait l'une des approches les plus rentables pour l'identification de la qualité de l'eau superficielle et la prévision des changements relatifs à la composition physico-chimique. Il est difficile d'évaluer avec la surveillance traditionnelle la qualité de l'eau dans de courtes périodes, ce qui est essentiel pour la planification, l'évaluation et la gestion sanitaire des plans d'eau (Wang et al., 2001).

Les techniques de télédétection sont utilisées pour mesurer et effectuer le suivi à distance, pour fournir des évaluations de la distribution, de la quantité et de la qualité de l'eau de surface (Shen, 2010).

L'incorporation des données de télédétection dans un SIG permet le calcul et l'évaluation rapides des niveaux d'eau, des dommages et des régions en danger d'inondation et d'établir un processus de surveillance spatiotemporel. (Hellweger et al., 2004).

II.3.2. Interférences atmosphériques

Avant que le rayonnement électromagnétique utilisé pour la télédétection n'atteigne la surface de la Terre, celui-ci doit traverser une certaine épaisseur d'atmosphère. Les particules et les gaz dans l'atmosphère peuvent dévier ou bloquer le rayonnement incident. (Figure 5) Ces effets sont causés par les mécanismes de diffusion et d'absorption. La diffusion se produit lors de l'interaction entre le rayonnement incident et les particules ou les grosses molécules de gaz présentes dans l'atmosphère.

Les particules dévient le rayonnement de sa trajectoire initiale. Le niveau de diffusion dépend de plusieurs facteurs comme la longueur d'onde, la densité de particules et de molécules,

et l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement doit franchir (**Centre canadien de télédétection, 2008**).

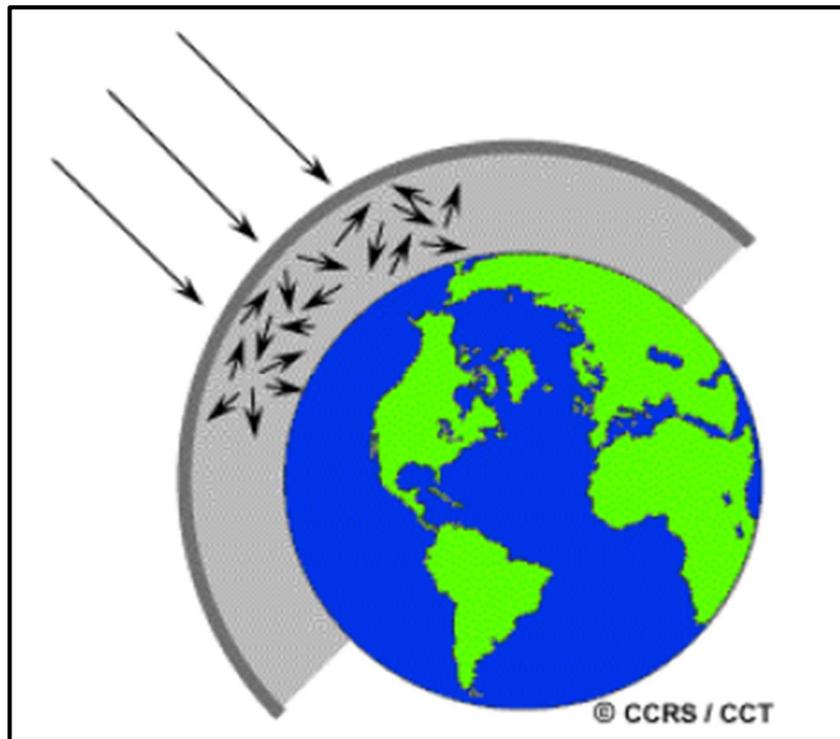


Figure (5) : Interaction : rayonnements-atmosphère (CCRC/CCT, 2008).

Chapitre III

Matériels et méthodes

III.1. Présentation de la zone d'étude

III.1.1. Présentation et localisation du barrage TILES-DIT

Le barrage de TILES-DIT ou les échantillons étudiés sont prélevés est situé dans la partie septentrionale centrale d'Algérie, à 18km à l'Est de la ville de Bouira. Le site du barrage est à 4km de la RN n°5 Alger – Constantine. A l'aval, à 7km du site, on signale la confluence de l'oued Eddous avec Zaiane avec la formation de l'oued Sahel.

C'est un barrage récent, mis en service à la fin de l'année de 2005. La retenue a une capacité totale maximale de 167 millions de m³. La retenue est destinée à la régulation de l'écoulement de oued Eddous pour l'alimentation en eau potable l'ensemble de la population de la wilaya de Bouira (695 583 habitants en 2008) ainsi pour l'irrigation des terrains de cette dernière et même les wilayas qui l'entourent comme Bordj Bou Arreridj et M'sila (ZARUBEZZHVODSTROY, 2004).

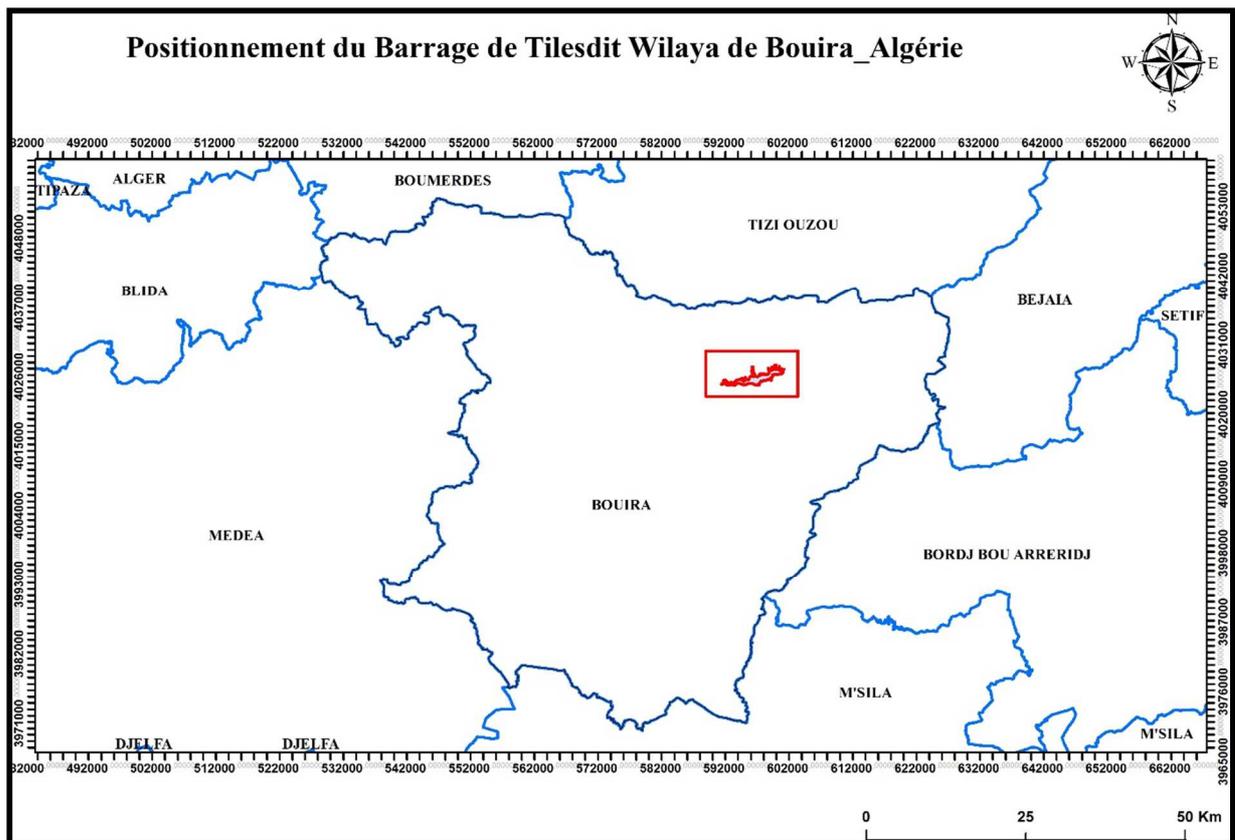


Figure (6) : Positionnement du barrage TILES-DIT wilaya de Bouira Algérie. (Originale)

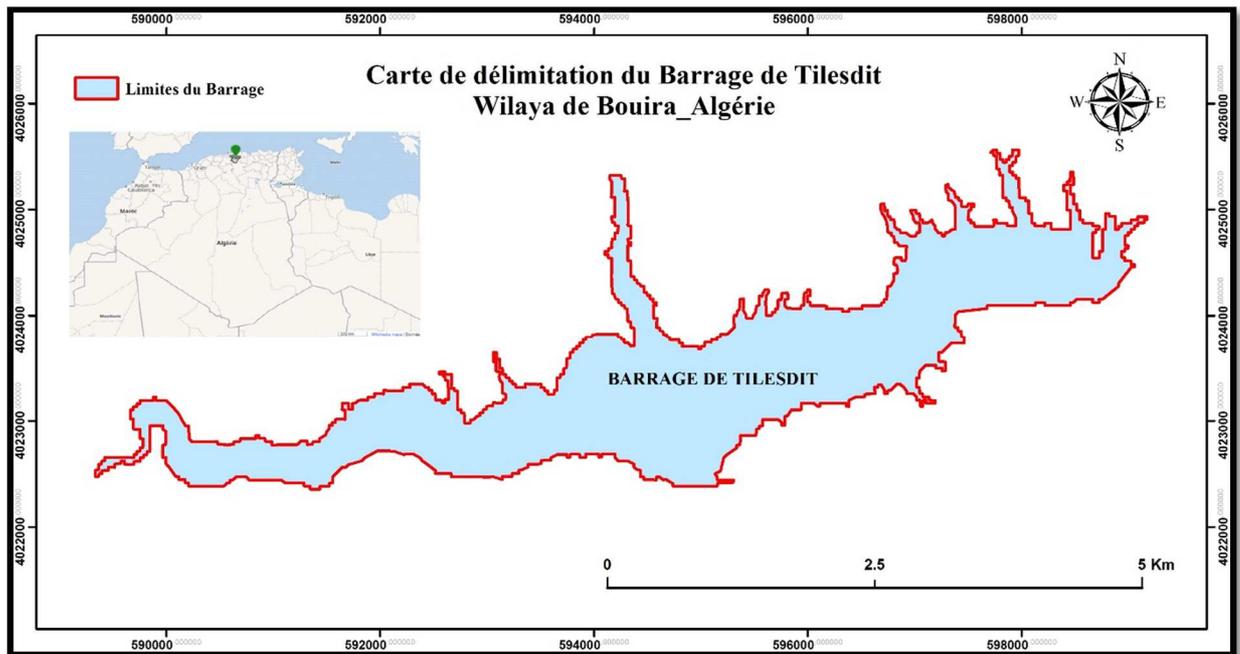


Figure (7) : Carte de délimitation du barrage de TILES DIT Wilaya de Bouira_ Algérie.
(Originale)

III.1.2. Historique de réalisation du barrage

Le barrage de TILES DIT a été réalisé par l'avenant n°1 du marché n° 157/ANB/SM/93 relatif à la construction du barrage signé entre l'ANB et « SELKHOZPROMEXPORT » le 3 octobre 1993, le chantier a été transféré au mois de novembre 1993 à l'entreprise « ZARUBEZZH Vodstroy », Russie, sans changer l'ensemble des clauses contractuelles entre le Ministère des ressources en eau de la RADP et l'entreprise. Initialement, en septembre 1997, l'entreprise a entamé les travaux de construction et les a finalisés en 2004.

D'après l'importance de ses ouvrages, de la hauteur de la digue, du milieu géologique de la fondation, de l'existence de beaucoup de localités, de routes à l'aval, l'ouvrage de TILES DIT est classé de gros travaux (ANB, 1993).

III.1.3. Géologie, hydrogéologie et géomorphologie de la région

III.1.3.1. Structure géologique

Sur le plan géologique, la région étudiée se trouve dans la partie moyenne du domaine de plissement mésozoïque - cénozoïque qui renferme les chaînes montagneuses de la Grande Kabylie et de l'Atlas Tellien dans le trait distinctif est la présence des systèmes de nappes miocène chevauchées dans la direction sud. La composition lithologique des formations

déluviales et proluviales est hétérogène, argiles et limons argileux avec l'inclusion de la roches mères (Sokratov, 1972).

III.1.3.2. Hydrogéologie

D'après la nature d'alimentation, l'étendu et la décharge des eaux souterraines fait distinguer les nappes aquifères et les complexes. La couche aquifère est relie hydrauliquement aux eaux souterraines des dépôts déluviaux – proluviaux et les roches- mères de l'aquitaniens. (RPERGGPTPEBT, 1998).

Le niveau des nappes d'eau souterraine varie en fonction du régime hydrologique des cours d'eau à son tour, dépend des précipitations atmosphériques et conditionné par la structure géologique, la composition et la nature de la roche mère. Alors que l'amplitude des variations du niveau de la nappe souterraine du bassin de barrage TILES DIT est de 1,5 à 2.5m, le coefficient d'infiltration des terrains sous-sol varient de 3 à 60 m/jour. Les eaux infiltré sont généralement douces, peu minéralisées, chlorurées, sodiques et magnésiennes sodiques. (Gromov et Gaspirovitch, 1999)

III.1.3.3. Géomorphologie et topographie du bassin

Dans la zone du barrage, la vallée de l'oued Eddous qui porte le nom de Sahel à la direction sub latitudinale fait partie du plateau limité par la chaîne montagneuse du Djurdjura et la crête de Biban au sud est le seul territoire favorable sur l'oued Eddous permettant la formation d'une retenue avec un volume utile de 60 millions m³. La morphologie de la vallée dans cette zone est conditionnée par les affluents des rives gauche et droite, son bassin caractérise par la rive gauche affouillée, avec les pentes raides et la rive droite douce avec le lit majeur et la première terrasse pratiquement aplanis. Dans le site du barrage la largeur de la vallée de l'oued est de 80m, en aval, dans le secteur de confluence avec l'oued Barbar, la vallée s'élargi jusqu'à 3-4Km (UKRGUIPROVODKHOZ, 1988).

III.1.4. Climatologie de site du barrage

Les conditions climatiques de la région envisagée s'expliquent par sa situation géographique, caractère de circulation atmosphérique, l'effet thermique de la mer et le relief environnant. Les facteurs climatiques principaux sont caractérisés d'après les données des observations réalisées par les stations météo de la région. (Set Handassa, 2004)

III.14.1. Température de l'air

La région du barrage de TILES DIT se caractérise par un été chaud et sec et un hiver relativement doux. La température annuelle moyenne est de 15,1°C à 18,8°C. Le mois de Janvier est le plus froid (7,5° – 11,0°). Les baisses maximales observées de la température sont de -1.1°C. Le mois d'Aout est le plus chaud (24,1° – 29,2°). Les températures estivales maximales peuvent dépasser 46° (**Set Handassa, 2004**).

III.1.4.2. Les précipitations

Dans le bassin de l'oued Eddous les précipitations ont une répartition irrégulière. On observe un net zonage vertical dans la distribution des précipitations atmosphériques avec une augmentation à la hauteur. Le taux annuel de pluviométrie dans le bassin est de 655mm.

Les taux maximaux journaliers de précipitation étant un facteur majeur de la formation des crues catastrophique sur les versants de petites dimensions tombent pendant la période des cyclones méditerranéens. La répartition annuelle de précipitation est caractérisée par l'existence de deux périodes ; la période humide (novembre – avril) avec 80% de pluviométrie annuelle et la période sèche (mai – octobre). (**Set Handassa, 2004**).

III.1.4.3. Régime des vents

Les vents d'orientation occidentale et orientale prédominent dans la région. Les caractéristiques du régime des vents sont présentées à la base des résultats d'observation météorologique de M'Chedallah disposant des informations les plus complètes. Les vitesses moyenne maximales du vent fait 28 m/s, mais elle peut atteindre 42 m/s en été. (**Gromov et Gaspriovitch, 1999**)

III.1.5. Caractéristique hydrochimique d'eau

L'étude de la composition chimique et physique d'eau de l'oued Eddous dans le site de l'ouvrage hydraulique a été effectué pendant une période suffisamment longue, de 1976 à 1985, 270 échantillons ont été prélevés pour cette étude avec le changement des débits de 0.01 à 176 m³/s. La systématisation et l'analyse des résultats des observations ont montré une augmentation de l'hydraulicité accompagnée de la baisse de minéralisation d'eau. (**Normes et règles de construction, 1986**)

III.2. Matériel et Protocole expérimental

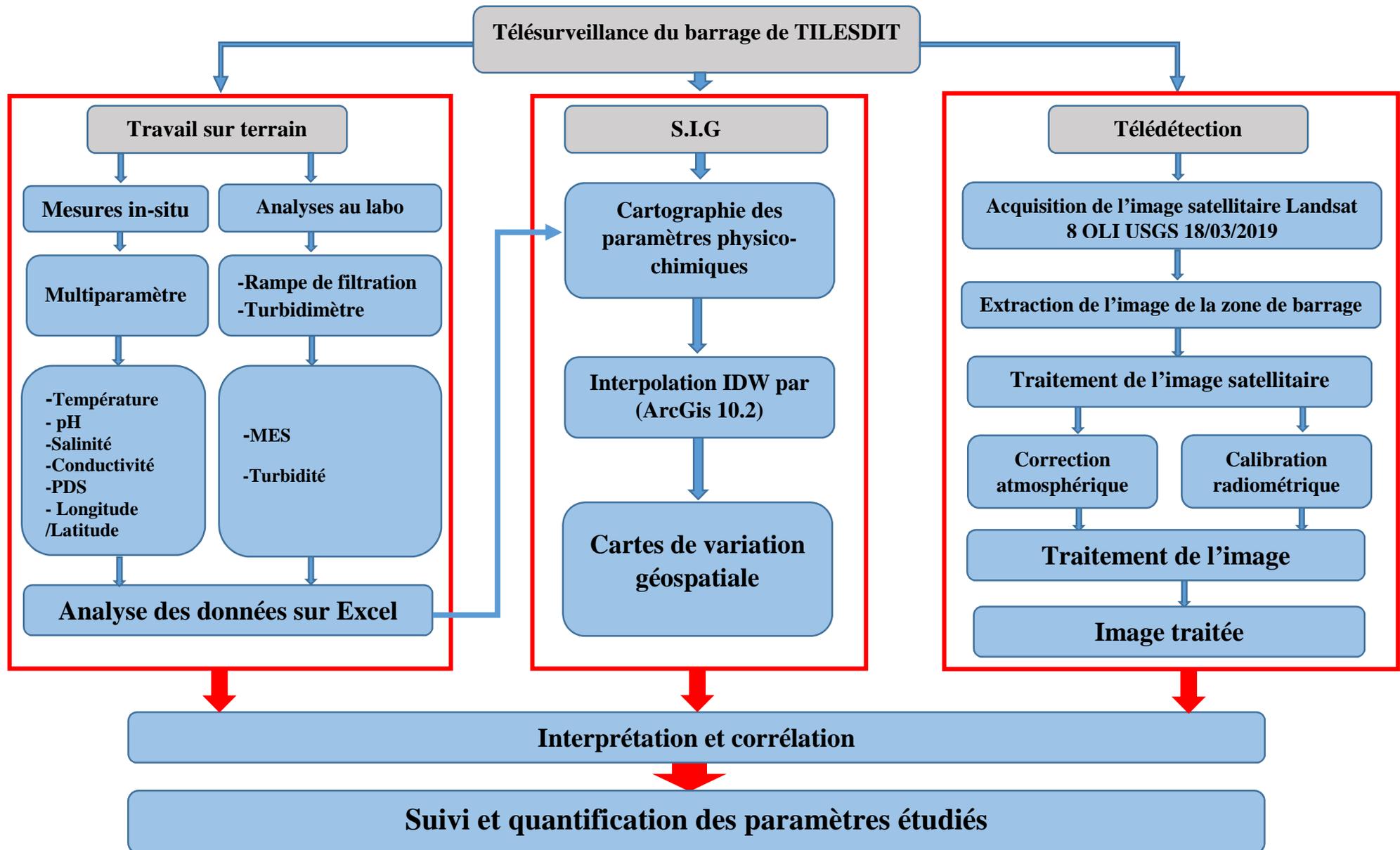
Il s'avère toutefois essentiel dans une étude pareille de pouvoir analyser une surface d'eau afin d'identifier les zones problématiques. Cette analyse implique la manipulation d'une somme considérable d'informations pour décrire la qualité physico-chimique de l'eau de barrage TILES-DIT. Le recours aux systèmes d'information géographique (SIG) et à la télédétection dans l'étude présent est alors de mise.

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 spatio-temporelle. 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.

Pour étudier la problématique posée on a divisé le travail sous quatre (04) ateliers de pratique :

1. Phase de terrain
2. Analyses au laboratoire
3. Cartographie des paramètres physico-chimiques
4. Acquisition et traitement des données satellitaires

Les étapes de travail sont résumées et schématisées dans la **Figure 8** :



III.2.1. Phase de terrain

III.2.1.1. Préparation pour la sortie

Pour la réalisation de cette étude, nous avons organisé une sortie le 18 Mars 2019 au niveau du site en question (Barrage Tilesdit de Bechloul) cette journée a été choisie selon la date de passage de satellite Landsat 8 OLI sur la région d'étude pour être toujours synchronisé au satellite. La sortie a duré 6 heures, de 10 :30 à 16 :30. On a été accompagné par les agents de la protection civile afin d'assurer notre déplacement avec le matériel que l'on a besoin sur la longueur du barrage (17 Km) à l'aide d'une barque.

III.2.1.2. Campagnes de prélèvement et mesure in-situ

Au cours de réalisation de cette étude, nous avons effectué un échantillonnage systématique homogène tous les 500 mètres, afin de permettre le prélèvement de Trente (30) échantillons et effectué des mesures in situ dans chaque point de prélèvement dans les 30 stations d'échantillonnage. Les points de prélèvements sont définis et géo-référenciés sur une carte (**figure 9**) et localisés sur terrain à l'aide de GPS.

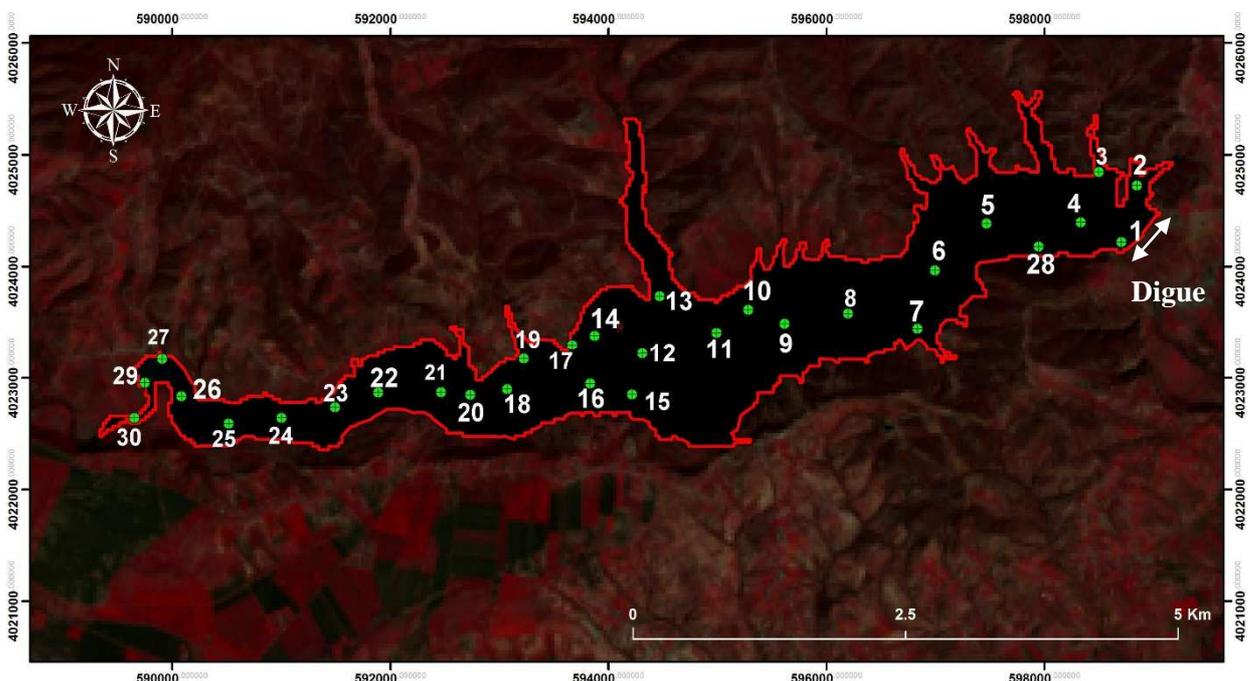


Figure (9) : Représentation des (30) stations de prélèvements dans le bassin versant de barrage Tilesdit (Originale ArcMap 10.1)

III.2.1.3. Equipements et méthodes de mesure in-situ

Le déplacement sur la longueur du barrage sous une barque il nous a permis de mesurer pas mal de paramètres qualitatifs in-situ de l'eau, et de remplir les flacons en plastique d'un litre et demi (1.5L) dans chaque station d'échantillonnage, à une profondeur de 80 cm pour les analyser au laboratoire (Laboratoire de recherche ENSSMAL Dely Brahim).

Les flacons d'échantillonnage remplis pour la mesure de turbidité et de MES au laboratoire sont clairement identifiés et accompagnés d'informations suffisantes concernant la nature de l'échantillon et les raisons pour lesquelles l'examen sera effectué. Les flacons sont transportés et conservés à l'obscurité dans des sacs noirs pour éviter le dessèchement du rodage et les variations de température avec un délai maximum de 8 heures avant l'analyse.

Les paramètres physico-chimiques (Température, Conductivité, PH, Salinité) ont été mesurés in-situ à l'aide de deux appareils multi-paramètres de type « Hanna BARBARA 9828 » (**figure 10**). Les mesures ont été prises à trente centimètres (30cm) de profondeur.



Figure (10) : Valise de Multiparamètre « Hanna BARBARA 9828 ». (Originale)

a. Température

La mesure de la température a été effectuée en utilisant deux multi paramètre à la fois pour avoir au moins deux valeurs et cela pour minimiser l'erreur. La température de l'eau a été mesurée sur le site de prélèvement « barrage ». La lecture a été faite après une immersion de la sonde pendant une minute (1 min) à environ trente centimètre (30cm) de profondeur. Les résultats sont exprimés en °C.

b. pH

Les valeurs de pH ont été prises avec le même instrument utilisé pour la mesure de température (multi paramètre), et la même technique de mesure a été adoptée. Les résultats sont exprimés en concentration de $[H^+]$.

La mesure in-situ du pH, s'agit d'une mesure courante, sur la quasi-totalité des eaux de barrage. Sa connaissance est nécessaire, elle se rendre compte instantanément si une eau est acide ou basique, c'est-à-dire si certaines réactions chimiques ou biochimique possibles ou non. Le pH constitue un témoin de la plupart des réactions chimiques entre espèces, sa mesure sur terrain, permet immédiatement de déceler la présence ou non de carbonates qui apparaissent pour des pH supérieurs à 8,3. (**Grondin, 1982**).

c. Conductivité

La conductivité a été suivie par les deux multi-paramètres « Hanna BARBARA 9828 » Après avoir immergée rigoureusement la sonde de l'appareille dans l'eau à analyser, la mesure peut s'effectuer en sélectionnant dans le menu "affichage numérique" en attendant que la valeur affichée se stabilise ; le résultat est donné en ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

La connaissance de ce paramètre sur terrain, permet de modifier, d'orienter un échantillonnage en cours et de détecter immédiatement des anomalies locales de salinité. Alors qu'il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et la conductivité électrique.

d. Salinité

La salinité absolue mesure la concentration de l'eau en sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium, etc.). Sa mesure nécessite la mise en place d'un Multiparamètre et la même méthode suivie pour la mesure des paramètres précédant sera appliquer. Les résultats obtenus s'exprime en (g/kg d'eau).

e. Profondeur de disque de Secchi (transparence)

Le disque de Secchi est un dispositif permettant de mesurer la transparence de l'étendue d'eau, est-il peut servir aussi pour mesuré la profondeur, il consiste en un disque en fer a rayon d'une quinzaine de centimètres, coloré en noir et blanc sert à l'absorbance et la réflectance de la lumière (chaque quart alternativement), (Lee et al.2015). Le disque est fixé au bout d'une corde graduée (**figure 11**), on l'immerge dans l'eau et en mesure la distance entre la surface de l'eau et le dernier point de l'apparence du disque. Le résultat obtenu s'exprime en mètre (m).



Figure (11) : Disque de Secchi. (Originale)

III.2.2. Analyse au laboratoire

Les trente (30) flacons d'échantillons prélevés dans le barrage, ont été transportés au laboratoire de l'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral de Dely Ibrahim (ENSSMAL) suivant les consignes de conservation décrit dans la phase précédente. La nature des matériaux et des récipients de prélèvement est importante, car celui-ci ne doit pas entrer en réaction avec l'eau à analyser.

Au plus des paramètres in situ (T° , pH, Conductivité, PDS), deux autres paramètres physico-chimique ont été mesurés au laboratoire ; la matière en suspension et la Turbidité. Les échantillons d'eau destinés aux analyses physico-chimiques au laboratoire ont permis la

détermination des concentrations en particule exotique, suivants des analyses effectuées par filtration volumétrique et mesure Spectrophotométrie à l'aide de matériel spécifique bien sophistiqué.

III.2.2.1. Mesure des matières en suspension (MES)

La teneur en matières en suspension des eaux de surface, est déterminée par la mesure du poids sec d'une quantité délimitée d'eau filtrée. La différence entre le poids du filtre sec avant l'infiltration d'eau et son poids après la filtration est une mesure aisée de la quantité totale de matières en suspension, les résultats sont exprimés par l'unité de (mg/l).

a. Matériel utilisé

- Flacons de prélèvement.
- Bécher de 500 ml.
- Filtres Whatman GF/F de diamètre 47 mm.
- Pinces de préférence à bouts plats.
- Support de filtration.
- Boîtes de conditionnement.
- Balance de précision au centième de milligramme.
- Etuve.
- Rampe de filtration.
- Pompe à vide muni d'un manomètre.

b. Protocole expérimentale

Avant de passer à l'infiltration et au pesage des filtres, on commençant par la préparation des filtres :

- Calciner les filtres GF/F au four à 450°C pendant 1h.
- Rincer les filtres à l'eau distillée
- Placer les filtres dans leur boîte, et les laisser sécher dans une étuve à 50 70°C avec le couvercle entre-ouvert.
- Sortir les filtres de l'étuve,
- Refermer les boîtes et les laisser revenir à température ambiante de la salle de pesée,

Les étapes de mode opératoire sont représentées dans la planche suivante (**figure 12**) :

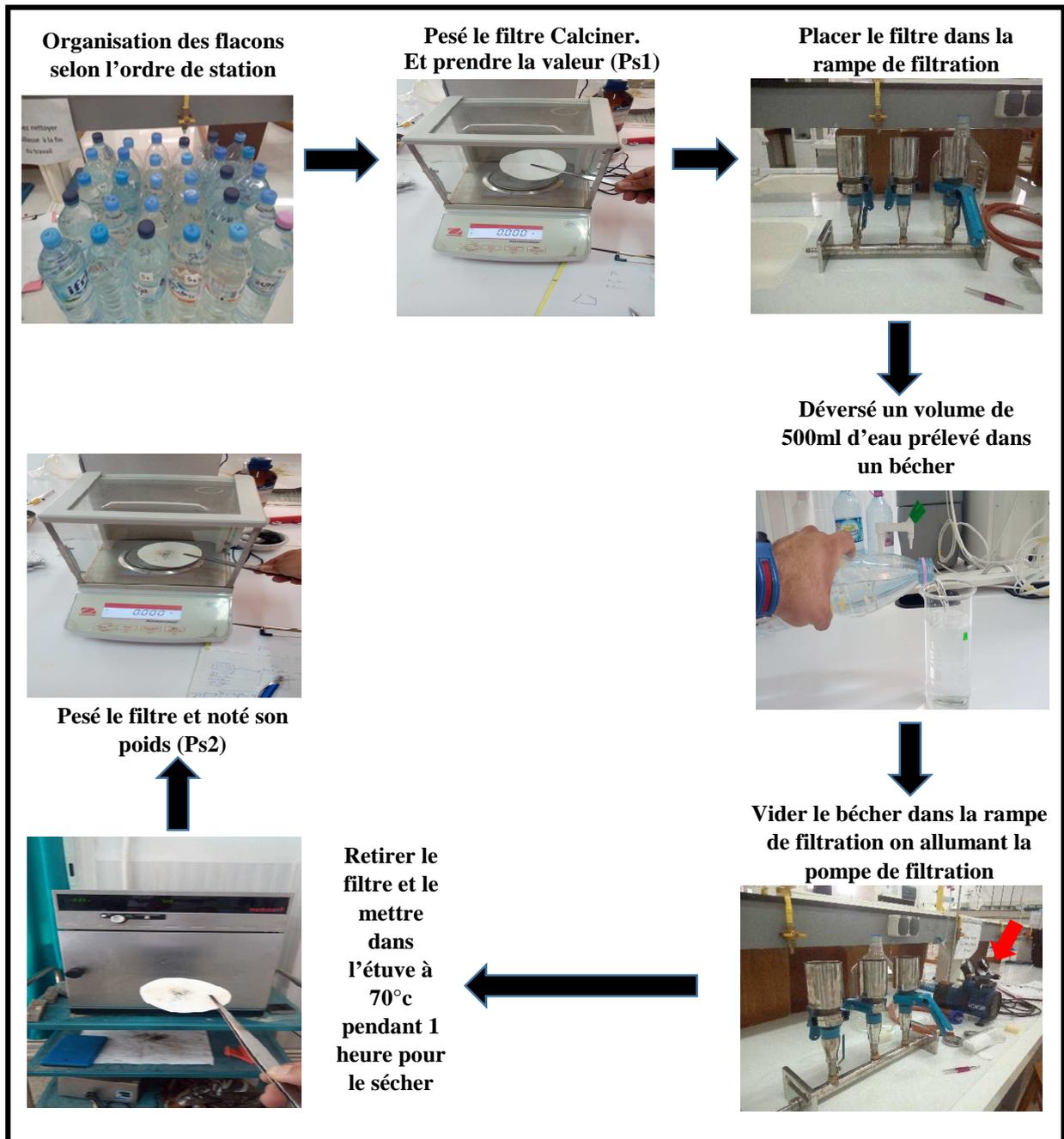


Figure (12) : Protocole et mode opératoire suivi pour l'analyse de la matière en suspension.

(Originale)

A la fin de la manipulation, Les filtres sécher dans l'étuve, et conservés à l'abri de la poussière, sont pesés une seconde fois dans les même conditions que la première (pesée avec la même balance, idéalement même taux d'humidité) poids Ps2. La déférence entre le Ps1 (le poids du filtre sec avant l'utilisation) et le Ps2 (le poids de filtre après la filtration) représente la concentration de la MES dans l'eau, il s'exprime en mg/500ml.

III.2.2.2. Mesure de turbidité

La turbidité d'une eau est une mesure globale représentative de la transparence d'une eau qui prend en compte toutes les matières colloïdales, insolubles, d'origine minérale ou organique (Limon, argiles, microorganismes, etc.). L'unité de mesure est NTU (unités de turbidité néphélométriques). (Maréchal et al., 2001)

a. Matériel utilisé

- Flacons de prélèvement.
- Pipette (pour prendre un volume de 100ml).
- Papier torchant
- Turbidimètre « HANNA HI88703 ». (figure 13)

b. Réalisation de la mesure

- Opérer à une température aussi voisine que possible de 20°C. Préalablement à la mesure.
- Homogénéiser avec soin, et sans mouvement brusque, le flacon contenant le produit à mesurer.
- Calibrer l'appareille avec les solutions de calibration d'origine de l'appareille.
- Rincer consciencieusement, à deux reprises, la cellule de mesure à l'aide d'un petit volume de produit à mesurer.
- Bien essuyé le support et la cellule de mesure à l'aide d'un papier torchant.
- Introduire, avec précautions 100mL de produit à mesurer dans la cellule de mesure de turbidimètre en évitant la formation des bulles d'air et effectuer la mesure.
- Attendre une minute pour que la valeur de paramètre ce stabilise.
- Noter la valeur de turbidité obtenu.



Figure (13) : Turbidimètre « HANNA HI88703 ». (Originale)

III.3. Cartographie des paramètres physico-chimiques

III.3.1. Logiciel utilisé (ArcMap 10.2)

On peut résumer les principales caractéristiques de ce logiciel comme suit :

- Opérations de superposition des couches thématiques
- Traitements statistiques
- Echange de données avec les autres SIG (ArcInfo, MapInfo)
- Disponibilité d'une bibliothèque de symboles cartographiques, de trames et légendes modifiables de façon interactive.
- Efficacité dans la gestion des bases de données.
- Langage de requête qui permet de mixer les entrées graphiques et non graphique.

III.3.2. Interpolation des paramètres mesurés par IDW

L'interpolation est un processus ou une opération mathématique consistant à utiliser des points ayant des valeurs connues pour estimer la valeur pour d'autres points inconnus. (**Watson et Philip 1985**)

Dans notre étude, l'interpolation est la traduction d'une information disponible (les données obtenues par la mesure des paramètres physico-chimiques) pour un nombre de lieux limités (les stations de prélèvement) vers une information disponible pour tout l'espace (la surface du barrage) (**figure 14**).

L'interpolation de pondération par l'inverse de la distance (IDW inverse distance weighting) détermine les valeurs de cellule via la combinaison pondérée de manière linéaire, utilise uniquement les coordonnées x,y d'un ensemble de points d'échantillonnage. La pondération est une fonction d'inverse de la distance. La surface qui est interpolée doit être celle d'une variable dépendante de l'emplacement.

L'interpolation IDW utilise des données d'échantillonnage précises et qualitatives pour produire une représentation continue du phénomène en question.

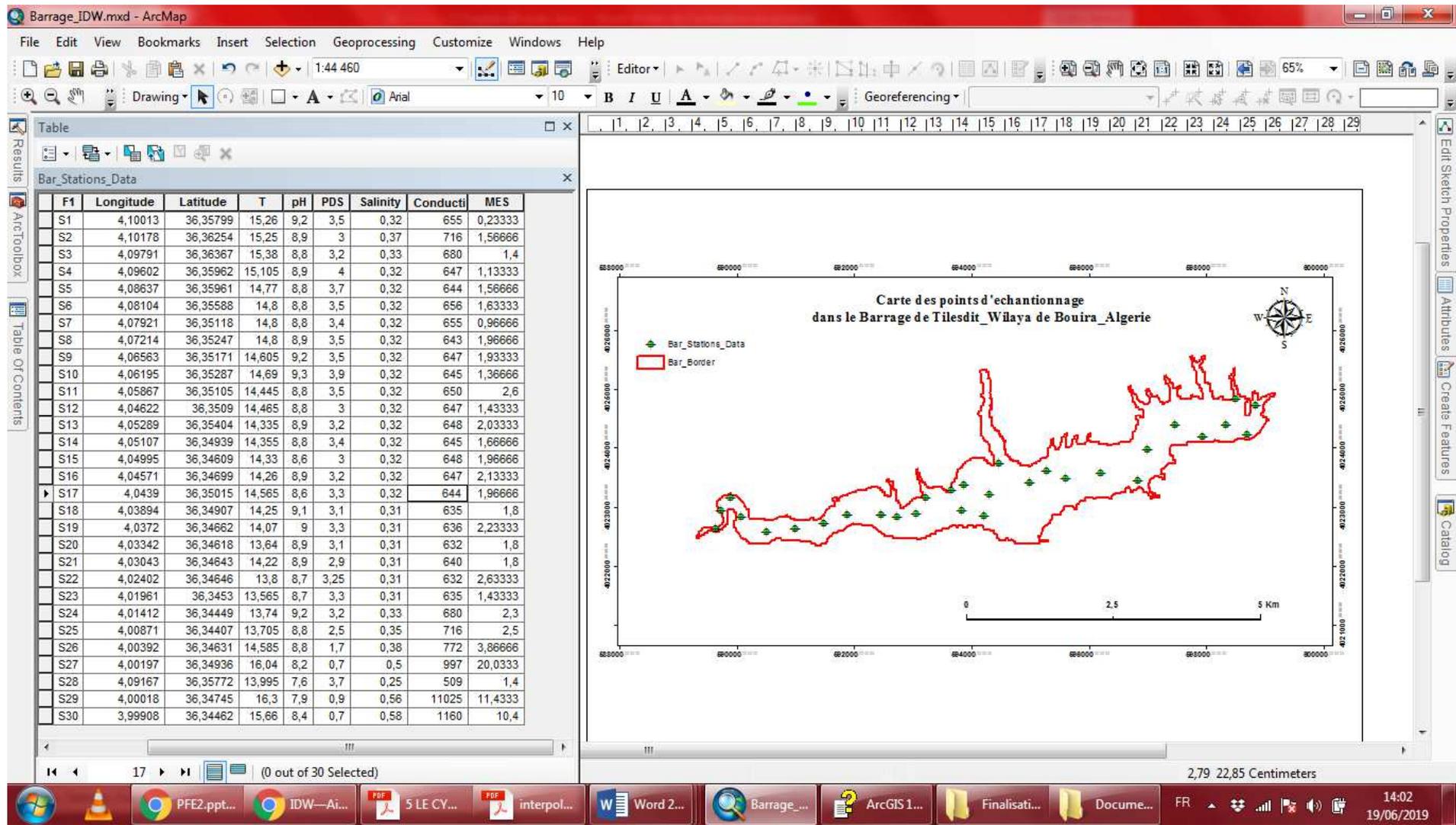


Figure (14) : Interpolation de pondération par l'inverse de la distance (IDW) des données d'échantillonnage à sur ArcGis.

III.4. Acquisition et traitement des données satellitaires**III.4.1. La série de satellites Landsat****III.4.1.1. 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+. **(Northrop, 2015)**

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.4.1.2. 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 de satellite passage à l'Equateur à 10:00 locale +/- 15 minutes. **(Dewitz, 2004)**

Le Landsat 8 constitue de deux nouveaux capteurs :

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

Chaque capteur à des bandes avec une résolution spatiale différente les données sont représentées dans **(Tableau 3)** :

Tableau (3) : Caractéristiques du satellite Landsat 8 OLI/TIRS. (USGS)

<i>Satellite</i>	<i>Capteur</i>	<i>Bande</i>	<i>λ en μm</i>	<i>Amplitude</i>	<i>Résolution spatiale</i>
Landsat 8	OLI	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 SWIR 1	1.57 - 1.65	0,08	30
		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
	TIRS	Band 10 TIRS 1	10.60 - 11.19	0,59	100
		Band 11 TIRS 2	11.50 - 12.51	10,01	100

III.4.1.3. Les étapes d'acquisition des images Landsat

Les images des satellites LANDSAT sont libres de droits et diffusées par l'US Geological Survey (USGS). Il y a eu 8 générations de satellite Landsat, mais un n'a jamais été fonctionnel (Landsat 6). (Annexe 2)

a. Acquisition

Plusieurs portails de téléchargement existent comme exemple : <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

Cette interface permet de naviguer sur une carte du monde afin de trouver sa zone d'étude. Elle peut ensuite être définie soit en dessinant un polygone (cercle ou rectangle) sur la carte, soit en indiquant les coordonnées de la région d'intérêt.

Lorsque le téléchargement terminé on obtient une image satellite sous forme tif avec un nom et chaque lettre et chiffre a une signification caractérise l'image télécharger. (Mohammed et al., 2013)

b. Création d'une image composite multi-bandes

L'intérêt de disposer d'une image composite multi-bande est de pouvoir rapidement composer sa propre visualisation du terrain en utilisant les bandes spectrales souhaitées pour

mettre en avant tel ou tel phénomène. QGIS permet de créer cette image composite à partir des 11 fichiers disponibles au moyen de la commande Raster> Divers > (figure 14)

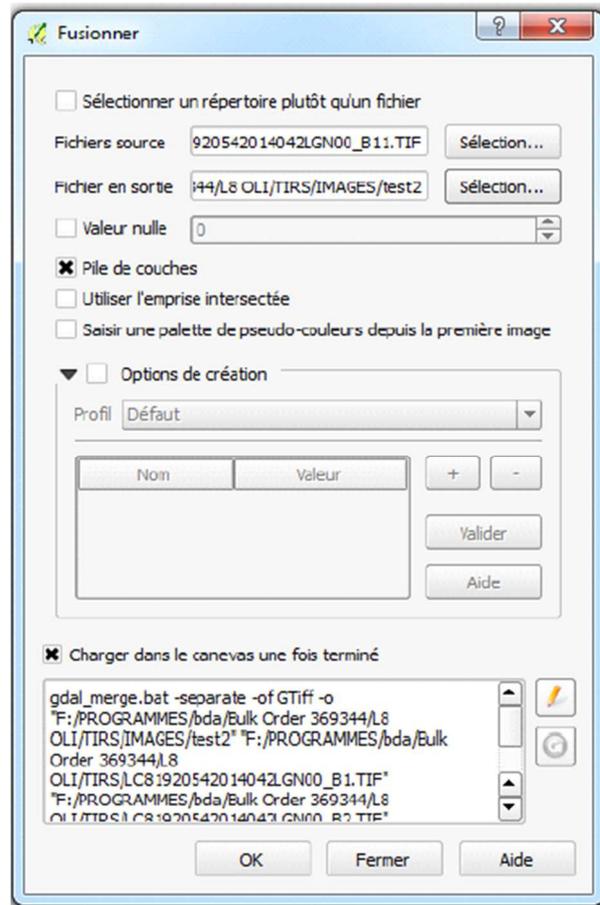


Figure (15) : Base de création d'image multi- bande (USGS).

Fusionner :

- Sélectionner les fichiers en entrée qui seront fusionnés
- Sélectionner l'emplacement et le nom du fichier qui sera créé en sortie
- Cocher la case "Pile de couches" pour que la fusion soit effectuée en superposant les fichiers en entrée sous forme de bande spectrale
- Cocher "Charger dans la carte une fois terminée" pour faire apparaître la couche en sortie. (Mohammed et al., 2013)

c. Coloration, affichage et mise en exploitation

Lorsque le processus est terminé, il charge l'image. Elle peut apparaître avec des couleurs étranges, car aucun rehaussement de contraste n'est appliqué.

La Première étape est de choisir la composition colorée que l'on veut afficher. Les Logiciels SIG (ArcGis/ArcMap) permettent d'afficher jusqu'à 3 Bandes spectrales dans une seule fenêtre de visualisation. (Tsayem, 2010) Les Pixels des trois bandes sont alors superposés et leurs valeurs radiométriques sont additionnées. Le Principe et la démarche consistent à choisir trois bandes spectrales d'une image et à afficher chacune de ces trois bandes dans une couleur dite primaire : Le bleu, le vert et le rouge. On Obtient alors une composition colorée (Khattab et al 2013). (Figure 15)

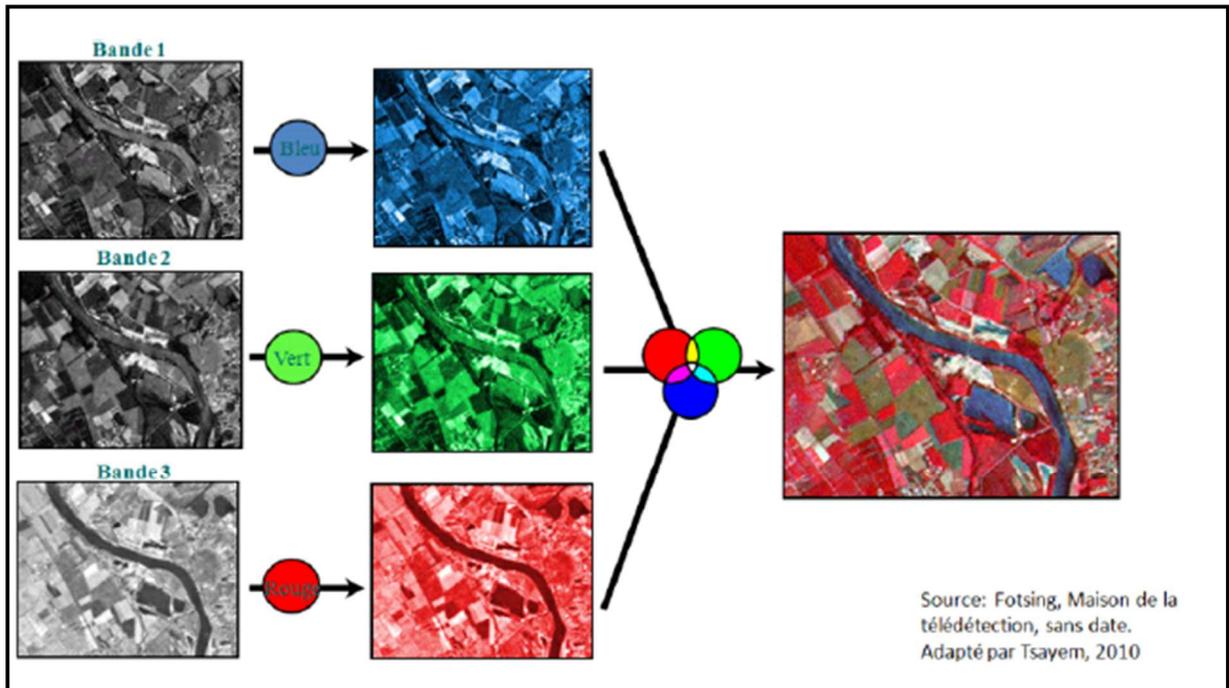


Figure (16) : Superposition des bandes à l'aide de logiciel ArcGis. (Tsayem, 2010)

III.4.2. Traitement de l'image satellitaire Landsat 8 OLI 18/03/2019

Pour l'analyse et le traitement des images satellitaires l'acquisition des images dans leurs états initiaux implique de passer par une étape de prétraitement qui consiste à faire des bruits et une calibration des pixels. Cette étape permettra d'améliorer l'aspect des images pour une meilleure analyse visuelle et une bonne interprétation numérique.

III.4.2.1. Logiciel utilisé (ENVI 5.2)

Le logiciel ENVI (ENvironment for Visualizing Images) est un logiciel complet de visualisation et de traitements d'images issues de la télédétection. Toutes les méthodes de traitement d'images de corrections géométriques, radiométriques, de classification et de mise en page cartographique sont présentes. D'autres outils relatifs à la visualisation et à la

modélisation de données topographiques sont aussi disponibles. Il répond aux besoins des utilisateurs d'images satellites (optiques et radars). (Mechbough et al., 2015)

L'ENVI fournit des outils pour la visualisation, le géo-référencement, le prétraitement, la classification et l'analyse des images satellitaires (Thomas et al., 2005)

III.4.2.2. Prétraitement de l'image satellitaire

Les prétraitements d'images ont pour but d'augmenter la lisibilité des données et de faciliter leur interprétation et une meilleure extraction de l'information. Ces opérations préliminaires s'appliquent au travers des améliorations radiométriques et des recalages géographiques effectués après l'étalement linéaire des histogrammes de chaque bande spectrale pour améliorer le contraste (Tabopda et Fotsing, 2010). Les deux principales phases de cette étape sont :

a. Calibration radiométrique

Les images prises à des années différentes, les valeurs radiométriques obtenues pour une même zone, une même bande spectrale à une même époque, sont différentes, notamment en raison du rayonnement solaire et des perturbations atmosphériques dues principalement aux interactions entre gaz atmosphériques du signal et particule en suspension, l'absorption, la diffusion, réfraction entraînant une modification du signal reçu, constituant un filtre non stationnaire dans le temps (Ducrot, 2005). Similaire aux corrections géométriques, les méthodes de correction radiométrique peuvent être absolues, relatives et hybrides. Elles sont basées sur le calcul des quantités physiques du rayonnement émergent des surfaces terrestres, la procédure est composée de plusieurs étapes, en premier, les luminances spectrales mesurées par le capteur doivent être calculées par l'inversion de la fonction de calibration, à partir des comptes numériques, la relation étant linéaire dans la plupart des cas (Moquet, 2003).

b. Correction atmosphérique

Le principe de cette correction est de convertir les valeurs numériques (en niveau de gris) de la scène en valeur de luminance et par la suite extraire les effets perturbateurs atmosphériques qui donnent une mesure physique de la réflectance au niveau de la surface visée (Soudani, 2006).

Plusieurs méthodes sont utilisées dans la correction atmosphérique. Pour (Song et al, 2001), la méthode DOS (Dark Object Subtractions) est la meilleure expression des deux

variables (luminance et réflectance) et aussi la plus précise par rapport aux autres méthodes de correction atmosphérique. A l'aide du logiciel ENVI 4.7, on a converti les valeurs numériques de nos images en valeurs de luminance pour ensuite les calibrer en réflectance.

III.4.3. Calcul de différents indices pour la caractérisation de la qualité d'eau

Après l'amélioration radiométrique, le géo référencement on passe à l'étape de calcul des indices et coefficients de corrélation entre les différents canaux, pour une observation indispensable des bandes brutes.

L'outil « Basic tools > Band Math » dans le logiciel ENVI il nous a permet de calculer des indices spectraux personnalisés. Pour ce faire, il faut d'abord insérer l'équation correspondant à un indice donné avec des variables correspondantes aux bandes spectrales : par exemple « $b_1 + b_2$ », et ensuite attribuer à chaque terme de l'équation une bande spectrale d'une image donnée (**figure 17**).

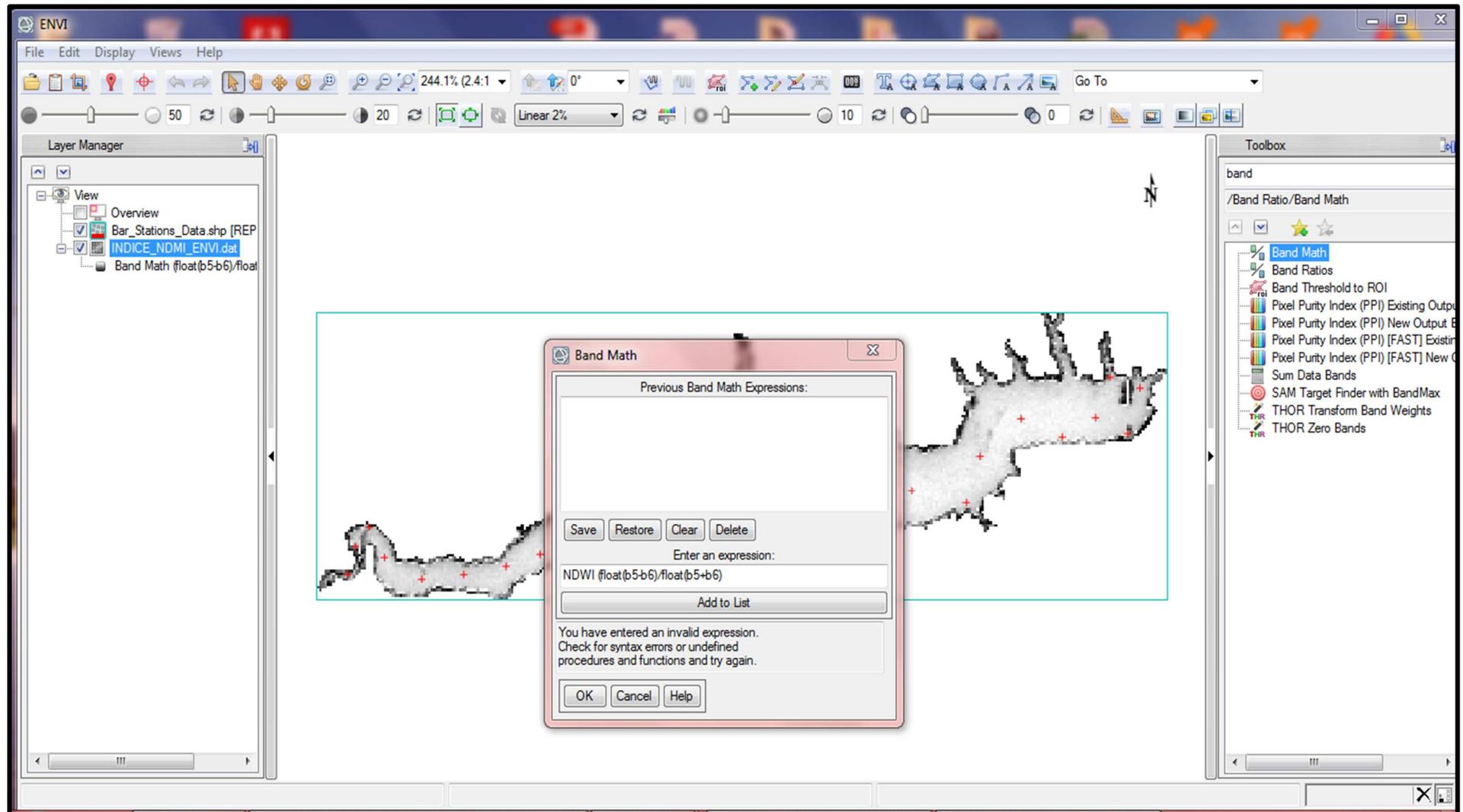


Figure (17) : Insertion et calcul d'indices sur Band Math_ENVI.

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV. Résultats et discussion

IV.1. Estimation des paramètres physico-chimiques d'eau de barrage

En suivant les protocoles expérimentaux présentés dans le chapitre III, nous avons pu analyser les eaux brutes du barrage TILES-DIT de Bouira pour la détermination des caractéristiques physico-chimiques. Les résultats des paramètres mesurés in-situ et ceux mesurés au laboratoire sont regroupés dans le **tableau 4**.

La représentation de chaque paramètre permet de discuter éventuellement les variations et l'évolution correspondante au niveau de chaque site de prélèvement.

Tableau (4) : Résultats des paramètres mesurés (T, pH, PDS, Salinité, CE, MES, Turbidité,) pour les trente (30) stations

Paramètres	Latitude (X)	Longitude (Y)	T (°C)	pH	PDS (m)	Salinité (g/kg eau)	CE (µs/cm)	MES (mg/L)	Turbidité (NTU)
Stations									
S1	36,35799	4,10013	15,26	9,2	3,50	0,32	655	0,233	1,950
S2	36,36254	4,10178	15,25	8,96	3,00	0,37	716	1,567	1,725
S3	36,36367	4,09791	15,38	8,82	3,20	0,33	680	1,400	1,900
S4	36,35962	4,09602	15,11	8,92	4,00	0,32	647	1,133	1,300
S5	36,35961	4,08637	14,77	8,83	3,70	0,32	644	1,567	1,450
S6	36,35588	4,08104	14,80	8,87	3,50	0,32	656	1,633	1,650
S7	36,53118	4,07921	14,80	8,86	3,40	0,32	655	0,967	1,975
S8	36,35247	4,07214	14,80	8,9	3,50	0,32	643	1,967	1,650
S9	36,35171	4,06563	14,61	9,21	3,50	0,32	647	1,933	1,950
S10	36,35287	4,06195	14,69	9,31	3,90	0,32	645	1,367	2,100
S11	36,35105	4,05867	14,45	8,84	3,50	0,32	650	2,600	1,925
S12	36,3509	4,04622	14,47	8,89	3,00	0,32	647	1,433	1,900
S13	36,35404	4,05289	14,34	8,98	3,20	0,32	648	2,033	1,750
S14	36,34939	4,05107	14,36	8,86	3,40	0,32	645	1,667	1,200
S15	36,34609	4,04995	14,33	8,66	3,00	0,32	648	1,967	2,575
S16	36,34699	4,04571	14,26	8,96	3,20	0,32	647	2,133	2,050
S17	36,35015	4,0439	14,57	8,63	3,30	0,32	644	1,967	1,775
S18	36,34907	4,03894	14,25	9,14	3,10	0,31	635	1,800	2,000
S19	36,34662	4,0372	14,07	9	3,30	0,31	636	2,233	1,250
S20	36,34618	4,03342	13,64	8,95	3,10	0,31	632	1,800	2,450
S21	36,34643	4,03043	14,22	8,97	2,90	0,31	640	1,800	2,100
S22	36,34646	4,02402	13,80	8,71	3,25	0,31	632	2,633	2,650
S23	36,3453	4,01961	13,57	8,77	3,30	0,31	635	1,433	2,350
S24	36,34449	4,01412	13,74	9,28	3,20	0,33	680	2,300	2,900
S25	36,34407	4,00871	13,71	8,88	2,50	0,35	716	2,500	3,125
S26	36,34631	4,00392	14,59	8,86	1,70	0,38	772	3,867	6,250

S27	36,34936	4,00197	16,04	8,28	0,70	0,5	997	20,033	31,250
S28	36,35772	4,09167	15,00	7,6	3,70	0,25	509	1,400	12,975
S29	36,34745	4,00018	16,30	7,94	0,9	0,56	1125	11,433	12,275
S30	36,34462	3,99908	15,66	8,44	0,7	0,58	1160	10,400	9,050
Maximum			16,30	9,31	4,00	0,58	1160	20,03	31,25
Minimum			13,57	7,60	0,70	0,25	632	0,233	1,20
Moyenne			14,63	8,82	3,01	0,34	696,20	3,04	4,05

IV.1.1. Présentation des paramètres mesurés in-situ (T°, pH, PDS, Salinité, CE)

IV.1.1.1. Variation de la température de l'eau dans le barrage

La température de l'eau est un paramètre important pour la vie aquatique. En effet, la majorité des paramètres physico-chimiques dépendent de la température. La mesure de T°c de l'eau brute du barrage TILES DIT de Bechloul nous a permis d'obtenir les résultats présentés dans la **figure 18**.

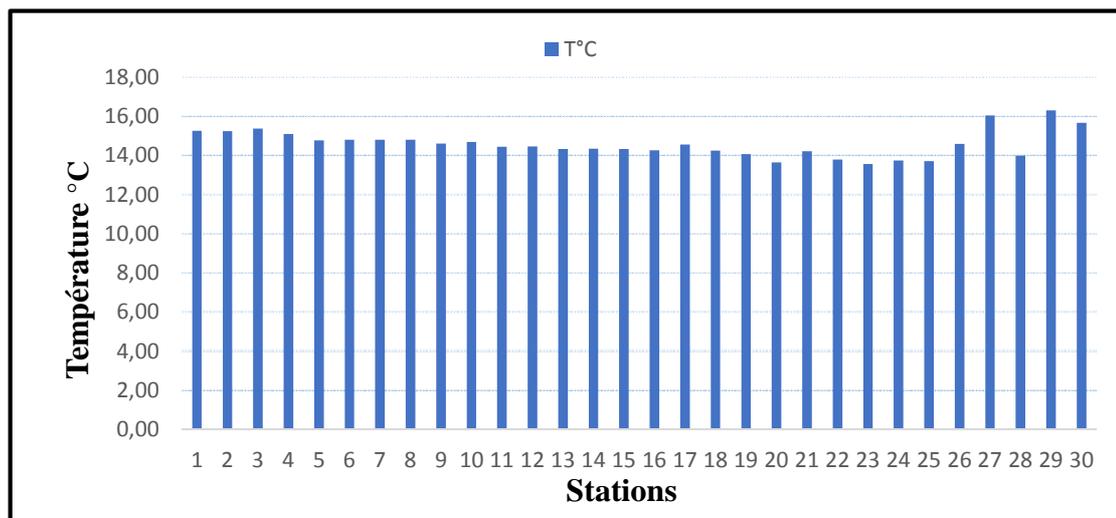


Figure (18) : Histogramme de variation de la température des 30 stations de mesure.

D'après l'histogramme présenté dans la figure ci-dessus, nous avons remarqué que la température varie légèrement dans les 30 stations, elle oscille entre 13,57°C (station 23) et 16,30°C qui est le maximum enregistré dans la station 29, avec une moyenne de 14,63°C. Ces valeurs de température sont proches des températures ambiantes. Les résultats obtenus restent inférieurs à ceux rapportés par (Mehanned et al., 2014) au niveau du barrage Sidi Chahed (température moyenne variant entre 22,45°C et 23,88°C).

D'après les résultats de température obtenus, on remarque que les températures ne dépassent pas les normes T<25 °C dans tous les points de mesure.

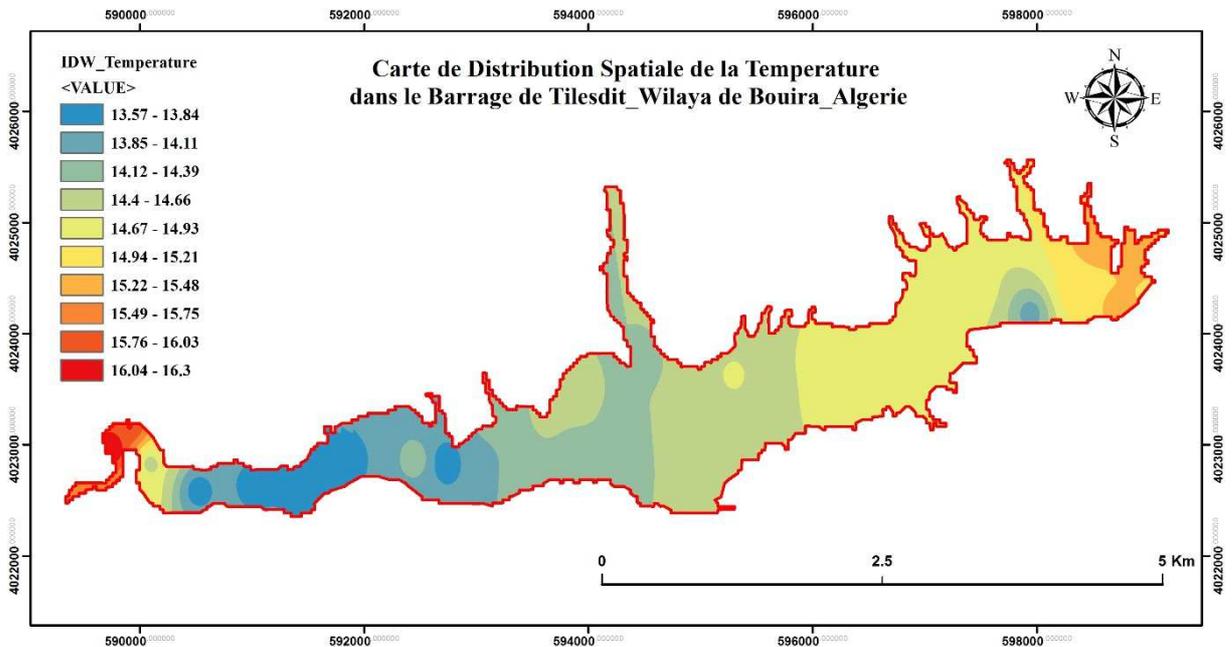


Figure (19) : Variation géospatiale de température de l’eau de barrage (ArcMap 10.1)

On constate d’après la **figure 19**, une légère variation de la distribution géospatiale de la T° entre les stations, et sur toute la surface d’eau de barrage. Tels que, les valeurs les plus élevée sont observées à l’entrée ouest du barrage, cela peut être dû aux concentrations élevées en matière résiduaire déversé dans Oued Eddous qui converge avec le barrage dans cette zone.

IV.1.1.2. Variation du pH de l’eau dans le barrage

Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d’une eau. Le pH de l’eau représente son acidité ou alcalinité. Les résultats d’analyse du pH de l’eau brute du barrage TILESIT de Bechloul sont présentés dans la **figure 20**.

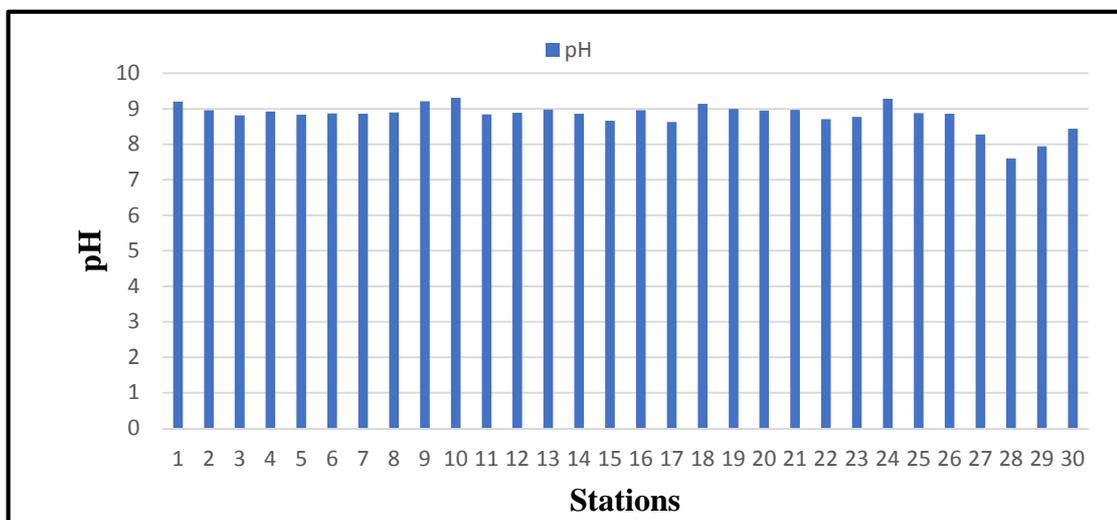


Figure (20) : Histogramme de variation du pH des 30 stations de mesure.

Les valeurs du pH enregistrées durant la période d'étude, varient entre 7,60 et 9,31. La majorité des points étudiés sont au voisinage de la neutralité. L'alcalinité de l'eau est notée dans les stations (1, 9, 10, 18, 24) qui sont presque à la périphérie du barrage avec des valeurs supérieures à 9, ce qui ne conforme pas aux normes algérienne. ($\text{pH} < 9$).

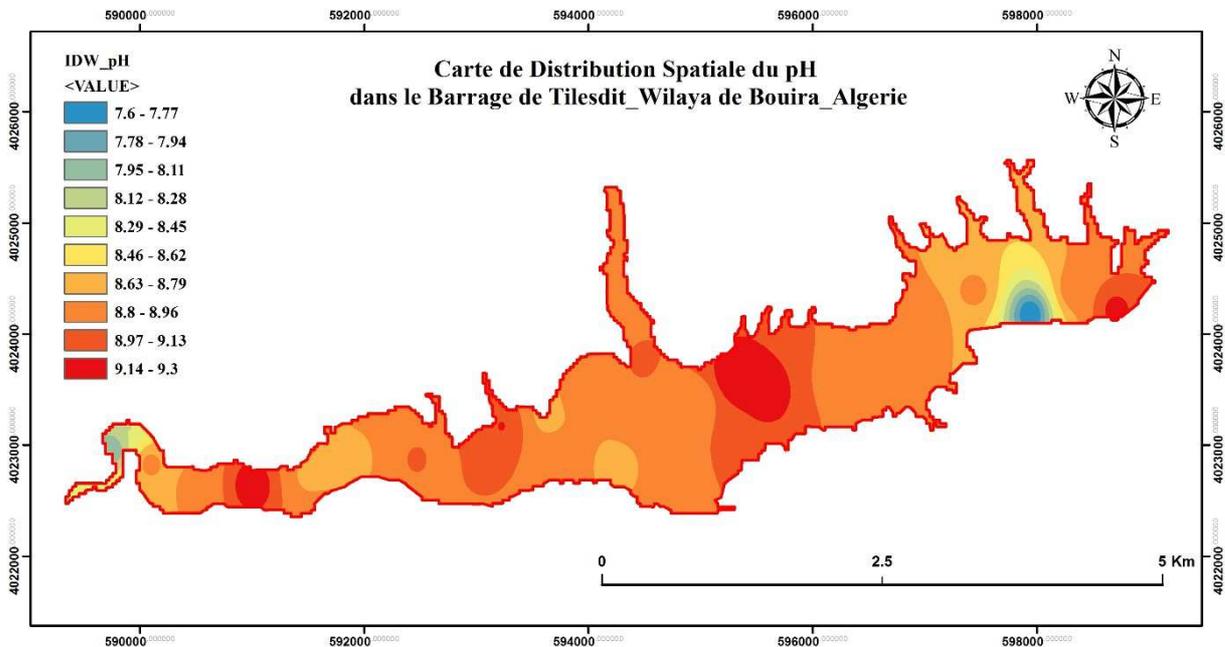


Figure (21) : Variation géospatiale du pH de l'eau de barrage (ArcMap 10.1)

L'étude et la représentation géospatiale de la distribution de pH (**figure 21**) pourraient mettre en évidence d'autres variations qui pourraient expliquer certains phénomènes et donner la variation spatiale sur le long de barrage dans n'importe quel point à prendre. Les valeurs élevées marquées dans quelques stations côtières peuvent être dû à l'érosion des terrains calcaire et les ruissellements des terrains agricoles qui entourent le barrage.

IV.1.1.3. Variation du PDS de l'eau dans le barrage

Les résultats de la transparence obtenue sur la base des mesures de profondeur par le disque de Secchi (**figure 22**), le maximum de profondeur de disque de 4m a été enregistré dans la station 5. Par contre, un minimum de profondeur de 0,7m a été obtenu dans la station 28.

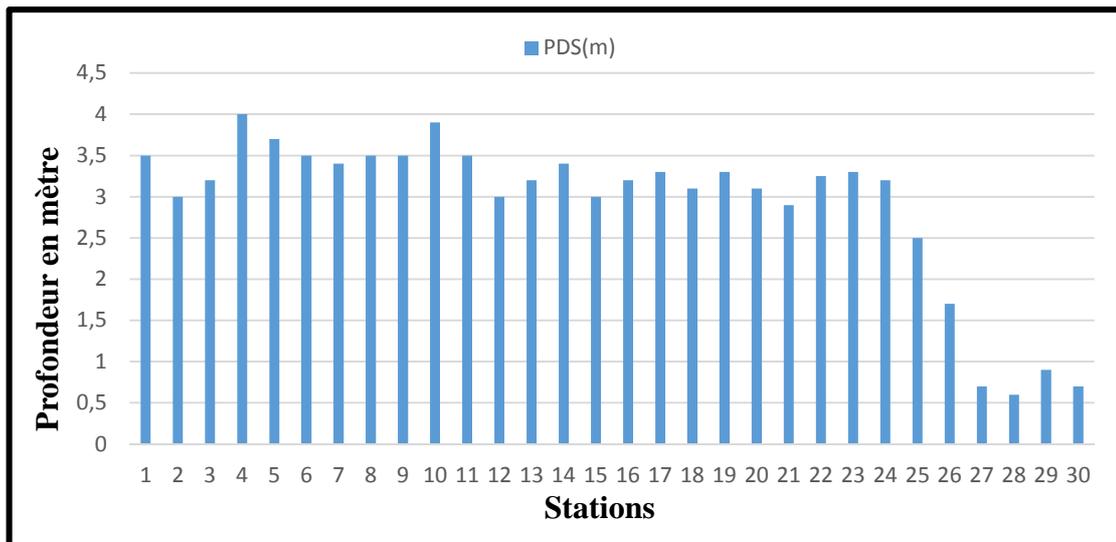


Figure (22) : Histogramme de variation du PDS des 30 stations de mesure.

D’après la carte de la variation géospatiale de la PDS (**figure 23**), les stations proches de l’embouchure de Oued Eddous (stations 26, 27, 28, 29, 30), caractérisent par une faible transparence surtout dans la station 26 qui représente le point minimale de transparence à 0.6m de profondeur, cela peut être expliqué par les apports importants de la matière en suspension dans l’eau d’oued déverser dans le barrage. Par contre les stations loin de l’embouchure représentent une profondeur moyenne de 3.01m.

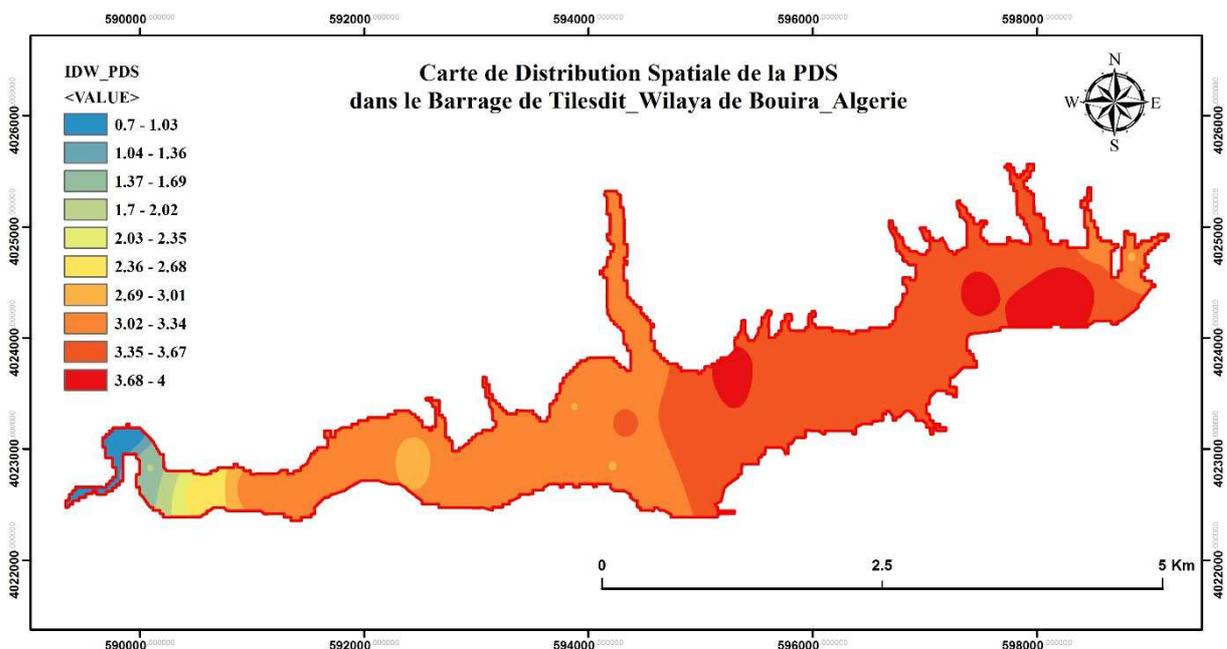


Figure (23) : Variation géospatiale de la profondeur du disque de Secchi dans l’eau de barrage (ArcMap 10.1)

IV.1.1.4. Variation de la salinité de l'eau dans le barrage

Sur la base de la **figure 24**, la valeur maximale de la salinité est de 0.58 (g/kg d'eau) enregistrée dans la station 30 ainsi que, la valeur minimal de 0.25 (g/kg d'eau) a été marqué au niveau des stations 19 et 23. La salinité moyenne entre les différentes stations est de (0.34 g/kg d'eau)

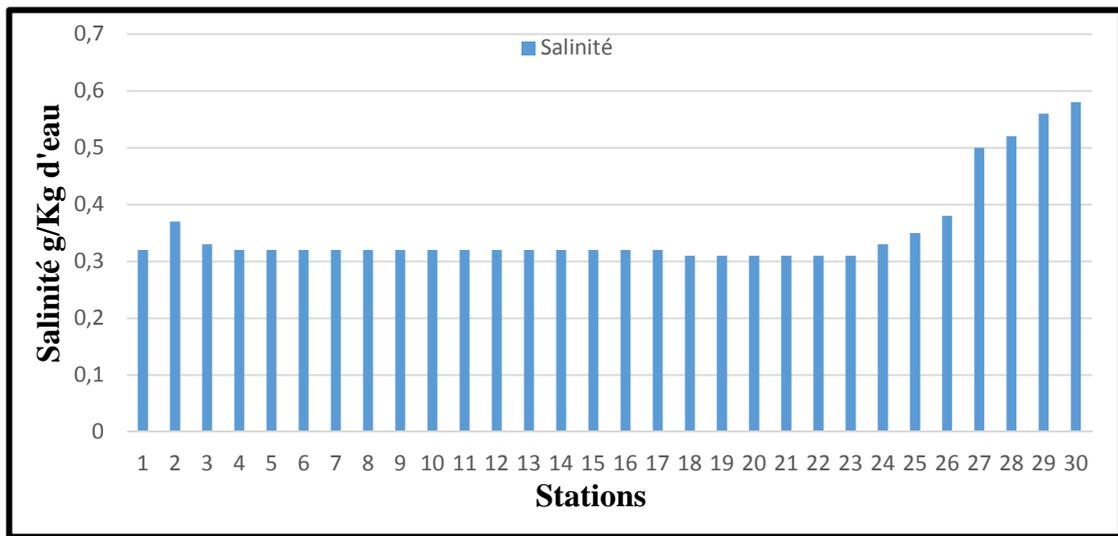


Figure (24) : Histogramme de variation de la salinité des 30 stations de mesure.

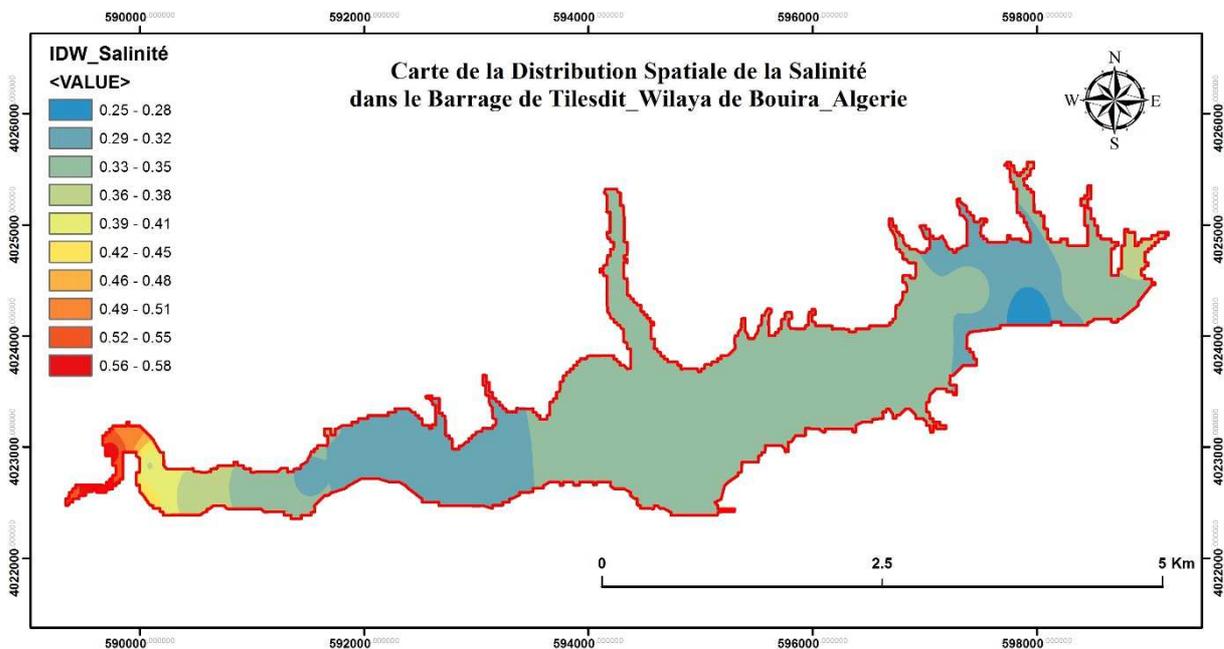


Figure (25) : Variation géospatiale de la salinité de l'eau de barrage (ArcMap 10.1)

La Variation géospatiale de la salinité de l'eau de barrage (**figure 25**) a montré que, les stations proches des embouchures d'Oued Eddous caractérisent par une forte salinité (stations 26, 27, 28, 29), ceci résulte des apports des eaux usées déverser dans l'oued qui converge avec le barrage dans ses stations. Les faibles teneurs en sels ont été enregistrées sur la grande surface du barrage on s'éloignant de cette zone de convergence.

IV.1.1.5. Variation de la conductivité de l'eau dans le barrage

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (**Rodier et al., 2009**). Les résultats d'analyse de la CE de l'eau brute du barrage TILES DIT sont présentés dans la **figure 26**.

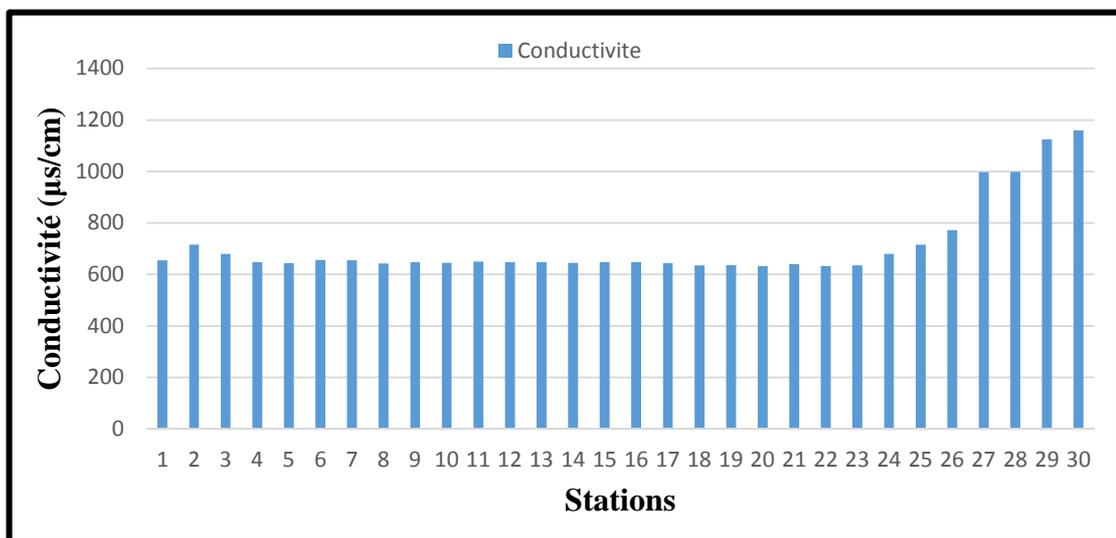


Figure (26) : Histogramme de variation de la conductivité des 30 stations de mesure.

Les valeurs de la conductivité électrique d'eau enregistrée sur le multi paramètre dans toutes les stations analysées, varient entre deux valeurs limite à grand écart qui sont 632 µs/cm et 1160 µs/cm au niveau des stations 20 et 30 respectivement.

Dans notre étude, toutes les valeurs de mesure de la CE (**figure 27**) indiquent une légère variation géospatiale dans le barrage, cela se traduit par une minéralisation faible car la totalité des valeurs sont inférieures à 1500 µs/cm, et ses valeurs conformes aux normes de l'OMS (<2800µs/cm).

Cette faible CE est probablement due à la nature géologique des roches traversées par l'écoulement des effluents d'eau qui alimente le barrage.

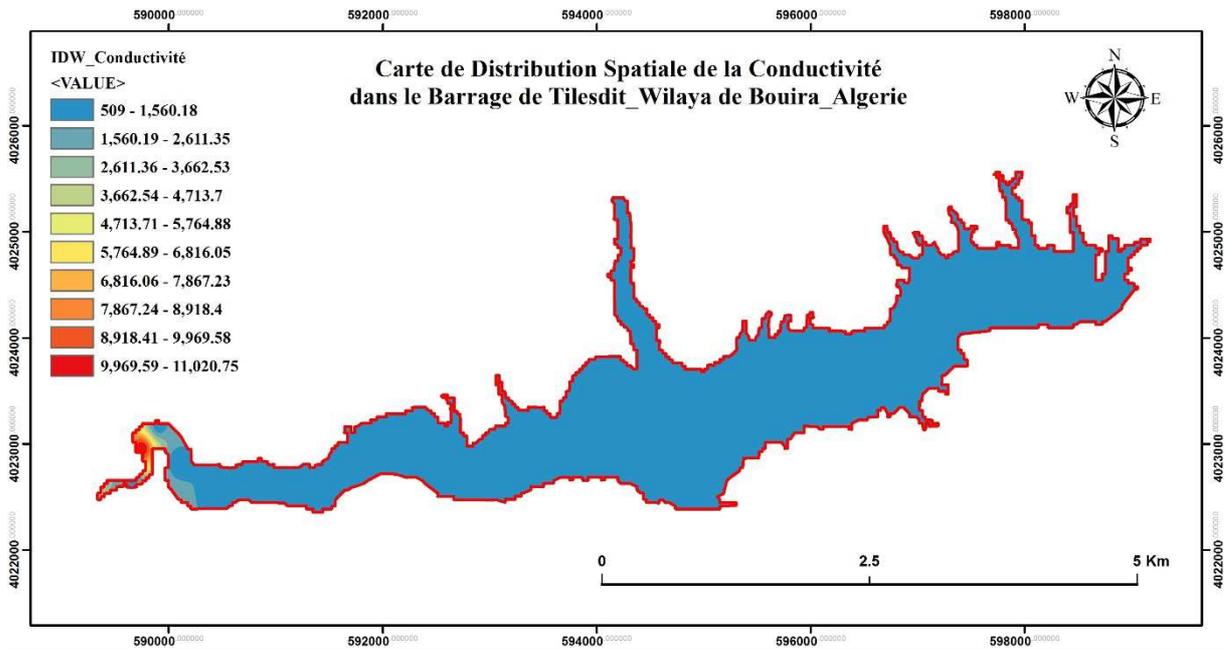


Figure (27) : Variation géospatiale de la conductivité de l’eau de barrage (ArcMap 10.1)

IV.1.2. Présentation des paramètres analysés au laboratoire (MES, Turbidité),

IV.1.2.1. Variation de MES dans l’eau de barrage

La mesure des teneurs en MES des échantillons prélevés au niveau du barrage TILES-DIT de Bechloul, nous a donné une vue globale sur la qualité de l’eau qui comporte le barrage. La **figure 28** représente la variation de paramètre dans les 30 stations de mesure :

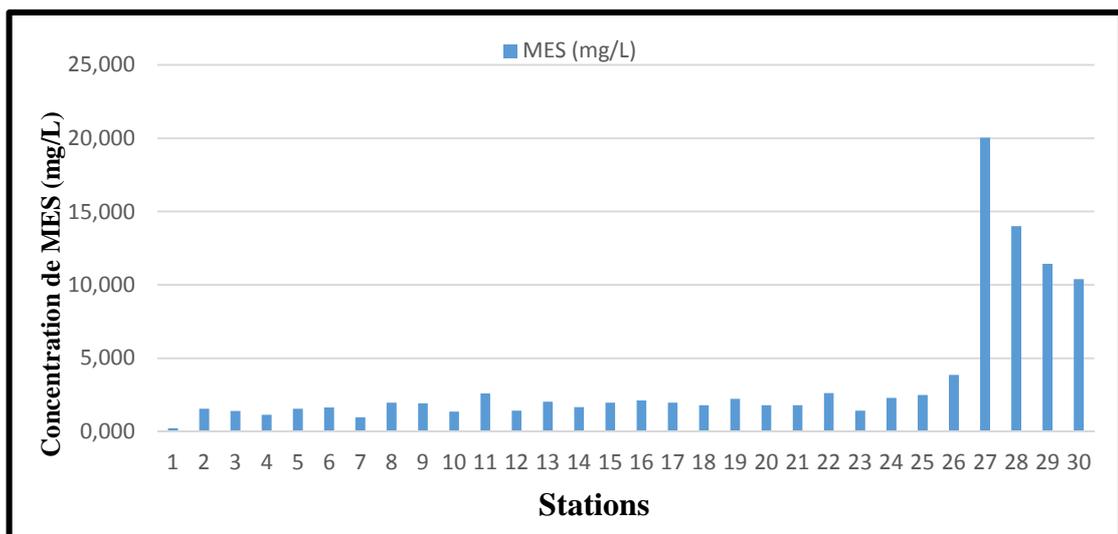


Figure (28) : Histogramme de variation de MES des 30 stations de mesure.

Les résultats obtenus montrent des valeurs faibles de la MES qui varie entre 0,32 et 3,86 mg/L sur l'étendue de barrage de la station 1 a la station 26. Par contre les quatre dernières stations (27, 28, 29, 30) montrent des teneurs élevées en matières en suspension, l'apport maximal est égal à 20,03 mg/L (station 27). Ces teneurs élevées peuvent être considérer comme une forme de pollution due au débouchement des charge d'Oued Eddous dans le barrage.

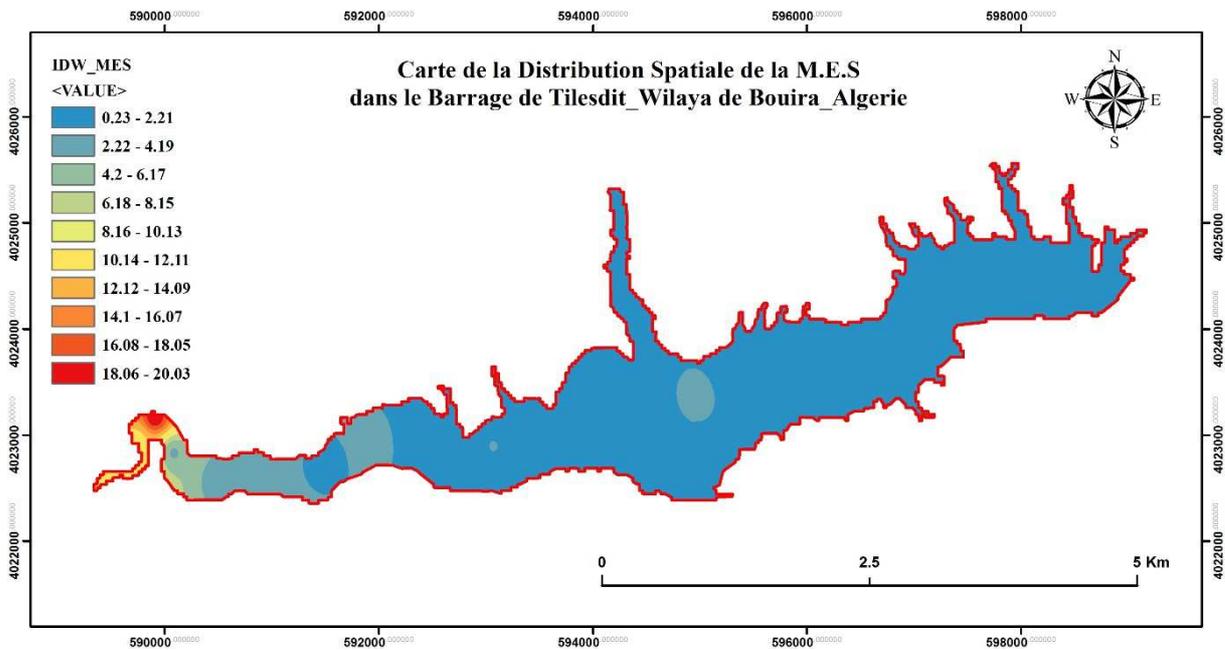


Figure (29) : Variation géospatiale de MES dans l'eau de barrage (ArcMap 10.1)

Le présent résultat (**figure 29**) montre une grande variation quantitative géospatiale de la MES entre les stations proches de l'embouchure d'Oued Eddous qui impliquent une grande influence par les apports anthropiques terrestres et les autres stations situant loin de cette zone.

Les valeurs de matière en suspension varient inversement par rapport aux valeurs de la transparence estimé par la PDS, c'est-à-dire quand la MES augmente la transparence de l'eau diminue, dans ce cas on remarque une forte corrélation entre la matière en suspension et la transparence de l'eau.

L'effet de la MES sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau sont très néfastes. Des teneurs élevées en MES peuvent également empêcher la pénétration de la lumière et la diminution de l'oxygène dissous, ce qui traduit par la naissance de phénomène d'eutrophisation qui limite la vie aquatique. Ce phénomène peut disperser sur toute la surface du barrage et cause de problèmes plus désastreux face à l'écosystème et à la santé humains.

Les résultats de la présente étude permettent de classer les eaux superficielles du barrage dans la classe I selon la grille de l'ANRH, 1999.

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

Paramètre	Unité	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
MES	Mg/l	0-30	30-75	75-100	>100

IV.1.2.2. Variation de la turbidité de l'eau dans le barrage

La turbidité est un paramètre physique très important pour le contrôle de la qualité des eaux de barrage. L'analyse et le suivi de ce paramètre au niveau de la région en question, donne des valeurs très variantes, les résultats obtenus sont représenté dans la (figure 30) :

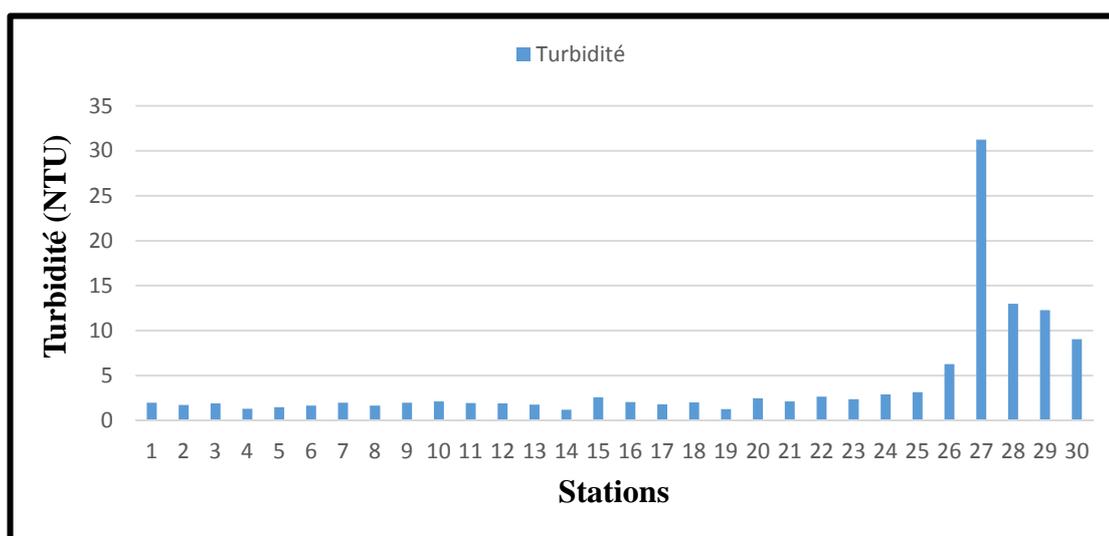


Figure (30) : Histogramme de variation de la turbidité des 30 stations de mesure.

Les données représentées dans l'histogramme ci-dessus (figure 30) et la figure 31, montrent des valeurs de turbidité presque faible au niveau des 25 premières stations, avec une valeur minimale de 1,20 NTU dans la station 14. La valeur maximale de turbidité de 31,25 NTU est enregistrée au niveau de la station numéro 27 au point où l'Oued Eddous converge avec le barrage.

Les valeurs d'analyse de la matière en suspension marquées auparavant, ont une forte corrélation avec les valeurs de la turbidité, ce qui confirme que la dissolution des teneurs élevée

en MES véhiculé par l'écoulement de l'oued est le facteur causale de cette augmentation remarquable de turbidité.

Ces teneurs de turbidité enregistrées dans les stations (26, 27, 28, 29, 30) dépassent largement la valeur limite acceptable pour les eaux destinées à la consommation humaine qui est limité par MREE à 5 NTU.

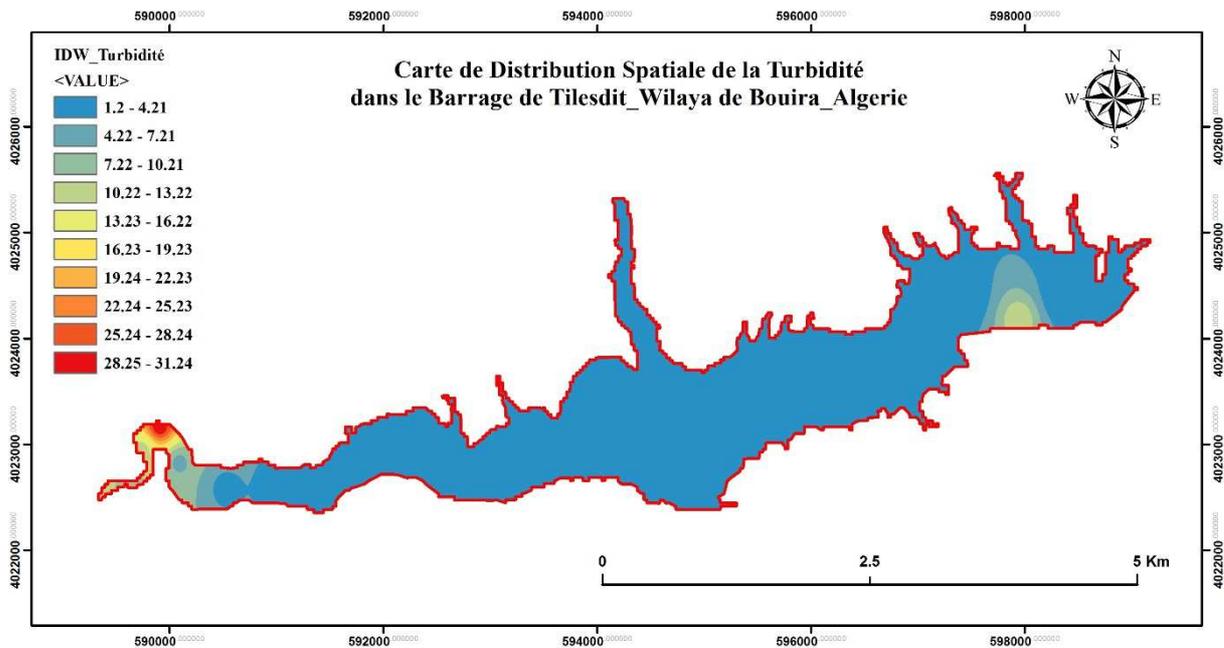


Figure (31) : Variation géospatiale de la turbidité de l'eau de barrage (ArcMap 10.1)

IV.2. Calcul des indices

IV.2.1. Résultats de calcul des indices spectraux sur le logiciel ENVI

Cette recherche a exploré le potentiel de la télédétection pour développer un indice et estimer des coefficients qui peuvent être utilisés dans les environnements des barrages, en particulier lors d'événements extrêmes lorsque les mesures in-situ de routine ne sont pas disponible. Les résultats de calcul des indices spectraux sont représentés dans le **tableau 6**.

Tableau (6) : Résultats de calcul des indices de qualité de l'eau du barrage TILES-DIT sur ENVI.

<i>Paramètre</i>	<i>NDWI</i>	<i>WRI</i>	<i>NSMI</i>	<i>NDSSI</i>	<i>MNDWI</i>	<i>AWEI</i>	<i>NDMI</i>
<i>Stations</i>							
1	0,421	2,806	0,070	0,550	0,711	0,201	0,431
2	0,389	2,562	0,068	0,527	0,673	0,186	0,384
3	0,405	2,604	0,071	0,545	0,688	0,193	0,368
4	0,451	3,101	0,056	0,582	0,757	0,208	0,465
5	0,444	3,063	0,055	0,577	0,758	0,207	0,473
6	0,471	3,288	0,054	0,598	0,779	0,215	0,487
7	0,476	3,329	0,056	0,603	0,777	0,212	0,476
8	0,472	3,24	0,064	0,591	0,768	0,213	0,465
9	0,492	3,459	0,052	0,615	0,789	0,213	0,485
10	0,5	3,539	0,052	0,621	0,794	0,214	0,488
11	0,478	3,343	0,057	0,602	0,779	0,211	0,482
12	0,486	3,403	0,049	0,614	0,782	0,208	0,478
13	0,479	3,302	0,056	0,604	0,769	0,206	0,459
14	0,467	3,187	0,058	0,592	0,76	0,209	0,455
15	0,497	3,602	0,046	0,621	0,816	0,214	0,537
16	0,492	3,436	0,062	0,609	0,783	0,216	0,473
17	0,488	3,43	0,053	0,61	0,79	0,212	0,491
18	0,195	1,349	0,102	0,329	0,297	0,049	0,108
19	0,44	2,834	0,061	0,568	0,709	0,189	0,378
20	0,482	3,344	0,061	0,601	0,779	0,212	0,477
21	0,471	3,259	0,065	0,591	0,775	0,213	0,474
22	0,477	3,287	0,058	0,597	0,777	0,212	0,477
23	0,486	3,37	0,071	0,597	0,779	0,219	0,472
24	0,456	3,084	0,063	0,577	0,755	0,205	0,456
25	0,484	3,24	0,087	0,584	0,755	0,221	0,427
26	0,505	3,49	0,107	0,591	0,776	0,241	0,445
27	0,551	4,17	0,202	0,587	0,797	0,307	0,442
28	0,431	2,919	0,212	0,484	0,659	0,246	0,319
29	0,005	1,215	0,252	0,059	0,293	0,061	0,288
30	0,095	1,344	0,212	0,167	0,334	0,087	0,247

IV.2.2. Interprétation des indices

IV.2.2.1. Variation spectrale de l'indice NDWI dérivée à partir de l'image Landsat traitée

L'évaluation des ressources en eau par le calcul de l'NDWI permet de fournir, à la fois des données en termes de quantité et de qualité, utilisant des méthodes impliquant l'analyse des données de télédétection et les variations spectrales du rayonnement proche infrarouge réfléchi. Les résultats de la variation spectrale obtenus sont représentés dans les **figures 32 et 33**.

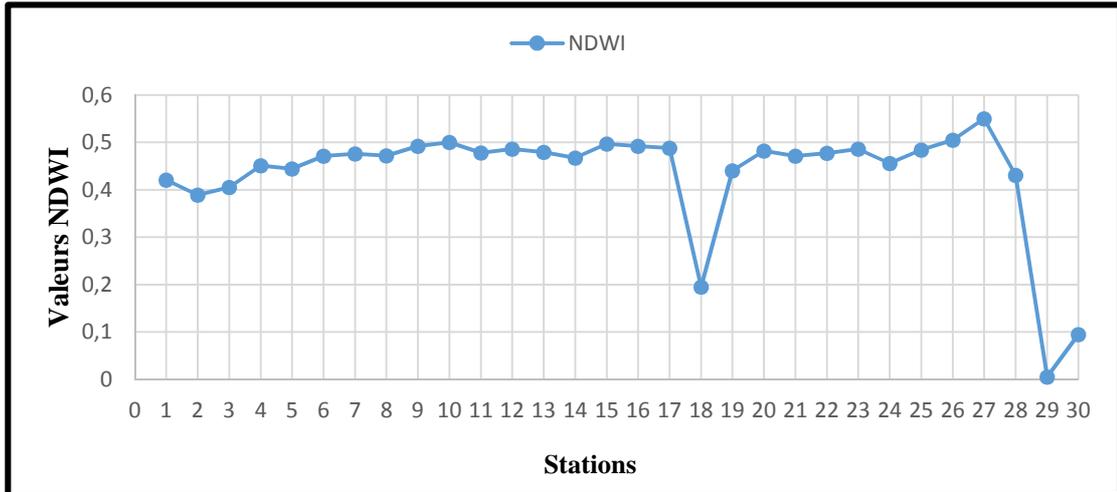


Figure (32) : Courbe de la variation spectrale de l’indice NDWI.

Les résultats de variation des valeurs spectrale de l’indice NDWI comme elle montre la courbe sur la figure ci-dessus peuvent aller de 0,005 à 0,551. Les surfaces aquatiques ont tendance à avoir des valeurs positives (station 27), nous rappelons que pour cet indice le sol nu peut avoir presque zéro, les surfaces d’eau à faible réflectance spectrale (station 18, 29, 30) et forte absorbance du rayonnement dont les valeurs proches de 0, peut être expliquée par une forte turbidité de l’eau. Cette approche a été utilisée car le NIR est fortement refléter par l’eau et absorbé à la surface terrestre sèche et en moyen aux surfaces turbides.

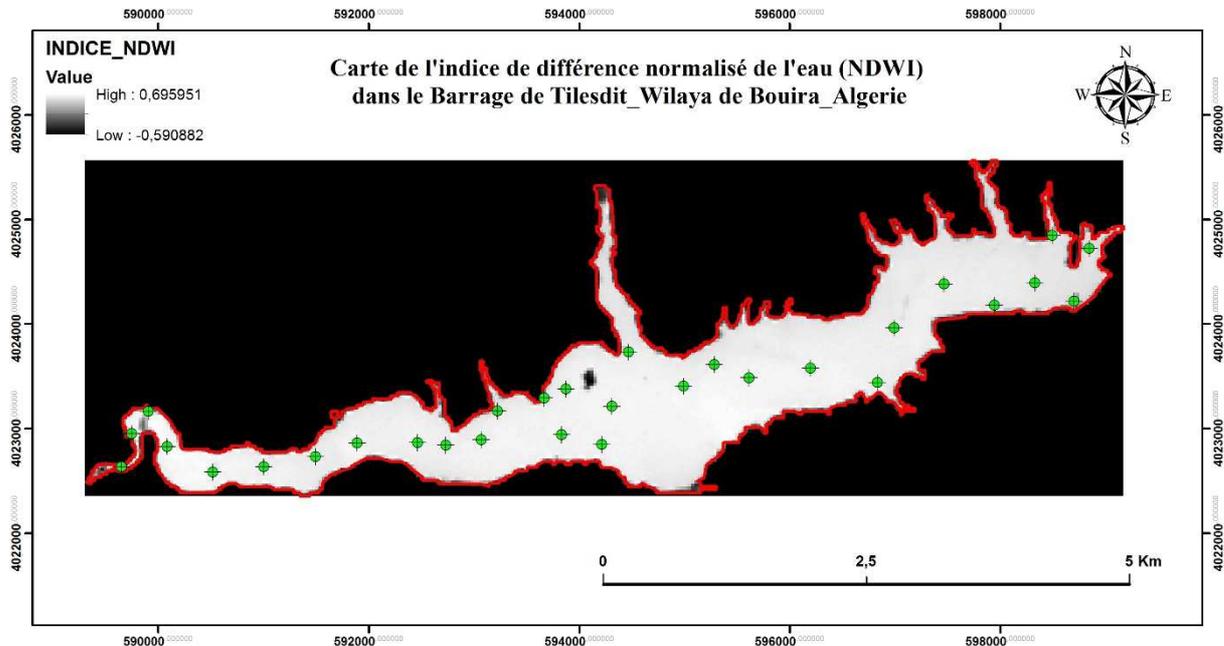


Figure (33) : Variation géospectrale de l’indice spectrale NDWI dans le barrage.

Le rayonnement proche infrarouge réfléchi il peut être conseillé de convertir des nombres numériques bruts en valeurs de radiance ou réflectance (**figure 33**). De plus, le NDWI peut s’avérer utile à l’étude des problèmes de qualité de l’eau, notamment en ce qui concerne les estimations de la turbidité.

IV.2.2.2. Variation spectrale de MNDWI dérivée à partir de l’image Landsat 8 traitée

L’indice MNDWI permet de montrer clairement les caractéristiques d’eau libre comme résultat de l’amélioration. Les **figures 34 et 35** répertorient les résultats statistiques et la variation spectrale de l’MNDWI dans le barrage.

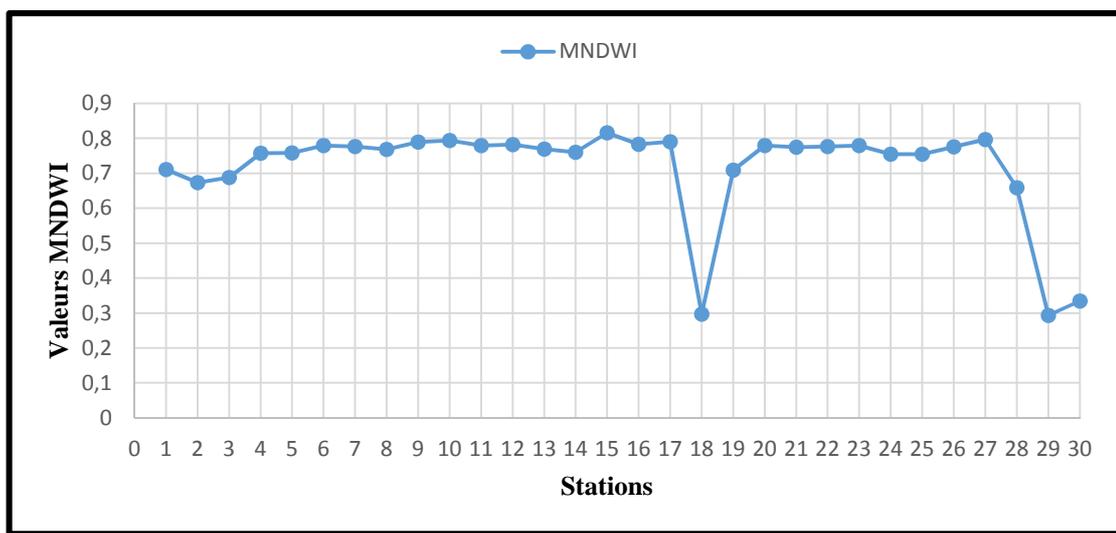


Figure (34) : Courbe de la variation spectrale de l’indice MNDWI.

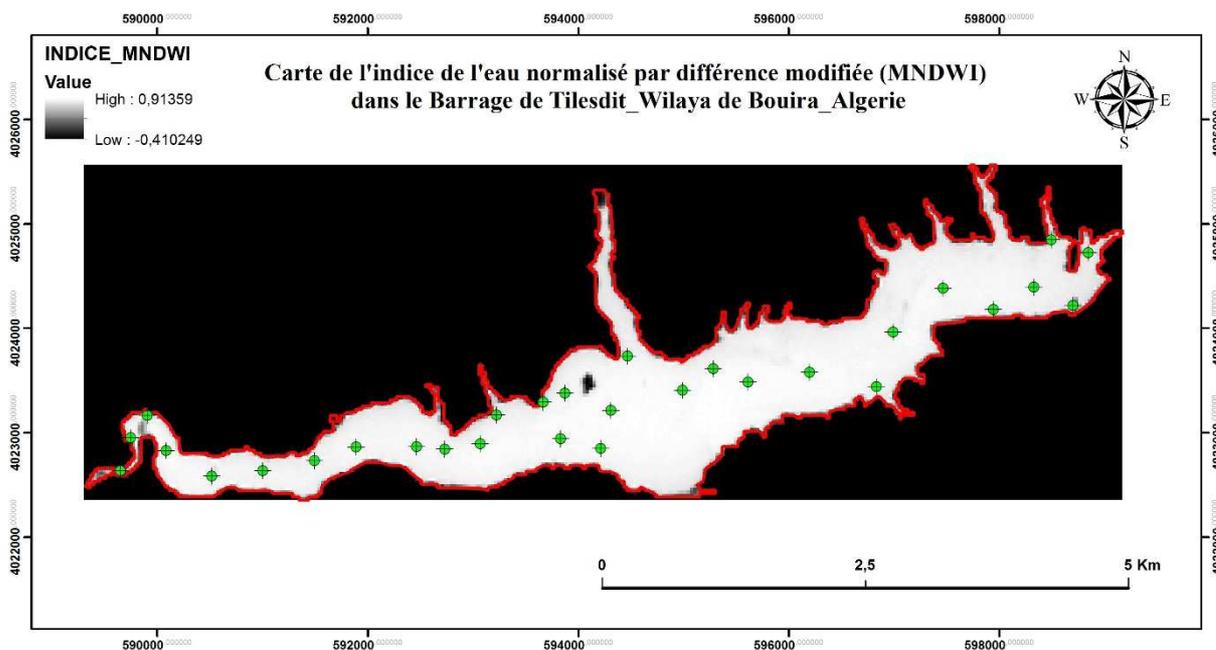


Figure (35) : Variation géospatiale de l’indice spectral MNDWI dans le barrage.

Les résultats ont montré que l'indice MNDWI à une légère variation dans le barrage, les valeurs des 17 premières stations sont stable en moyenne 0,76, ceci est dû en grande partie à la diminution de la valeur moyenne des terrains construits. La chute de la valeur de l'indice a 0,3 dans les trois stations 18, 28 et 29, conduit évidemment par à une grande augmentation du contraste entre l'eau et les terrains construits. La valeur maximale de seuil 0.8 peut obtenir le meilleur résultat d'extraction d'eau pour l'indice MNDWI.

La plus grande amélioration de l'indice de l'eau normalisé par différence modifiée dans l'image MNDWI se traduira par une extraction précise des éléments d'eau libre tels que les sols et les terrains construits.

IV.2.2.3. Variation spectrale de l'indice NSMI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée

Le calcul de l'indice normalisé des matériaux en suspension (NSMI) par le rapport entre la bande verte, rouge en enlevant le bleu et la bande verte, rouge, bleu permet d'obtenir les résultats présentées dans les figures ci-dessous. Cette équation a été développée sur la base de deux principes : la réflectance maximale de l'eau dans le barrage du spectre visible et la présence de MS augmente la réflectance dans le spectre visible, y compris la bande verte et rouge où l'eau claire tend à s'absorber.

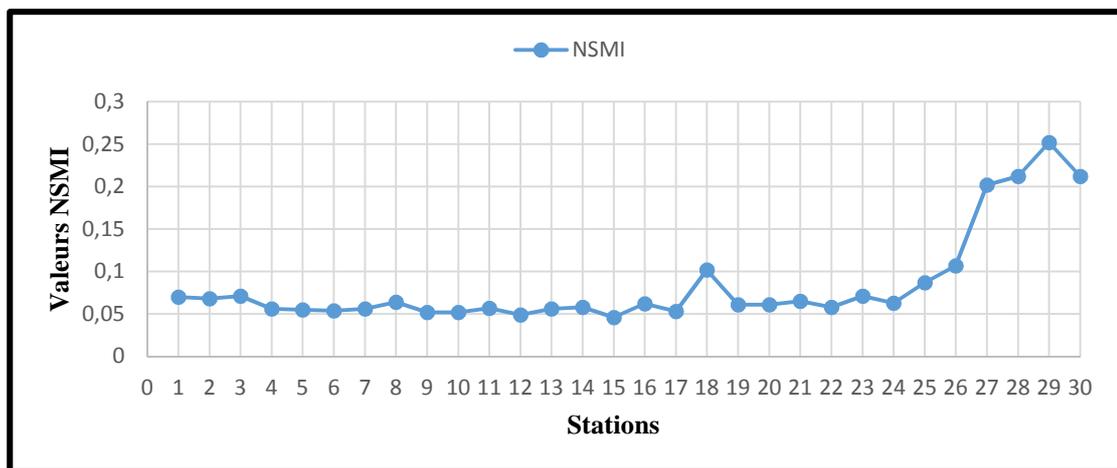


Figure (36) : Courbe de la variation spectrale de l'indice NSMI.

D'après la **figure 36** la valeur de l'indice normalisé des matériaux en suspension (NSMI) est faible dans la plupart des stations (de S1 à S17) sont moins de 0,08. Et la variation spectrale de l'indice dans cette phase (**figure 37**) montre que l'eau claire reflète très peu l'irradiante solaire en raison de la faible teneur des matériaux en suspension.

Par contre la valeur de l'indice augmente en rapprochant des stations situant à l'embouchure d'oued. La valeur maximale est de 0.25 notée dans la station 29 cela peut s'expliquer par l'accumulation de l'eau en matériaux en suspension qui sont capable de réfléchir une quantité importante de rayonnement infrarouge comme elle montre la **figure 37**.

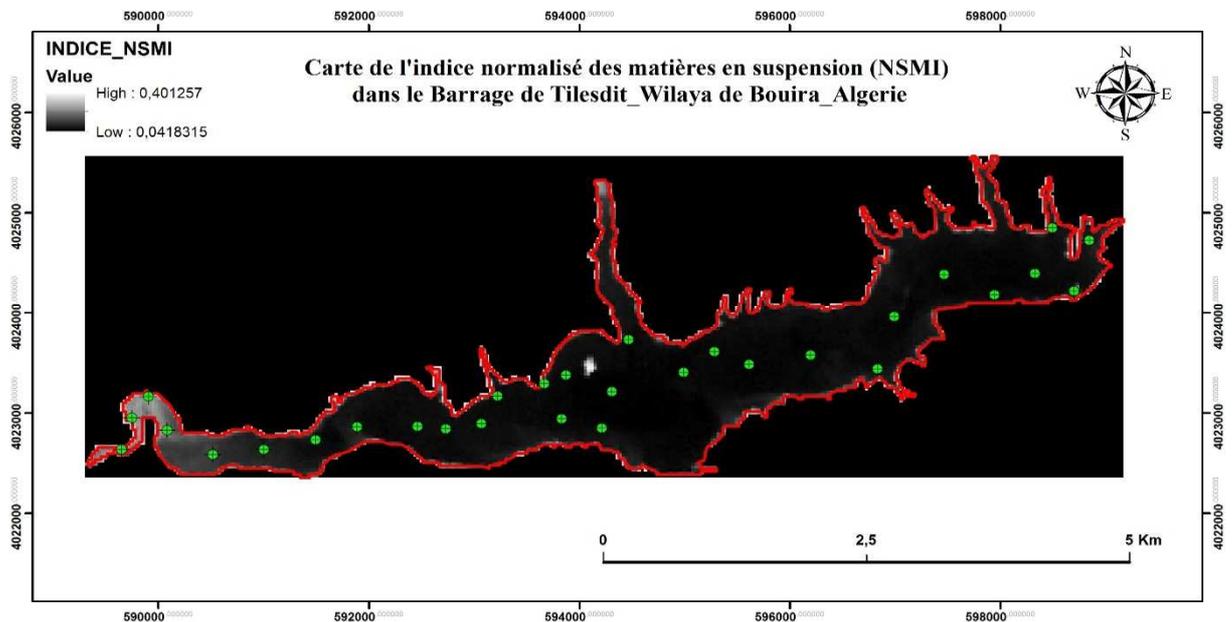


Figure (37) : Variation géospatiale de l'indice spectrale NSMI dans le barrage.

L'estimation de l'NSMI par l'équation mathématique et de bande, est la meilleure procédure nouvelle pour estimer la contenance de l'eau des barrages en matière en suspension.

IV.2.2.4. Variation spectrale de NDSSI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée

L'indice de normalisation des sédiments en suspension a été utilisé par de nombreux auteurs on peut citer **Azad et al, 2006** afin de développer des modèles de sédiments en suspension dans les lacs, les barrages et de nombreux autres plans d'eau. Les figures ci-dessous représentent les résultats de calcul de l'indice spectral NDSSI.

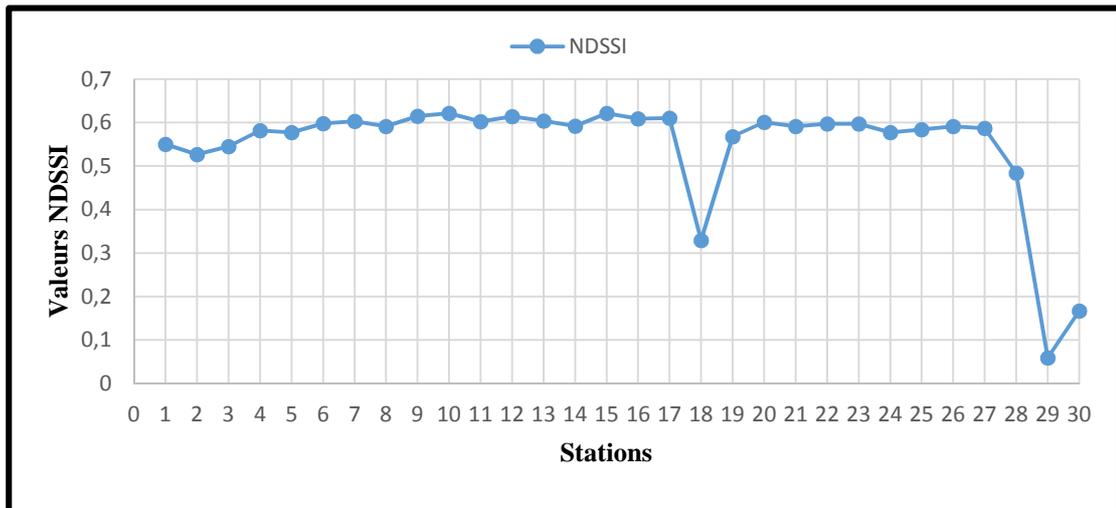


Figure (38) : Courbe de la variation spectrale de l'indice NDSSI.

L'équation de l'indice NDSSI est l'une des plus utilisées dans la littérature pour déterminer la normalisation des sédiments en suspension dans l'eau des barrages. D'après la figure ci-dessus, les résultats obtenus par le calcul de cette équation montrent des grandes valeurs dépassent 0.6 dans la majorité des points étudiés, avec une légère variation entre les stations (de la station 1 à la station 17). La valeur maximale de cet indice est de 0.62, marquée dans les stations 10 et 15 qui dévoilent une forte réflectance de RI en absence de sédiments en suspension (SS) ; la zone de convergence de l'Oued avec le barrage (station 30) présente une faible valeur d'indice (0,06) et forte concentration en SS.

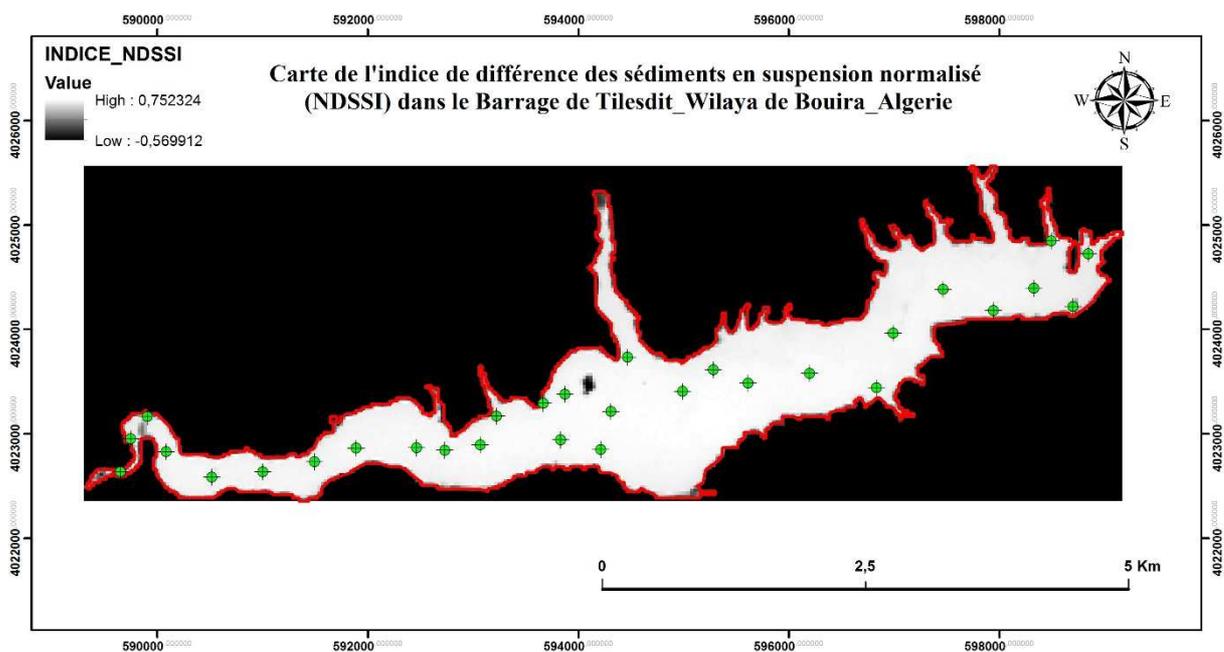


Figure (39) : Variation géospatiale de l'indice spectral NDSSI dans le barrage.

Notez que, les valeurs les plus basses de l'indice NDSSI peuvent être soit des terres, soit des quantités très élevées de sédiments en suspension.

IV.2.2.5. Variation spectrale de l'indice WRI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée

L'indice de rapport d'eau WRI est un indice très récemment utilisé, pour évaluer la détection du changement des eaux. Dans les barrages, cet indice est lié à la bathymétrie et au changement dans le stock en eau qu'il contient. Les résultats de la variation spectrale de cet indice sont illustrés dans les **figures 40 et 41**.

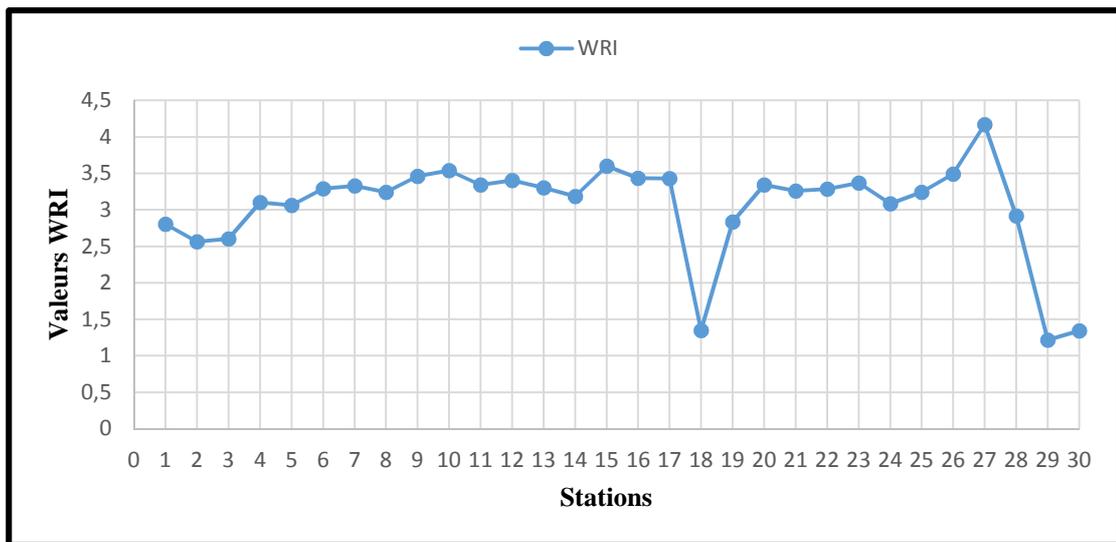


Figure (40) : Courbe de la variation spectrale de l'indice WRI

La courbe de variation spectrale de l'indice WRI montre que les valeurs sont élevées et en augmentation légère dès la première station jusqu'à la 17^{ème}, elle débute par une valeur de 2,5 pour atteindre la valeur 3,6 dans la station 15. La valeur minimale de cet indice est de 1,2 elle a été enregistrée dans les deux stations 18 et 29. La valeur maximale (4,3) a été enregistrée au niveau de la station 27. Ces valeurs sont en relation directe avec la profondeur et le changement dans le stock de la réserve (Barrage). Là où la valeur de l'indice WRI est importante, représente une profondeur assez importante avec un grand stock d'eau et Vice versa.

L'indice de rapport d'eau est très efficace dans la détermination quantitative de l'eau, mais il est moins significatif dans la mesure de qualité de l'eau de barrage.

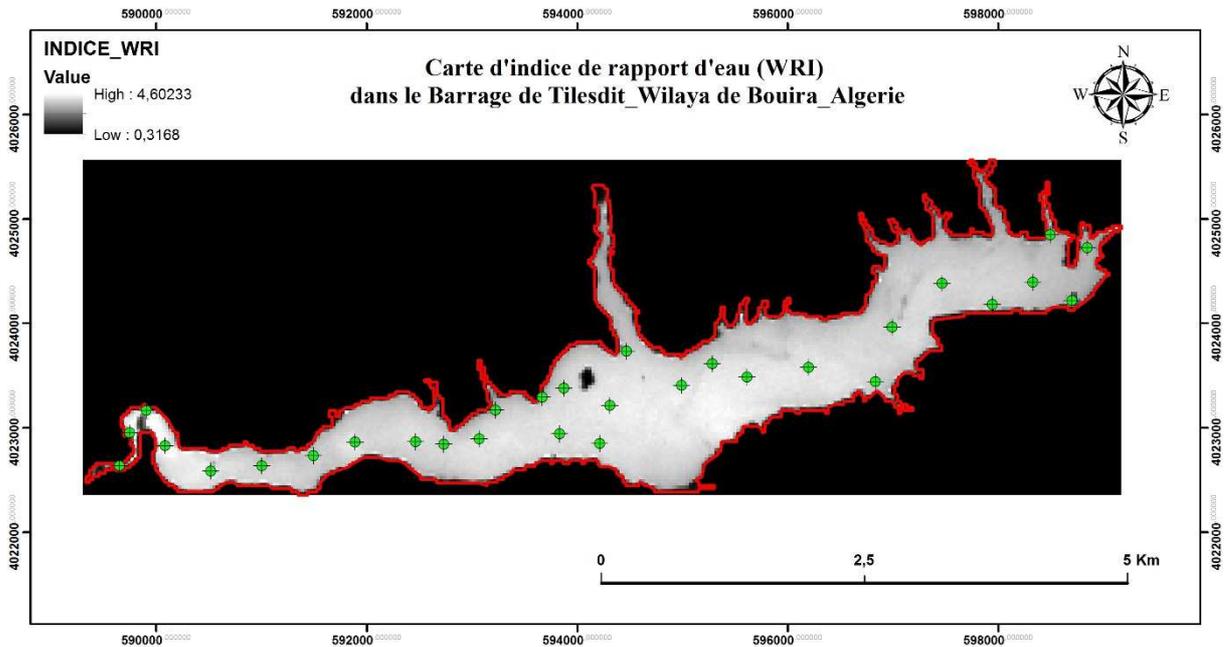


Figure (41) : Variation géospatiale de l'indice spectral WRI dans le barrage.

IV.2.2.6. Variation spectrale de l'AWEI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée

L'indice d'extraction d'eau automatisée présente l'avantage de transformer les pixels en eau en pixels positifs et les pixels terrestres en pixels négatifs. Cet indice peut être utilisé pour extraire l'eau avec une grande précision. Le calcul de l'équation de cet indice nous a permis d'obtenir les résultats présentés dans les **figures 42 et 43**.

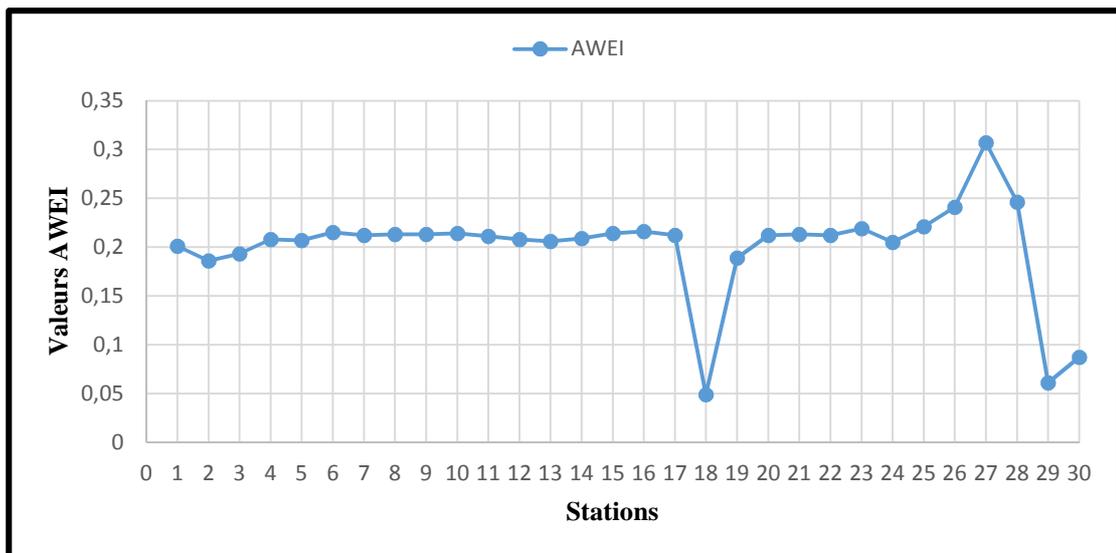


Figure (42) : Courbe de la variation spectrale de l'indice AWEI.

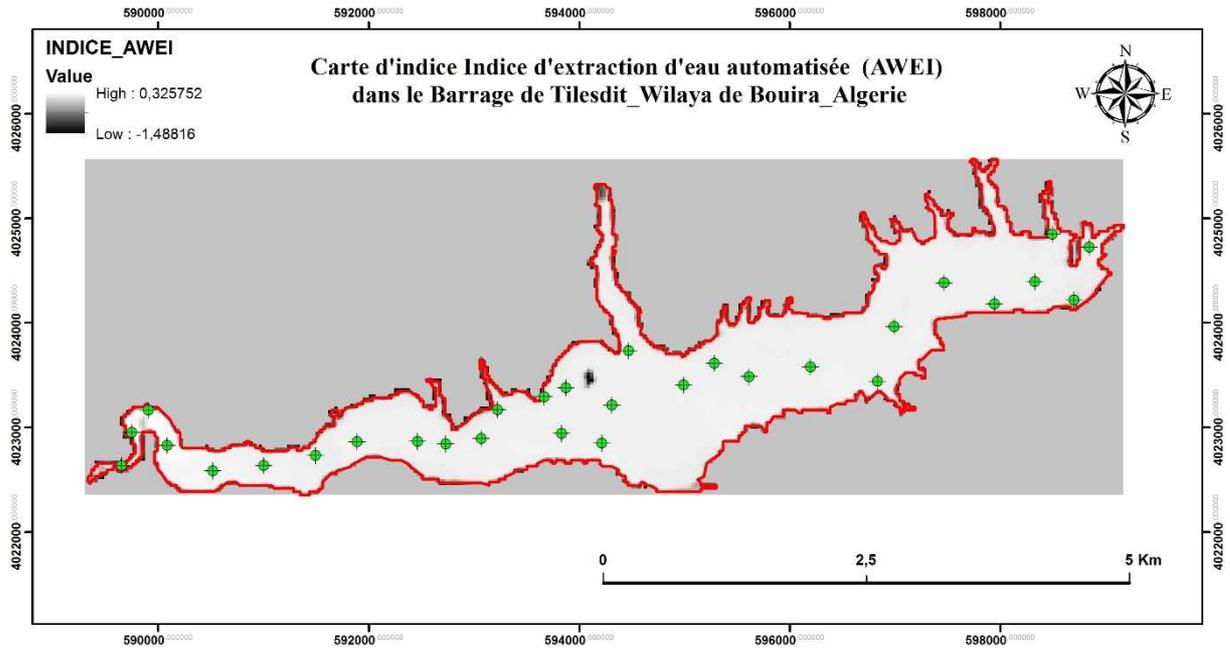


Figure (43) : Variation géospatiale de l'indice spectral AWEI dans le barrage.

Les valeurs d'indice d'extraction d'eau automatisée oscillent entre un minimum de 0.05 au niveau de la station 18 et un maximum égal à 0.32 dans la station 27.

Ces résultats peuvent nous conduire à faire une cartographie des surfaces d'approvisionnement de l'eau et de suivre la provenance de toutes sources d'alimentation du barrage et ses réseaux de transfères, à l'aide de cet indice on peut déterminer les surfaces d'eau et toutes ressources hydriques sur la surface de la terre par la réflectance du rayonnement proche infrarouge.

IV.2.2.7. Variation spectrale de NDMI dérivée à partir de l'image Landsat 8 traitée

L'indice d'humidité différentielle normalisé (NDMI) est dérivé de la réflectance superficielle de Landsat 8 OLI 18/03/2019. Les cartes Landsat est dérivé des bandes spectrales 4 et 5 de Landsat8. L'indice NDMI est calculé à l'aide de l'équation suivante : $NDMI = [Band\ 4 - Band\ 5] / [Band\ 4 + Band\ 5]$. La **figure 44** montre un graphique de la variation spectrale de l'indice sur la surface du barrage.

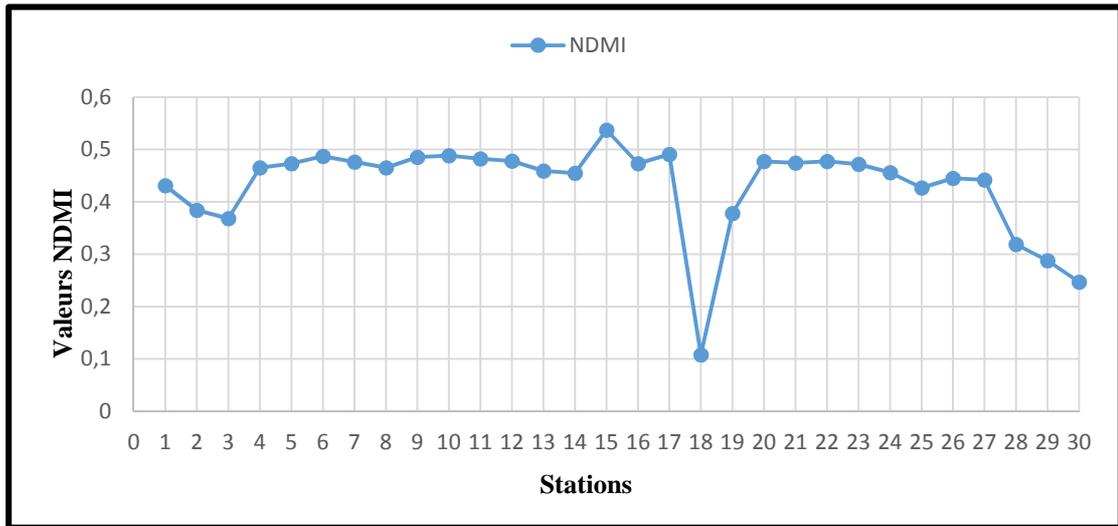


Figure (44) : Courbe de la variation spectrale de l'indice NDMI.

Les résultats de la variation spectrale de l'indice NDMI montrent un grand écart entre la valeur minimale (0,1) enregistré au niveau de la station 18 et la maximale de 0,54 dans la station 15. A partir de la station 27 on observe un abaissement de la valeur d'indice jusqu'à 0.25 qui est la valeur moyenne de l'indice, enregistré dans la station 30. Les zones où la valeur spectrale d'indice NDMI est plus basse, sont celles où les valeurs d'humidité sont plus élevés et la zone est plus stressée.

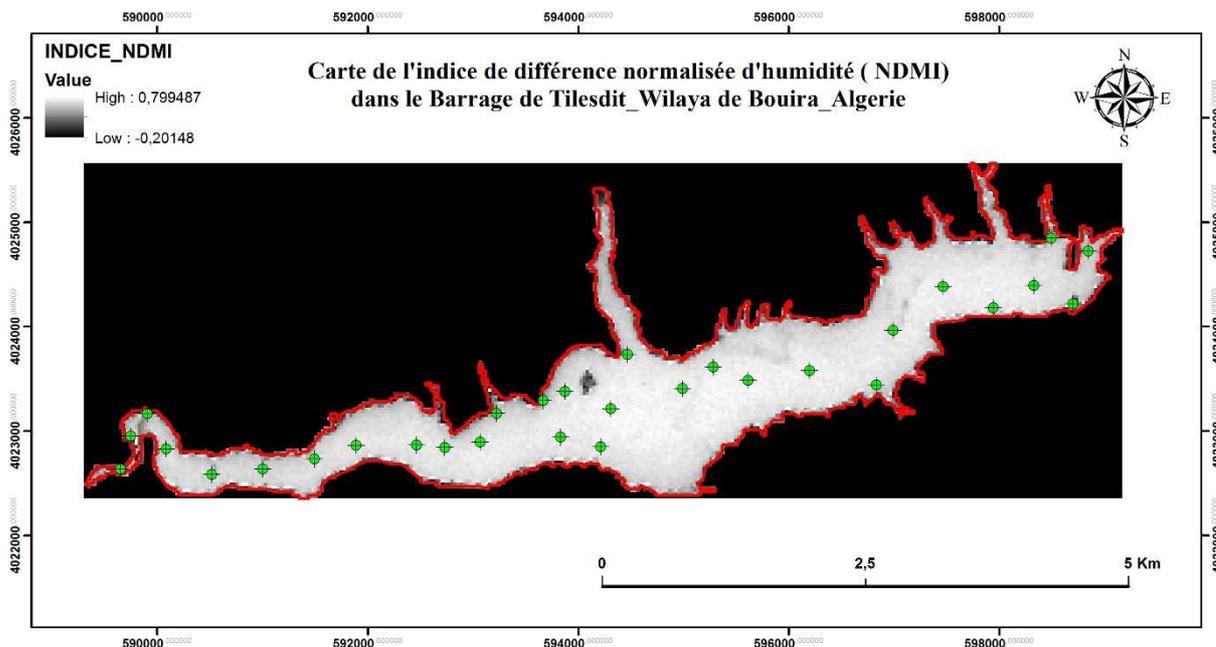


Figure (45) : Variation géospatiale de l'indice spectral NDMI dans le barrage.

Le contraste du gris dans la **figure 45**, est la variation spectrale d'humidité sur la surface d'eau, là où la réflectance du rayonnement est important la zone apparaisse en couleur blanche qui signifie l'absence d'humidité. Ce qui fait contraire aux zones qui s'enfoncent en gris, à faible réflectance de NIR et reflètent la dispersion des teneurs élevées d'humidité.

Conclusion

Conclusion générale

Au terme de ce travail qui a pour but de montrer le potentiel et l'utilité de la télédétection et des SIG dans la quantification de sept (07) paramètres relatives avec la qualité des eaux du Barrage de TELESDIT dans la wilaya de Bouira.

- **Le premier objectif** c'était de déterminer la qualité de l'eau brute du barrage de TELESDIT en faisant des mesures in-situ suivi avec des analyses au laboratoire concernant les paramètres physico-chimiques de 30 échantillons de l'eau de barrage.

Dans l'étude de terrain, nous avons estimé cinq (05) paramètres physico-chimiques de l'eau de barrage. Nous avons remarqué que la température varie légèrement dans les 30 stations, elle oscille entre 13,57°C (station 23) et 16,30°C qui est le maximum enregistré dans la station 29. Concernant le pH les valeurs enregistrées durant la période d'étude, varient entre 7,60 et 9,31 avec une forte alcalinité dans la station 10. Sur la base des mesures de profondeur obtenue par la PDS, le maximum de profondeur de disque de 4m a été enregistré dans la station 5. Par contre, un minimum de profondeur de 0,7m a été obtenu dans la station 28. Concernant la salinité, le minimum (0,25 g/kg d'eau) et le maximum (0,58 g/kg d'eau) ont été enregistrés dans les stations 19 et 23 pour le minimum et la station 30 pour le maximum. La conductivité électrique dans le barrage, varie entre deux valeurs limite à grand écart qui sont 632 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 1160 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau des stations 20 et 30 respectivement.

Dans le travail de laboratoire réalisé à l'ENSSMAL, nous avons estimé la turbidité et la MES. Une valeur très élevée de turbidité de 31,25 NTU a été marquée au niveau de la station numéro 27 de même que l'apport maximal obtenu en MES qui est de 20,03 mg/L dans la même station. Dans la totalité des stations, nous avons constaté que les valeurs de MES varient inversement par rapport aux valeurs de la transparence estimée selon la PDS. En plus, une claire corrélation a été obtenue en comparant ces deux paramètres (MES et PDS).

- **Le deuxième objectif** c'était de produire des cartes thématiques des paramètres physico-chimiques mesurés afin de pouvoir interpréter leurs variations géospatiales en utilisant un SIG (ArcGIS 10.2). Les cartes thématiques produites ont montré la variation géographique des paramètres mesurés. A travers ces cartes, nous avons pu avoir une image globale sur la distribution géospatiale de chaque paramètre dans la totalité du barrage. On se basant sur la concentration de chaque paramètre dans les 30 stations, nous avons généré des cartes

CONCLUSION

d'interpolation avec clé de répartition pour chaque paramètre en utilisant l'algorithme IDW. La variation des sept (07) paramètres étudiés a été présentée avec un intervalle et une couleur spécifique pour chaque paramètre.

- **Le troisième objectif** c'était de faire une estimation de sept (7) indices spectraux de l'eau de barrage (NDWI, MNDWI, NSMI, NDSSI, WRI, AWEI, NDMI) par télédétection en utilisant une image satellitaire multispectrale (Landsat-8 OLI du 18/03/2019) acquit en concordance avec les prélèvements des échantillons de l'eau de barrage.

On a démontré que l'indice NDWI varie entre deux valeurs limite allons de 0,005 à 0,55, cet indice peut s'avérer utile à l'étude des problèmes de qualité de l'eau, notamment en ce qui concerne les estimations de la turbidité. Le calcul de l'indice MNDWI a montré une légère variation dans le barrage avec une valeur moyenne de 0,76. La valeur la plus faible (0,3) a été enregistrée au niveau des stations 18, 28 et 29. L'indice NSMI a été estimé à partir de l'image satellitaire corrigée pour montrer la contenance de l'eau de barrage en MES. Les valeurs les élevés ont été obtenus dans les stations proches de l'embouchure de l'oued dans le barrage, ce qui prouve des forte teneurs en MS. La valeur maximale (0,25) de cet indice a été enregistrée dans la station 29 ; les résultats des mesures in-situ ont montré également une concentration élevée de la MES dans la même station, cela confirme la corrélation directe entre les mesures in situ (multi-paramètre) et les mesures spectrales (indice NSMI). Les valeurs d'indice NDSSI dépasse 0,6 dans la majorité des points étudiés et montrent une forte réflectance de RI en absence de sédiments en suspension (SS) ; la zone de convergence de l'Oued avec le barrage (station 30) présente une faible valeur d'indice (0,06) et forte concentration en SS. Les valeurs obtenues de l'indice du rapport d'eau (WRI) varient entre 1,2 et 4,3, et elles sont en relation avec la profondeur et la quantité d'eau dans le barrage. Cet indice est moins efficace dans la mesure de la qualité d'eau. L'estimation de l'indice AWEI montre des valeurs qui varient entre 0,05 et 0,32. Cet indice est très utile dans la cartographie et le suivi des sources d'alimentation du barrage, ses réseaux de transferts et les ressources hydriques sur la surface de la terre. Le dernier indice estimé est l'NDMI, cet indice présente un grand écart entre la valeur minimale (0,1) enregistré au niveau de la station 18 et la valeur maximale (0,54) dans la station 15. Les valeurs importantes sont traduites par une faible réflectance de NIR et reflètent la dispersion des teneurs élevé en humidité. Les résultats de la présente étude permettent de classer les eaux superficielles du barrage dans la classe I selon la grille de l'ANRH ,1999.

CONCLUSION

Après avoir quantifiés les paramètres physico-chimiques de l'eau de barrage par les mesures in-situ ; l'apport de la télédétection et des SIG a été investiguer et prouver par des analyses in-silico.

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.

Références

bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

Références Bibliographique

AGENCE NATIONALE DES BARRAGES ET TRANSFERTS. (1985).

AGENCE NATIONALE DES BARRAGES. (1993). Kouba Alger, Algérie.

AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDROLYQUES. (1999).

ALLALGUA, A., KAOUACHI, N., AYARI, A., BOUALLEG1, CH., & BENSOUILAH M. (2017). *Caractérisation Physico-Chimique Des Eaux Du Barrage Foum El-Khanga : (Région De Souk-Ahras, Algérie).* Journal European Scientific, vol. 13, p.12. ISSN : 1857 – 7881.

AL-QAWATI, M., IDRISSE, Y.A., ALEMAD, A., BELHAILI, I., MARC, I., BAICHOUTI, F., EL KHARRIM, KH., & BELGHYTI, D., (2015). *Analyse et Contrôle de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région Sidi Allal Tazi-Gharb (MAROC).* International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 13. p. 420-429. ISSN 2028-9324.

AMINOT, A., & CHAUSSEPIED, M. (1983). *Manuel des analyses chimiques en milieu marin CNEXO.* Brest, p. 395.

AMJAD, Z. (2010). *the science and technology of industrial water treatment.* United States of America IWA Publishing, Alliance House.

AMJAD, Z. (2010). *The science and technology of industrial water treatment.* United States of America IWA Publishing, Alliance House, 2010.

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 de l'univers. «Les eaux du ciel». Vuibert Paris : Robert Kandel, ISBN 2-7117-5280-1

ANDREE, O. (2001). *Géographie l'eau.* [En ligne]. Consulté sur : « <https://docplayer.fr/18021485-Geographie-andree-otte-l-eau-lecture.html> » le 21/01/2019.

ARTICLE R.214-5. (2007). *Code de l'environnement, Sous-section 1 : Champ d'application.* Version en vigueur.

AZAD, H., XIAOBO, C., & YAFEI, J. (2006). *Development of Remote Sensing based Index for estimating/mapping Suspended Sediment Concentration in River and Lake Environments,* The University of Mississippi, p. 8.

BAMPTON, M. (2003). Dams and their reservoirs, in *Environmental Geology.* Springer Netherlands: Dordrecht, p. 110-111.

BECHAC, J., & BOUTIN, P. (1988). *Traitements des eaux usées,* paris, p.130.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- BELGHITI, ML., CHAHLAOU, A., BENGOUNI D., & EL MOUSTAIN, R. (2013).** *Etude de la qualité physico-chimique et Bactériologique des eaux souterraines de la Nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc).* Larhyss Journal, vol. 14, p.21-36. ISSN 1112-3680.
- BENOUDIZ, S. (2012).** *L'eau, source de valeur dans votre industrie.* Edition / revue : ONDEO Industrial Solutions, vol. 1, p.4.
- BERTRAND, D. (2010).** *La ressource en eau. Usages, gestions et enjeux territoriaux* (Emmanuelle Hellier (coord.), La France, Sud-Ouest européen, vol. 29, p.143- 144.
- BOISLEVE, BJ. (2010).** *Structure et propriétés de l'eau Holosys consiel et formation santé-relations humaines,* p.1/23.
- CARLOS, L., FRANKLIN, M., CAROLINA, A., IVETTE, R., & HUGO, B. (2018).** *Use of LANDSAT 8 images for depth and water quality assessment of El Guájaro reservoir, Colombia.* Journal of South American Earth Sciences, vol. 82, p. 231-238.
- CENTRE CANADIEN DE TELEDETECTION. (2008).** Département de la Résolution spectrale,
- CENTRE D'INFORMATION SUR L'EAU. (2018).**
- CHAHBOUN, M., CHAHLAOU, A., ZAID, A., & BEN MOUSSA, A. (2013).** *Contribution à la caractérisation physicochimique des eaux du lac réservoir du barrage Hassan II.* Larhyss Journal, n°14, pp. 61-77. ISSN 1112-3680
- CHARNAY, B. (2010).** *Pour une gestion intégrée des ressources en eau sur un territoire de montagne : le cas du bassin versant du Giffre (Haute-Savoie).* Thèse de Doctorat de Géographie présentée à l'Université de Savoie (E.D. SISEO), p. 78.
- CHAUVALIER, H. (2007).** *L'eau un enjeu pour demain,* p. 26.
- CLARK, R. (2004).** *Spectroscopy of rocks and minerals, and principals of spectroscopy.* Infrared Spectroscopy in Geochemistry Exploration. London, Ontario: Mineralogical Association of Canada. Ed. Centre National pour l'Exploitation des Océans, Brest, France, pp. 395.
- DENG, K.K.H.A., LAMINE, S., PAVLIDES, A. GEORGE, P., PETROPOULOS., BAO, Y. PRASHANT, K., SRIVASTAVA., & GUAN, Y. (2019B).** *Large Scale Operational Soil Moisture Mapping from Passive MW Radiometry: SMOS product evaluation in Europe & USA.* International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation - Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.04.015>
- DENG, K.K.H.A., LAMINE, S., PAVLIDES, A., GEORGE, P., PETROPOULOS., PRASHANT, K., SRIVASTAVA., BAO, Y., HRISTOPOULOS, D., & ANAGNOSTOPOULOS, V. (2019A).** *Operational Soil Moisture from ASCAT in Support of Water Resources Management.* MDPI. Remote Sensing, vol. 11(5), p. 579: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/5/579>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- 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 Février, 2015).
- DICTIONNAIRE LAROUSSE.** Disponible sur : « <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/t%C3%A9tection/77051> ». Consulter le 17/05/2019 à 14 :15.
- DUCROT, D. (2005).** *Méthodes d'analyse et d'interprétation d'image de télédétection multi sources extraction caractéristiques de paysage,* Mémoire de recherche. Toulouse.
- ECKENFELDER, W. (1982).** *Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Caractérisation, techniques d'épuration, aspects économiques.* Traduit de l'Américain par L.Vandevenne. Edition Technique et documentation : Lavoisier, Paris. ISBN: 2-85206-129-5.
- EMMANUELLE, H., & SANDRINE, V. (2011).** *Les utilisations de l'eau et leurs gestions.* Journal image Ouest France, p 5/61.
- EVANS, A., LAMINE, S., KALIVAS, D., GEORGE, P., & PETROPOULOS. (2014).** Exploring the Potential of EO data and GIS For Ecosystem Health Modelling in Response to Wildfire: a case Study In Central Greece, Environmental Engineering and Management Journal, September 2018, vol.17, No. 9, 2165-2178. <http://www.eemj.eu/index.php/EEMJ/article/view/3679>.
- EZZIANE, S. (2007).** *Traitement des eaux de rejets.* Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de Magister, Université Hassiba Ben Bouali de CHLEF, p.186.
- FAHSSI, A., HSA, Y., TOUZANI, R., & CHAFI, A. (2016).** *Evaluation spatiotemporelle de la contamination métallique des ressources hydriques superficielles de la basse Moulouya (Nord Est Marocain.* Journal of Mater. Environ. Sci, vol.7, p. (20), 2404-2423.
- FEYISA, GL., MEILBY, H., FENSHOLT, R., & PROUD, SR. (2014).** *Automated water extraction index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery.* Remote Sens. vol. 140, p. 23–35.
- 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.
- GEORGE, P., PETROPOULOS., IRELAND, G., LAMINE, S., HYWEL, M., GRIFFITHS., GHILAIN, N., ANAGNOSTOPOULOS, V., MATTHEW, R.N., PRASHANT, K., SRIVASTAVA., & GEORGOPOULOU, H. (2016).** *Operational evapotranspiration estimates from SEVIRI in support of sustainable water management,* International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 49. 175–187 [<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2016.02.006>].
- GOMELLA, C., & GUERREE, H. (1978).** *Le traitement des eaux publiques industrielles et privées.* Editions Eyrolles. Paris.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- GOODWIN, NR., COOPS, NC., WULDER, MA., STEVE GILLANDERS, S., SCHROEDERA TA., & NELSON, T. (2008).** Estimation of insect dynamics using a temporal sequence of Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 2008, vol. 112, p. 3680-3689.
- GOOGLE EARTH. (2019).** *Image Landsat : Département d'état Américaine*, Géographie.
- GREGOR, M. (2013).** *Surface- and Groundwater Quality Changes in Periods of Water Scarcity*. Revue/ journal : springer these, Vol. 10, ISBN : 9783642322440.
- GREMMELE, J. (2016).** *L'invention de l'eau sociale trajectoire du problème de l'accès à l'eau en France (1984-2016)*. Thèse doctorat : Gestion Territoriale de l'Eau et de l'Environnement. France : Université de Strasbourg, 509 p.
- GROMOV, V., & GASPIROVITCH. (1999).** Rapport de prospections géologiques et géotechniques. Algérie, (N° D18-GRP 230) : p. 43.
- GRONDIN, JL. (1982).** *Paramètres physico-chimiques des eaux : Mesures in situ*. Note technique, p. 55
- GUERGAZI, S., ACHOUR, S., & HARRAT, N. (2014).** *Paramètres organiques et potentiels de formation du chloroforme d'eaux de surface de l'est algérien*. Journal : Courrier du Savoir, vol. 7. ISSN : 1112- 3338. Disponible sur : « <http://revues.univ-biskra.dz/index.php/cds/article/view/341> ». Consulté le : 09/02/2019.
- GUILLET, J. (2005).** *La télédétection et ses applications pédagogiques*. Bulletin de l'EPI (Enseignement Public et Informatique). Journal HAL Id : edutice-00001258, 2005, p.181.
- HANQIU, X. (2006).** *Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery*. International Journal of Remote Sensing, vol. 27, p. 14.
- HELLWEGER, F., SCHLOSSERAC, P., LALLAC, U., WEISSEL, JK. (2004).** *Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor*. Estuary Coast. Shelf Sci, vol. 61, p. 437-448.
- HEM, JD. (1985).** *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. United States Government Printing Office, vol. 2254, p.85.
- HUBICHE, JL. (2012).** *L'eau support de vie : L'oxygène de l'eau*. Revue / journal : La dynamique de la vie, pp. 6.
- JEROME, D. (2004).** *Series on Water and Ethics: Essay 1*, United Nations educational, ISBN: 92-9220-016-X.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- KIWAD. (2018).** *Le cycle de l'eau [en ligne] : le voyage de l'eau à travers la Terre centre d'information sur l'eau.* Disponible sur « <https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/> » (consulté le 14/11/2018).
- LAMINE, S., GEORGE P. PETROPOULOS, P., BREWER, A., PRASHANT, K., SRIVASTAVA., BACHARI, N.I., MANEVSKI, K., KALAITZIDIS, CH., & MACKLIN, M.G. (2019).** *Heavy Metal Soil Contamination Detection Using Combined Geochemistry and Field Spectroradiometry in the United Kingdom.* MDPI. Sensors 2019, vol 19(4), 762: <https://doi.org/10.3390/s19040762>
- LAMINE, S., GEORGE, P., PETROPOULOS., SINGH, S.K., SZABÓ, S., BACHARI, N.I., PRASHANT, K., SRIVASTAVA., & SUMAN, S. (2017).** *Quantifying Land Use/Land Cover Spatio-Temporal Landscape Pattern Dynamics From Hyperion Using SVMs Classifier and FRAGSTATS®,* Geocarto International, vol. 1-47 [<http://dx.doi.org/10.1080/10106049.2017.1307460>].
- LAMINE, S., PAUL, A., BREWER., GEORGE, P., PETROPOULOS., KALAITZIDIS, CH., MANEVSKI, K., MARK, G., MACKLIN., & HARESIGN, W. (2014).** *Investigating the Potential of Hyperspectral Imaging (HSI) for the Quantitative Estimation of Lead Contamination in Soil (LCS).* Hyperspectral Imaging and Applications Conference, 15th & 16th
- LANDON, N. (2007).** *Du constat d'enfoncement du lit fluvial aux actions de recharge sédimentaire : quelles solutions pour une gestion raisonnée de nos cours d'eau ?* In *Outils de gestion de l'eau en territoire de montagne.* Interreg IIIA Alcotra, ONEMA, PNR du Queyras, pp 28-39.
- LANDREAU, A., & SAUTER, M. (1983).** *Éléments de microbiologie des eaux : Service Géologique National.* Institut Pasteur : Lyon, 1983, ISBN : 83 SGN 386 EAU.
- LEE, ZP., SHANG, SH., HU, C., DU, K., WEIDEMANN, A., HOU, W., LIN, J., & LIN, G. (2015).** *Secchi disk depth: a new theory and mechanistic model for underwater visibility.* Remote Sens, p. 139–149.
- LIU, MJ., WEI, J., WANG, G., & WANG, F. (2017).** *Water resources stress assessment and risk early warning—a case of Hebei Province China.* Journal of Ecological Indicators, vol. 73, p. 358-368.
- MABROUKI, Y., Taybi, AF., Bensaad, H., Berrahou, A. (2016).** *Variabilité spatio-temporelle de la qualité des eaux courantes de l'Oued Za (Maroc Oriental) J. Mater. Environ. Sci,* vol. (1) 7, p. 231-243 ISSN : 2028-2508.
- MARECHAL, A., AUMOND, M., & RUBAN, G. (2001).** *Mise en oeuvre de la turbidimétrie pour évaluer la pollution des eaux résiduaires.* Houil. Blanc, vol. 5, p. 81-86.
- MARSILY, GH. (2006).** *Les eaux continentales.* Académie des sciences, rapport sur la science et la technologie, N° 25, p.356.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- MASSCHELEIN, WJ. (1992).** *Unit processes in drinking water treatment (Environmental Science & Pollution)*. Taylor & Francis, vol. 13. ISBN: 9780824786786.
- MCFEETERS, SK. (1996).** *The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features*. International Journal of Remote Sensing, vol. 17, p. 1425–1432.
- MECHBOUH, J., GASTELLU-ETCHEGORRY, JP., EL KHARKI, O., EL MALKI, N., & ROUCHDI, M. (2015).** *Contribution au développement de l'inversion du modèle DART : Application à l'extraction des paramètres biophysiques à partir d'une image SPOT sur la forêt de fontainebleau (France)*. International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 11, pp. 486-507. ISSN: 2028-9324.
- METAYER, H. (2004).** *Traitement d'eau Par Catherine Bossard*. Journal d'Association des techniciens de dialyse, vol. 23.
- MINISTERE DES RESSOURCES EN EAU (MRE). (1997).** *Plan d'action de l'eau*. Alger,
- MOHAMMED, KH., & MERKEL, BJ. (2013).** *Application of Landsat 5 and Landsat 7 images data for water quality mapping in Mosul Dam Lake, Northern Iraq*. Arab. J. Geosci, vol. 7, pp. 3557–3573, DOI : 10.1007/s12517-013- 1026-y.
- MONNOT, M., HÒA NGUYÊN, TK., LABORIE, S., CABASSUD, C. (2016).** *Seawater reverse osmosis desalination plant at community- scale: Role of an innovative pretreatment on process performances and intensification*. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, vol. 13, p.42-45.
- MONTALVO, LG.** *Spectral analysis of suspended material in coastal waters: A comparison between band math equations*. Department of Geology, University of Puerto Rico at Mayaguez P.O. Box 9017 Mayaguez, Puerto Rico, 00681-9017.
- MOQUET, A. (2003).** *Apports de la télédétection pour la cartographie d'habitats terrestres en zones humides méditerranéennes, application aux habitats de la Réserve Nationale de Camargue*. PEE d'Ingénieur Agronome. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires. Nancy, 2003, p. 64.
- MREE. (2018).** Ministère des ressources en eau et de l'environnement, *monographie*. Réf.
- MULLER, P. (2000).** *La politique agricole française : l'État et les organisations professionnelles*. Journal Économie rurale, vol. 255-256, p. 33-39.
- NAMKUNG, E., & RITTMANN, B. (1987).** *Removal of taste- and odor-causing compounds by biofilms grown on humic substances*. Journal American Water Works Association, vol. 7, p.79.
- NISBET, EG., & VERNEAU, O. (1970).** *Composantes chimiques des eaux courantes, discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques*. International Journal of Limnology, vol. 6(2), p.161-190.
- NORMES ET REGLES DE CONSTRUCTION. (1986).** *Assises des ouvrages hydrotechniques*. SNiP 2.02.02-85.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- NORTHROP, A. (2015).** IDEAS – LANDSAT Products Description Document. On behalf of the LANDSAT SPPA Team. 2015.
- NOTIONS FONDAMENTALES DE TELEDETECTION. (2019).** Disponible sur : « http://landsat.usgs.gov/data_products/ordering_data.php » version, 2019, Document de référence.
- NOUAYTI, N., KHATTACH, D., & HILALI, M. (2015).** *Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc).* Journal Environ Sci, vol.6(4), p. 1068-1081.
- ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE. (1972).** *Département de l'eau potable.*
- OUEDRAOGO, B. (2007).** *Principes Et Concepts De La Gire Etat Actuel Et Perspectives.* Note de cours.
- PARTENARIAT MONDIAL DE L'EAU. (2000).**
- PARUCH, A., & MAEHLUM, T. (2012).** *Spreacific features of Escherichia coli that distinguish it form caliform and thermotolerant caliform bacteria and define it as the most accurente indicator of faecal.* Ecologycal indicators, vol. 23, p. 140-142.
- PINAY, G., GASCUEL, CH., MENESGUEN, A., SOUCHON, Y., LE MOAL, M., LEVAIN, A., ÉTRILLARD, C., MOATAR, F., PANNARD, A., & SOUCHU, PH. (2018).** *Eutrophisation Manifestations, causes, conséquences et prédictibilité.* Edition Quae. Rennes (France), 176.p. ISBN : 2759227561, 9782759227563.
- PORNON, H. (1996).** *La notion de précision dans les SIG: Données précises ou données de qualité.* Le géomètre, vol. 6, pp. 30 – 33.
- RAO, MP. (1997).** *Organic pollutants in Groundwater health Effects.* Institute of food and agricultural sciences, pp. 3
- RHIND, D. (1991).** *Geogrphical Infornarion Sysrems.* Introduction. Section III: Applications. Dans: New York, vol.1.2, p. 3- 10.
- RIETJENS, J., GAILHARD, J., GOSSE, PH., MALATRE, K., ROYER, T., SABATON, C., & TRAVADE,F. (1995).** *Un outil informatique d'aide à la gestion intégrée de la ressource en eau : Le logiciel AGIRE.* Exemples d'application. Hydroécologie appliquée, 1995, Vol. 7, p. 29-50.
- ROBIN, A. (1999).** *Utilisation d'image spot en sédimentologie littorale : Traitement et étalonnage sur le terrain (spectroradiométrie et sédimentologie).* L'exemple de la baie d'Authie. Lille.
- ROKNI, K., AHMAD, A., SELAMAT, A & HAZINI, SH. (2014).** *Water Feature Extraction and Change Detection Using Multitemporal Landsat Imagery.* Remote Sens, vol. 6, p. 4173-4189, DOI : 10. 3390/rs6054173.
- RPRGGTPEBT. (1998).** *(Forages S-1001, S-1002).* Barrage de Telesdit. Algérie.
- SAINT-LAURENT. (1996).** *Règlement sur l'eau potable.* Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Journal d'Éditions Multimodes, vol. 1, p.2123

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- SALLERON, J. (1994).** *Qualité des cours d'eau : objectifs et constat.* In Le Coz, C. (Ed.) *Gestion intégrée des milieux aquatiques.* Actes des Cinquièmes journées du Diplôme d'études approfondies Sciences et techniques de l'environnement. Paris, Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, p. 123-134.
- SAUVAGNARGUES-LESAGE, S., & AYRAL, PA. (2009).** *Systèmes d'Information Géographique : outil d'aide à la gestion territoriale.* Techniques de l'ingénieur, 2009, Référence H7415. (D'après le site Web du Centre Canadien de Télédétection : « <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca> »). Consulté le 10/04/2019.
- SBARGOUD, A. (2009).** *Diagnostic environnemental de la gare routière (Pollution atmosphérique par TSP et métaux lourds).* Mémoire : Ingénieur d'état en Ecologie et Environnement.
- SCHAUBERGER, V. (1984).** *Water Control by Vortex Action.* Journal of water conduction. Austrian Patent, p.138-296.
- SERVADIO, Z. (2013).** *Apports de l'imagerie à haute résolution spectrale et spatiale dans les bilans de volume et bilans radiatifs au Piton de La Fournaise.* Sciences de la Terre. Université de la Réunion. Français, ID. NNT 2011 LARE 0020.
- SET HANDASSA. (2004).** *Fiche technique, Bureau d'étude : direction des études techniques.* Agence Nationale des barrages et transferts. p. 2.
- SHEN, L., & CHANGCHUN, L. (2010).** *Water Body Extraction from Landsat ETM+ Imagery Using Adaboost Algorithm.* In Proceedings of 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, China, p. 1- 4.
- SMIDA, H., & TRABELSI, BDA. (2005).** *Etude et gestion des Ressources en eau dans une région aride par le SIG : Cas de la région de Regueb - Sidi Bouzid – Tunisie (résumé).* Moncef ZAÏRI Rouaida TRABELSI Hamed BEN DHIA, 2005.
- SOKRATOV, GI. (1972).** *Géologie structurale et zonation géologique.* M., « Nedra ».
- SONG, C., WOODCOCK, CE., SETO, KC., LENNEY, MP., & MACOMBER, SA. (2001).** *Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effect.* Remote sensing of environnement, 2001, vol. 75, p.230 244.
- SOUDANI, K. (2005).** *Bulletin de l'information géographique appliquée aux activités de recherche-développement,* Cours Télédétection ECO II (Version 1.2). Université Paris Sud, Bâtiment 362.
- SOUDANI, K. (2006).** *Corrections atmosphériques, géométriques et classification des images de télédétection sous ENVI.* Version PDF. Univ Paris Sud XI, p. 18.
- SUMAN, S., MATTHEW, R.N., GEORGE, P., PETROPOULOS., PRASHANT, K., SRIVASTAVA, J.P., MCCALMONT., FUZZO, D.S, LAMINE, S & CARLSON, T.N. (2018).** *Modelling Key Parameters Characterising Land Surface in 1D Space using the SimSphere SVAT model: Findings from use at European Ecosystems.* In: Manika Gupta, Prashant K. Srivastava, George Tsakiris, Nevil Quinn (eds). Agricultural Water Management: Theory, Abstratction and Practices. ISBN 978-0128123621. Academic Press. 1st edition. 416p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- TABOPDA, GW., & FOTSING, JM. (2010).** *Quantification de l'évolution du couvert végétal dans la réserve forestière de Laf-Madjam au nord du Cameroun par télédétection satellitale.* Article de recherche. Séchresse, vol. 3/21, p. 169-78.
- TACEICAWA, Y., SHIIBA, M., & TAKASAO, T. (1994).** *Development of a basin geomorphic information system using a TM-DEM data structure.* Water Resources Bulletin, vol. (1) 30, p. 9-17.
- THÉRIAULT, M. (1992).** *Les systèmes d'information géographique, entre le mythe et l'utopie.* SIG et gestion des sols : Institut d'aménagement des terres et des eaux - Société Suisse de pédologie. EPFL. Lausanne, p. 6.
- THÉRIAULT, M. (1994).** *Systèmes d'information géographique. Concepts fondamentaux.* Département de Géographie. Université Laval, Québec. Canada,
- THOMAS, D., MARASTON, C., BENDER, R., & MENDES D'OLIVEIRA, C. (2005).** *The Epochs of Early Type Galaxy Formation as a function of Environment.* The Astrophysical Journal, vol. 5, p. 621-673.
- THOMAS, O. (1955).** *Météorologie des eaux résiduaires,* Tec et Doc, Ed Lavoisier, Cedeboc, p. 135-192.
- TSAYEM. (2010).** Futsing maison de télédétection.
- UKRGUIPROVODKHOZ. (1988).** ANNEXE I Rapport hydrologique KIEV : Institut d'Etat de Projets et de Recherches Scientifiques, 1988, p. 91.
- UNESCO. (1999).** *La Science Et La Culture.* [En ligne] Département Sécurité de l'approvisionnement en eau. Consulté sur « <https://fr.unesco.org/themes/securite-approvisionnement-eau> », le 10/12/2018.
- USGS NATIONAL LAND IMAGING (NLI) PROGRAM.** Disponible sur « http://nilerak.hatfield_group.com/French/NRAK/EO/html/landsat.html » Consulté le 20/05/2019.
- VALERIE, V., LEGARE, S., PAINCHAUD, J., & VINCENT, W. (2005).** *Dynamique Et Modélisation De L'oxygène Dissous En Rivière.* Édifice Marie-Guyart, 2005, vol. 7.
- VASYUKOVA, E., UHL, W., BRAGA, F., SIMÕES, C., BAYLÃO, T., & NEDER K. (2012).** *Drinking water production from surface water sources in the tropics: Brasilia DF, Brazil,* 2011. Environ Earth Sci, vol. 65, p.1587-1599.
- WANG, X. (2001).** *Application of remote sensing techniques in monitoring and the water quality of Taihu Lake.* Contam. Toxicol, vol. 67, p. 863 – 870, DOI: 10.1007/s00128-001-0202-z.
- WATSON, DF., & PHILIP, GM. (1985)** *A Refinement of Inverse Distance Weighted Interpolation.* Geoprocessing, vol. 2, p. 315-327.
- WEILER, P., ROSSION, D., & KILIMNIK D. (2003).** *Guide pratique pour une gestion intégrée de l'eau au niveau local.* WWF, Bruxelles, p. 56.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

WIEDERKEHR, E., DUFOUR, S., & PIÉGAY, H. (2008). *Apport des techniques d'imagerie pour la caractérisation physique des corridors fluviaux : Synthèse des connaissances et extraction d'indicateurs*, p. 50/337p hal-00828825.

WILSON, E., & SADER, S. (2002). *Détection of forest harvest tupe using multiple dates of Landsat TM imagery*. *Remote sens*, vol. 80, p. 385-396.

ZARUBEZZHVODSTROY. (2004). Monographie MRE. Administration du barrage, 10.08.2004.p. 71.

Annexes

ANNEXE N°01

Les barrages en Algérie

Le secteur hydrique en Algérie compte 136 barrages répartis sur tout le territoire national, qui relèvent du Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement (MRE). Ces barrages sont des retenues d'eau qui dépendent des 48 Directions de Wilayas des Ressources en Eau et de l'Hydraulique en Algérie³, et qui sont gérées par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT).

Tableau : Liste des tableaux en Algérie (ANBT) :

N°	Nom du barrage	Wilaya
1	▪ Barrage de Timiaouine	Adrar
2	▪ Barrage de Sidi Yakoub.	Chlef
3	▪ Barrage de Oued fodda.	
4	▪ Barrage de Seklafa	Laghouat
5	▪ Barrage de Tadjmout	
6	▪ Barrage d'Ourkis	Oum el Bouaghi
7	▪ Barrage de Koudiet Lamdaouar	Batna
8	▪ Barrage de Maafa.	
9	▪ Barrage de Bouzina	
10	▪ Barrage de Tichy-haf	Béjaia
11	▪ Barrage de Ighil Emda	
12	▪ Barrage de Foug El Gherza	Biskra
13	▪ Barrage de la Fontaine des gazelles	
14	▪ Barrage de Laghneg	Béchar
15	▪ Barrage de Bouroumi	Blida
16	▪ Barrage de Koudiat Asserdoune	Bouira
17	▪ Barrage de Tilesdit	
18	▪ Barrage Lakehal	
19	▪ Barrage de Souflat	
20	▪ Barrage de Oued In Amguel	Tamanrasset
21	▪ Barrage de Felg	Tébessa
22	▪ Barrage de Saf-Saf El Ouessra	
23	▪ Barrage de Aïn Zerga	

ANNEXE N°01

24	▪ Barrage d'El Meffrouch	Tlemcen
25	▪ Barrage de Sikkak	
26	▪ Barrage de Béni Bahdel	
27	▪ Barrage de Hammam Boughrara	
28	▪ Barrage de Sidi Abdelli	
29	▪ Barrage de Benkhedda	Tiaret
30	▪ Barrage de Dahmouni	
31	▪ Barrage de Bougara	
32	▪ Barrage de Taksebt	Tizi Ouzou
33	▪ Barrage de Douéra	Alger
34	▪ Barrage d'El-Hamiz	
35	▪ Barrage de Keddara	
36	▪ Barrage de Aïn Maâbed	Djelfa
37	▪ Barrage de Charef	
38	▪ Barrage de Oum Eddhrou	
39	▪ Barrage Kissir	Jijel
40	▪ Barrage de Boussiaba	
41	▪ Barrage d'El Agrem	
42	▪ Barrage d'Erraguene	
43	▪ Barrage de Tabellout	
44	▪ Barrage à Mahouane	Sétif
45	▪ Barrage de Draâ Diss	
46	▪ Barrage de Kef Bouali	Saïda
47	▪ Retenue collinaire de Ouled Brahim	
48	▪ Retenue collinaire de Doui Thabet	
49	▪ Barrage de Zerdezas	Skikda
50	▪ Barrage de Guenitra	
51	▪ Barrage de Zit Emba	
52	▪ Barrage de Beni Zid	
53	▪ Barrage de Sarno	Sidi Bel Abbès
54	▪ Barrage de Sidi Abdelli	
55	▪ Barrage de Bouhanifia	
56	▪ Barrage de Cheurfa	

ANNEXE N°01

57	▪ Barrage de Tabia	
58	▪ Barrage de Henkouche	Annaba
59	▪ Barrage de Mexa	
60	▪ Barrage de Boulatan	
61	▪ Barrage de Cheffia	
62	▪ Barrage de Bougous	
63	▪ Barrage de Hammam Debagh	Guelma
64	▪ Barrage de Medjez Beggar	
65	▪ Barrage de Hammam Grouz	Constantine
66	▪ Barrage de Béni Slimane	Médéa
67	▪ Barrage de Boughezoul	
68	▪ Barrage du Cheliff	Mostaganem
69	▪ Barrage de Kramis	
70	▪ Barrage de Gargar	
71	▪ Barrage de Sidi Abed	
72	▪ Barrage de Soubella	M'Sila
73	▪ Barrage du Ksob	
74	▪ Barrage de M'djedel	
75	▪ Barrage de Koudiat Benaïda	
76	▪ Barrage de M'cif	
77	▪ Barrage de Bouhanifia	Mascara
78	▪ Barrage de Ouizert	
79	▪ Barrage de Fergoug	
80	▪ Barrage de Chorfa	
81	▪ Barrage de Oued Taht	
	▪ Aucun barrage	Ouargla
82	▪ Barrage de Béni Bahdel	Oran
83	▪ Barrage de Sidi Abdelli	
84	▪ Barrage de Larouia	El Bayadh
85	▪ Barrage d'Ain Zada	Bordj Bou Arreridj
86	▪ Barrage de Thénia	Wilaya de Boumerdès
87	▪ Barrage de Merdjet El Feïat	

ANNEXE N°01

88	▪ Barrage d'El Allal		
89	▪ Barrage de Chender		
90	▪ Barrage de Djinet		
91	▪ Barrage de Sidi Daoud		
92	▪ Barrage de Béni Amrane		
93	▪ Barrage du Hamiz		
94	▪ Barrage de Keddara Bouzegza		
95	▪ Barrage de Oued Djemâa		
96	▪ Barrage de Tala Ouranim		
97	▪ Barrage d'El Ksar		
98	▪ Barrage de Boukhroufa		El Tarf
100	▪ Barrage de Chaffia		
101	▪ Barrage de Meksa		
102	▪ Barrage de Bougous		
	▪ Aucun barrage	Tindouf	
103	▪ Barrage de Koudiet Errosfa	Tissemsilt	
104	▪ Barrage de Bougara		
105	▪ Barrage de Mghila		
106	▪ Barrage de Tamellaht		
107	▪ Barrage de Oued Aïssa		
	▪ Aucun barrage	El Oued	
108	▪ Barrage de Babar.	Khenchlea	
109	▪ Barrage de Taghrist		
110	▪ Barrage de Melagou		
111	▪ Barrage de Lazrag		
112	▪ Barrage de Bouhmama		
113	▪ Barrage de Ouldja		
114	▪ Barrage de Oued Charef		Souk Ahras
115	▪ Barrage de Aïn Dalia		
116	▪ Barrage de Oued Djedra		
117	▪ Barrage de Oued Ghenam		
118	▪ Barrage de Zouabi	Tipaza	
119	▪ Barrage de Boukourdane		

ANNEXE N°01

120	▪ Barrage de Taourira	
121	▪ Barrage de Kef Eddir	
122	▪ Barrage de Béni Haroun	Mila
123	▪ Barrage de Oued Athmania	
124	▪ Barrage de Sidi M'hamed Bentaiba	Ain Defla
125	▪ Barrage de Ouled Mellouk	
126	▪ Barrage de Ghrib	
127	▪ Barrage de Derder	
128	▪ Barrage de Harezza	
129	▪ Barrage de Aïn Hadjadj	Naama
130	▪ Barrage de Oued Berkèche	Ain Témouchent
131	▪ Barrage de Oued Boubrik	Ghardaïa
132	▪ Barrage de Lâadhaira	
133	▪ Barrage de Labiod	
134	▪ Barrage de Gargar	Relizane
135	▪ Barrage de Sidi M'hamed Benaouda	
136	▪ Barrage de Merdja Sidi Abed	

ANNEXE N°02

Tableau (2) : Les dates de début et de fin d'acquisition d'images par satellites.

Satellites	Date de début d'acquisition d'images	Date de fin d'acquisition d'images
LANDSAT 1	23/Juillet/1972	06/Janvier/1978
LANDSAT 2	22/Janvier/1975	05/Février/1982
LANDSAT 3	05/Mars/1978	31/Mars/1983
LANDSAT 4	16/Juillet/1982	01/Aout/1993
LANDSAT 5	01/Mars/1985	05/Juin/2003
LANDSAT 6	05/Octobre/1993	n'a jamais fonctionné
LANDSAT 7	15/Avril/1999	toujours en cours
LANDSAT 8	11/Février/2013	toujours en cours

SPOT

Le système SPOT (Système pour l'observation de la Terre) est une série de satellites d'observation de la Terre qui ont été conçus et lancés par le Centre National d'Études Spatiales (CNES) de la France, avec l'aide de la Belgique et de la Suède. SPOT-1 a été lancé en 1986, et a été suivi d'autres satellites lancés à tous les trois ou quatre ans. Tous les satellites sont en orbite héliosynchrone polaire à une altitude de 830 km, ce qui produit une répétitivité de 26 jours. Ils croisent l'équateur vers 10h30 heure solaire locale.

Conçu dans le but d'acquérir des données de télédétection à des fins commerciales, SPOT est le premier satellite à utiliser la technologie du balayage à barrettes ou balayage longitudinal.

ANNEXE N°03

Tableau (3) : Les analyses multiple d'eau brute de station de traitement de l'ADE TILESDIT –BOUIRA pendant cinq (05) mois.

<i>Mois de Janvier 2019</i>					
		Nbr d'analyse	MIN	MOY	MAX
Paramètre physico-chimique					
<i>Concentration en ions</i>	PH	80	7,88	7,88	8,14
<i>Hydrogène</i>		0			
<i>Conductivité</i>	µs/cm	80	630	647,41	657
<i>Température</i>	°C	80	10,1	11,60	13,2
<i>Turbidité</i>	NTU	80	1,75	4,77	18
<i>Oxygène dissous</i>	mg/l	80	3,36	4,82	6,89
<i>Salinité</i>	‰	80	0,2	0,20	0,2
<i>T.D.S</i>	mg/l	80	315	323,73	329
<i>Résidu sec à 105°C</i>	mg/l	0			
<i>M.E.S à 105 °C</i>	mg/l	0			
Paramètre de pollution					
Ammonium	mg/l	10	0,080	0,302	0,627
Nitrite NO ₂ ⁻	mg/l	9	0,060	0,073	0,099
Nitrate NO ₃ ⁻	mg/l	1	0,840	0,840	0,840
Phosphate	mg/l	9	0,061	0,084	0,140
Oxydabilité	mg/l	9	1,300	1,699	2,280
Minéralisation globale					
Calcium Ca ²⁺	mg/l CaCO ₃	1	51,2	51,2	51,2
Magnésium Mg ²⁺	mg/l	1	22,842	22,842	22,842
Sodium Na ⁺	mg/l	0			
Potassium K ⁺	mg/l	0			
Chlorures Cl ⁻	mg/l	1	62,65	62,65	62,65
Sulfate SO ₄ ²⁻	mg/l	1	70,84	70,84	70,84
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	mg/l	1	204,96	204,96	204,96
Dureté Totale TH	mg/l CaCO ₃	1	222	222,00	222
Dureté Permanente	mg/l CaCO ₃	1	54	54,00	54
Titre alcalin complet	mg/l CaCO ₃	1	168	168,00	168
Paramètre indésirable					
Fer Total	mg/l	1	0,06	0,06	0,06
Aluminium Al ³⁺	mg/l	1	0,02	0,02	0,02

ANNEXE N°03

<u>Mois de Février 2019</u>					
		Nbr d'analyse	MIN	MOY	MAX
Paramètre physico-chimique					
Concentration en ions	PH	101	7,69	8,11	8,52
Hydrogène		0			
Conductivité	µs/cm	101	611	621,72	634
Température	°C	101	9,6	10,82	15,8
Turbidité	NTU	101	2,17	4,98	10
Oxygène dissous	mg/l	101	6,15	6,74	7,79
Salinité	‰	101	0,2	0,20	0,2
T.D.S	mg/l	101	305	310,82	317
Résidu sec à 105°C	mg/l	0			
M.E.S à 105 °C	mg/l	0			
Paramètre de pollution					
Ammonium	mg/l	8	0,010	0,056	0,100
Nitrite NO ₂ ⁻	mg/l	8	0,033	0,062	0,099
Nitrate NO ₃ ⁻	mg/l	1	2,950	2,950	2,950
Phosphate	mg/l	8	0,010	0,083	0,120
Oxydabilité	mg/l	8	1,280	1,664	2,030
Minéralisation globale					
Calcium Ca ²⁺	mg/l CaCO ₃	1	49,6	49,60	49,6
Magnésium Mg ²⁺	mg/l	1	22,842	22,84	22,842
Sodium Na ⁺	mg/l	0			
Potassium K ⁺	mg/l	0			
Chlorures Cl ⁻	mg/l	1	57,93	57,93	57,93
Sulfate SO ₄ ²⁻	mg/l	1	68,29	68,29	68,29
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	mg/l	1	190,32	190,32	190,32
Dureté Totale TH	mg/l CaCO ₃	1	218	218,00	218
Dureté Permanente	mg/l CaCO ₃	1	62	62,00	62
Titre alcalin complet	mg/l CaCO ₃	1	156	156,00	156
Paramètre indésirable					
Fer Total	mg/l	1	0,02	0,02	0,02
Aluminium Al ³⁺	mg/l	1	0,01	0,01	0,01

ANNEXE N°03

<u>Mois de Mars 2019</u>					
		Nbr d'analyse	MIN	MOY	MAX
Paramètre physico-chimique					
<i>Concentration en ions</i>	PH	112	7,96	8,21	8,55
<i>Hydrogène</i>					
<i>Conductivité</i>	µs/cm	112	618	634,37	648
<i>Température</i>	°C	112	9,6	12,09	14,8
<i>Turbidité</i>	NTU	112	1,04	1,84	5,38
<i>Oxygène dissous</i>	mg/l	112	5,77	6,81	8,26
<i>Salinité</i>	‰	112	0,2	0,20	0,2
<i>T.D.S</i>	mg/l	112	309	317,22	324
<i>Résidu sec à 105°C</i>	mg/l	0			
<i>M.E.S à 105 °C</i>	mg/l	0			
Paramètre de pollution					
Ammonium	mg/l	9	0,02	0,05	0,1
Nitrite NO ₂ ⁻	mg/l	9	0,0329	0,05	0,0987
Nitrate NO ₃ ⁻	mg/l	1	2,05	2,05	2,05
Phosphate	mg/l	9	0,02	0,04	0,06
Oxydabilité	mg/l	9	1,09	1,33	1,72
Minéralisation globale					
Calcium Ca ²⁺	mg/l CaCO ₃	1	53,6	53,60	53,6
Magnésium Mg ²⁺	mg/l	1	22,842	22,84	22,842
Sodium Na ⁺	mg/l	0			
Potassium K ⁺	mg/l	0			
Chlorures Cl ⁻	mg/l	1	61,21	61,21	61,21
Sulfate SO ₄ ²⁻	mg/l	1	68,12	68,12	68,12
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	mg/l	1	207,4	207,40	207,4
Dureté Totale TH	mg/l CaCO ₃	1	228	228,00	228
Dureté Permanente	mg/l CaCO ₃	1	58	58,00	58
Titre alcalin complet	mg/l CaCO ₃	1	170	170,00	170
Paramètre indésirable					
Fer Total	mg/l	1	0,01	0,01	0,01
Aluminium Al ³⁺	mg/l	1	0,02	0,02	0,02

ANNEXE N°03

<u>Mois d'Avril 2019</u>					
		Nbr d'analyse	MIN	MOY	MAX
Paramètre physico-chimique					
<i>Concentration en ions</i>	PH	115	7,88	8,09	8,57
<i>Hydrogène</i>					
<i>Conductivité</i>	µs/cm	115	626	651,16	667
<i>Température</i>	°C	115	11,3	14,03	18,8
<i>Turbidité</i>	NTU	115	1,9	3,26	5,71
<i>Oxygène dissous</i>	mg/l	115	4,02	5,60	8,03
<i>Salinité</i>	‰	115	0,2	0,20	0,2
<i>T.D.S</i>	mg/l	115	313	325,57	334
<i>Résidu sec à 105°C</i>	mg/l	0			
<i>M.E.S à 105 °C</i>	mg/l	0			
Paramètre de pollution					
Ammonium	mg/l	8	0,01	0,05	0,07
Nitrite NO ₂ ⁻	mg/l	8	0,0329	0,06	0,08
Nitrate NO ₃ ⁻	mg/l	1	4,93	4,93	4,93
Phosphate	mg/l	8	0,03	0,05	0,08
Oxydabilité	mg/l	8	0,94	1,45	1,81
Minéralisation globale					
Calcium Ca ²⁺	mg/l CaCO ₃	1	58,4	58,40	58,4
Magnésium Mg ²⁺	mg/l	1	20,898	20,89	20,898
Sodium Na ⁺	mg/l	0			
Potassium K ⁺	mg/l	0			
Chlorures Cl ⁻	mg/l	1	58,6	58,60	58,6
Sulfate SO ₄ ²⁻	mg/l	1	75,4	75,40	75,4
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	mg/l	1	195,26	195,26	195,26
Dureté Totale TH	mg/l CaCO ₃	1	232	232,00	232
Dureté Permanente	mg/l CaCO ₃	1	56	56,00	56
Titre alcalin complet	mg/l CaCO ₃	1	176	176,00	176
Paramètre indésirable					
Fer Total	mg/l	1	0,02	0,02	0,02
Aluminium Al ³⁺	mg/l	1	0,03	0,03	0,03

ANNEXE N°03

<u>Mois de Mai 2019</u>					
		Nbr d'analyse	MIN	MOY	MAX
Paramètre physico-chimique					
<i>Concentration en ions</i>	PH	59	7,618	7,93	8,41
<i>Hydrogène</i>					
<i>Conductivité</i>	µs/cm	59	635	664,69	673
<i>Température</i>	°C	59	13,6	16,37	21,6
<i>Turbidité</i>	NTU	59	2,88	3,71	7,83
<i>Oxygène dissous</i>	mg/l	58	3,02	4,47	7,8
<i>Salinité</i>	‰	0			
<i>T.D.S</i>	mg/l	0			
<i>Résidu sec à 105°C</i>	mg/l	0			
<i>M.E.S à 105 °C</i>	mg/l	0			
Paramètre de pollution					
Ammonium	mg/l	5	0,02	0,03	0,05
Nitrite NO ₂ ⁻	mg/l	5	0	0,06	0,11
Nitrate NO ₃ ⁻	mg/l	1	1,89	1,89	1,89
Phosphate	mg/l	5	0,02	0,06	0,08
Oxydabilité	mg/l	5	1,37	2,22	2,62
Minéralisation globale					
Calcium Ca ²⁺	mg/l CaCO ₃	1	45,6	45,60	45,6
Magnésium Mg ²⁺	mg/l	1	30,61	30,61	30,61
Sodium Na ⁺	mg/l	0			
Potassium K ⁺	mg/l	0			
Chlorures Cl ⁻	mg/l	1	59,27	59,27	59,27
Sulfate SO ₄ ²⁻	mg/l	1	57,77	57,77	57,77
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	mg/l	1	222,04	222,04	222,04
Dureté Totale TH	mg/l CaCO ₃	1	240	240,00	240
Dureté Permanente	mg/l CaCO ₃	1	58	58,00	58
Titre alcalin complet	mg/l CaCO ₃	1	182	182,00	182
Paramètre indésirable					
Fer Total	mg/l	1	0,03	0,03	0,03
Aluminium Al ³⁺	mg/l	1	0	0,00	0

Résumé

Les eaux des barrages sont vulnérables face aux diverses pollutions et sont souvent de qualité médiocre. Ces eaux sont susceptibles de contenir des substances diverses, de nature physico-chimique. Notre travail a pour but de montrer le potentiel et l'utilité de la télédétection et des SIG dans la quantification de sept (07) paramètres relatifs avec la qualité des eaux du Barrage de TELES DIT dans la wilaya de Bouira. **Premièrement**, nous avons déterminé la qualité de l'eau brute du barrage de TILES DIT en faisant des mesures in-situ suivi avec des analyses au laboratoire concernant les paramètres physico-chimiques de 30 échantillons de l'eau. Dans l'étude de terrain, à l'aide d'un multi-paramètre, nous avons estimé cinq paramètres physico-chimiques de l'eau de barrage (Température, pH, PDS, Salinité, Conductivité électrique). Ensuite, dans le travail de laboratoire réalisé à l'ENSSMAL, nous avons estimé la turbidité et la MES. **Deuxièmement**, en utilisant un SIG (ArcGIS 10.2), les cartes thématiques des paramètres mesurés ont été produites pour montrer leur variation géographique. **Troisièmement**, nous avons fait une estimation de sept (7) indices spectraux de l'eau de barrage (NDWI, MNDWI, NSMI, NDSSI, WRI, AWEI, NDMI) par télédétection en utilisant une image satellitaire multispectrale (Landsat-8 OLI du 18/03/2019) acquit en concordance avec les prélèvements des échantillons de l'eau de barrage. L'utilité de la télédétection et des SIG a été investigué et prouvée par les analyses in-silico. 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.

Mots clés : Eau de barrage, paramètres physico-chimiques, indices spectraux, télédétection, SIG.

Abstract

Dam water is vulnerable to various types of pollution and is often of poor quality. These waters are likely to contain various substances of a physico-chemical nature. Our work aims to show the potential and usefulness of remote sensing and GIS in quantifying seven (07) parameters related to the water quality of TELES DIT Dam in the province of Bouira. **First**, we determined the raw water quality of TILES DIT dam by making in-situ measurements followed by laboratory analyses concerning the physico-chemical parameters of 30 water samples. In the field work, using a multi-parameter, we estimated five physico-chemical parameters of the dam water (Temperature, pH, SDD, Salinity, Electrical conductivity). After that, in the laboratory work carried out at ENSSMAL, we estimated turbidity and TSM. **Secondly**, using ArcGIS 10.2, thematic maps of the measured parameters were produced to show their geographical variation. **Third**, we estimated seven (7) spectral indices of dam water (NDWI, MNDWI, NSMI, NDSSI, WRI, AWEI, NDMI) by remote sensing using a multispectral satellite image (Landsat-8 OLI dated 18/03/2019) acquired in accordance with the sampling of dam water. The usefulness of remote sensing and GIS has been investigated and proven by in-silico analyses. The continuous combination of satellite remote sensing data analysis and in-situ measurements should reinforce our long-term objective to identify the maximum number of factors involved in the quantification of physico-chemical water parameters and apply this innovative approach to develop reliable and accurate models and even their impact on dam water quality.

Keywords: Dam water, physico-chemical parameters, spectral indices, remote sensing, GIS.