

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل

Université Med-Seddik Benyahya – Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département des Sciences de l'Environnement

قسم علوم المحيط و العلوم الفلاحية

et Sciences Agronomiques

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Biologie**

Option : Ecosystèmes aquatiques

Thème

**Evaluation de la qualité des eaux du barrage d'El Agram
par analyse multi-spectrale**

Jury de soutenance :

- **Président** : Mr Krika A
- **Examinatrice** : Mm Chebab S
- **Encadreur** : Mr Boudjelal F

Présenté par :

- Bourebia Sarah
- Boussadia Saida

Session : Juillet 2019

Numéro d'ordre :.....

Dédicaces

C'est grâce à Dieu et son aide que ce temps-là est arrivé.

Je dédie ce modeste travail à ceux qui comptent beaucoup pour moi :

Mes très chers parents, pour exprimer ma reconnaissance envers eux, il me faut encore
inventer d'autres mots.

Mon mari, mes sœurs et mes frères qui n'ont pas hésité un moment de donner leur
aide, leur soutien et leurs encouragements.

Toute la famille 'Mezerreg'

Tous mes amis sans exception

Mon Binôme **Saida** pour l'intérêt qu'il a soumis dans la réalisation de ce travail et
son sérieux.

Tous ceux qui m'aiment.

Sarah

Dédicaces

C'est grâce à Dieu et son aide que ce temps-là est arrivé.

Je dédie ce modeste travail à ceux qui comptent beaucoup pour moi :

Mes très chers parents, pour exprimer ma reconnaissance envers eux, il me faut encore
inventer d'autres mots.

Mes chères sœurs et mes chers frères qui n'ont pas hésité un moment de donner leur
aide, leur soutien et leurs encouragements.

Toute ma famille

Tous mes amis sans exception

Mon binôme Sarah

Tous ceux qui m'aiment.

Saida

Remerciements

Nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a accordé l'aide, le courage et la volonté sans lesquels ce travail n'aurait pas même eu la chance de débiter

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements et profonde gratitude à notre encadreur

Mr Boudjelal, qui tout au long de l'encadrement nous a fait bénéficier de son expérience et de sa perspicacité. Nous savons qu'il a pris sur son temps libre pour lire, relire, corriger, et orienter notre travail.

Nos remerciements vont également à **Mm chababe** d'avoir accepté de participer au jury ainsi que **Mr Kirika** de l'avoir présidé et pour le temps qu'ils ont pris à examiner ces quelques feuillets et les remarques qu'ils ont pu formuler.

Un remerciement particulier à toute la promotion de l'écosystème aquatique (2019).

A tous ceux qui ont accompagné au quotidien nos doutes et nos enthousiasmes.

Merci...



Introduction

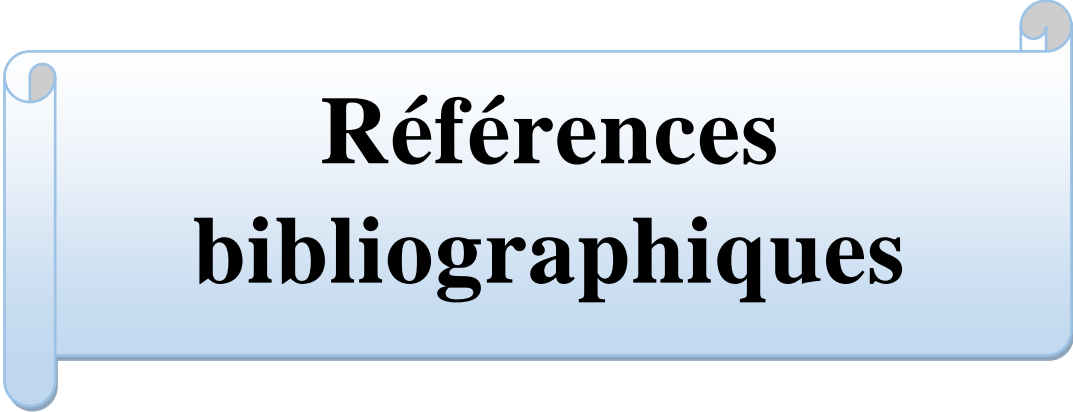
Synthèse bibliographique

Matériel et méthodes

Résultats et discussions



Conclusion



Références bibliographiques

Sommaire

Liste des tableaux	I
Liste des Figures	II
Liste des abréviations	III
Introduction.....	1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I- L'estimation de la qualité des eaux des barrages par des images satellitaires	3
I-1- Les phénomènes d'eutrophisation et prolifération algales.....	3
I-1-1-généralités	3
I-1-2-les sources de l'eutrophisation	3
I-1-3-Les processus de l'eutrophisation	4
I-1-4-Les effets de l'eutrophisation	4
I-1-5- Paramètres d'influence pour la formation des blooms	4
I-1-6-Les propriétés optiques des eaux des eaux lacustres.....	5
I-1-6-1-Absorptionde la lumière	5
I-1-6-2-La diffusion et rétrodiffusion	5
I-2-les images satellitaires landsat8	6
I-2-1-généralités	6
I-2-2-classification des images.....	6
I-2-2-1-Classification non supervisée (ou non dirigée)	6
I-2-2- 2-Classification supervisée (ou dirigée)	6
I-2-3-Les bandes de landsat8	7
I-2-4-Les indices spectraux de la qualité de l'eau qu'on Peut calculer à partir des bandes NDWI et MNDWI	10
I-2-4-1-L'indice de l'eau par différence normalisée NDWI	10
I-2-4-2- L'indice de l'eau par différence normalisée MNDWI	10

Chapitre II : Matériel et méthodes

II- Matériel et méthodes	11
II-1-Présentation de la zone d'étude	11
II-1-1-localisation géographique	11
II-1-2-Climatologie	11
II-1-2-1-Climat générale	11
II-1-2-2-Les précipitations	12
II-1-2-3-Les températures	12
II-1-2-4-Situation général du bassin versant	12
II-2- Matériel	13
II-2-1-Images satellitaires utilisées	13
II-2-1-1- Origine et type d'images satellitaires	13
II-2-2-Logiciel Quantum GIS (QGIS) : un logiciel pour le traitement des images	14
II-2-2-1-Définition	14
II-2-2-2-Fonctionnalités	14
II-3- Méthodes de traitement des images	14
II-3-1- Procédure de décompression des images Landsat 8 téléchargées	14
II-3-2- Fusion des images Landsat	14
II-3-3-Délimitation de la zone d'étude : Barrage d'El Agram	15
II-3-4- Découpage et extraction des images selon le fichier de forme (shp)	16
II-3-5-Calcul de l'indice d'eau MNDWI	16
II-3-6-Mise en page de la carte finale MNDWI	17
II-3-7- Calcul de la superficie de chaque classe d'eau	17

Chapitre III : Résultats et discussions

III-Résultats et discussions	18
III-1-Résultats	18
III-1-1-Evolution spatiale de la qualité de l'eau	18
III-1-2-Evolution saisonnière de la qualité de l'eau	21
III-2-Discussion	22
Conclusion	24
Références bibliographiques	25

Liste des tableaux

Tableau 1: Les bandes de Landsat 8 et leur résolution spectrale et l'application de chaque bande.....	8
Tableau 2 : les types de compositions colorées	9
Tableau 3 : Moyennes mensuelles des précipitations (A.N.R.H, 2015-2018).....	12
Tableau 4: Températures moyennes mensuelles calculées sur une période de quatre ans (A.N.R.H, 2015-2018)	12
Tableau 5 : l'évolution saisonnière de 3 classes de la qualité de l'eau d'El Agram.....	21

Liste des figures

Fig. 1 : Spectres d'absorption de différentes espèces phytoplanctoniques.....	5
Fig. 2 : Localisation géographique du barrage d'El Agram (Google Earth, 2019).....	11
Fig. 3 : Etapes de recherche de la zone d'étude	13
Fig. 4 : Les étapes de la fusion	15
Fig. 5: Extraction d'un fichier de forme (shape) délimitant le barrage d'El Agram sous Google Earth.....	15
Fig. 6: Superposition du fichier de forme sur fichier multi spectral obtenu précédemment en fig. 4 et affichage du fichier multi spectral d'El Agram ne contenant que la partie eau.....	16
Fig. 7 : Calcul et classification de l'image MNDWI pour le barrage d'El Agram sous QGIS.....	16
Fig. 8 : la mise en page de la carte finale MNDWI	17
Fig. 9: Calcul de la superficie en fonction de pixel	17
Fig. 10: Qualité des eaux du barrage d'El Agram observée au mois de Janvier.....	19
Fig. 11: Qualité des eaux du barrage d'El Agram observée au mois de Mai.....	19
Fig. 12: Qualité des eaux du barrage d'El Agram observée au mois d'Août.....	20
Fig.13: Qualité des eaux du barrage d'El Agram observée au mois de Novembre.....	20
Fig.14 : Evolution saisonnière des superficies des 3 classes de qualité de l'eau d'El Agram.....	22

Liste des abréviations

A.N.R.H : Agence nationale des ressources hydriques

CH₄:Méthane

CIR : Infrarouge couleur

CO₂:Dioxyde de carbone

HAB : Harmful algal bloom (efflorescence d'algue nuisible).

H₂S: Hydrogen sulfide

IR: Infrarouge.

Km: kilomètre

Mm: Millimètre

MIRE : Moyenne infrarouge

MNDWI : Indice de l'eau par différence normalisée modifié

NDWI: Indice de l'eau par différence normalisée.

NIR: Proche infrarouge

Nm: Nanomètre

OLI: Operational land imager.

QGIS : système d'information géographique

RGB: Rouge, vert et bleu

RVB : Rouge, vert et bleu

Shp : fichier de forme

SWIR : Infrarouge de courte longueur d'ondes

TIF: Taagad image file.

TIRS: Thermal infrared sensor (capteur infrarouge thermique).

USGS: United States Geological Survey

V: Vert

µm: Micro mètre

7_Zip: logiciel de compression des données

Introduction

L'eau est d'une importance biologique et économique capitale. L'hydrosphère est fondement de la vie et des équilibres biologiques. L'eau est à la fois un aliment, éventuellement un médicament, une matière première industrielle, énergétique et agricole, et un moyen de transport. Ses usages sont donc multiples mais s'agissant de santé humaine, ils sont dominés par l'agriculture et l'aquaculture, l'industrie et l'artisanat, les loisirs aquatiques dont la baignade et, surtout, la fourniture collective ou individuelle d'eau potable (**Gerin et al., 2003**).

De nos jours, le problème des ressources en eau mobilisables ne se pose pas uniquement en termes de quantité disponible ; la qualité de ces eaux commence à poser de sérieux problèmes. En Algérie, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. La concurrence que se livrent l'agriculture, l'industrie pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau grève d'ores et déjà les efforts de développement de nombreux pays (**Pdare, 2009**).

Le barrage d'El Agram, représente l'essentiel des ressources en eau dans la région de Jijel. Il constitue un enjeu majeur pour le développement agricole. Cependant, la surexploitation des ressources naturelles et l'usage de produits phytosanitaires pour intensifier l'agriculture ont contribué à l'envasement des barrages et à la dégradation de la qualité de l'eau.

Le présent travail correspond à une étude d'évaluation de la qualité d'eau du barrage d'El Agram en relation avec le phénomène d'Eutrophisation qui influent sur les propriétés optiques des eaux, et cela sur la base d'un suivi à partir des images satellitaires Landsat 8 durant l'année 2018.

Au cours des deux dernières décennies, plusieurs indices d'eau ont été dérivés à partir des images satellitaires. L'indice d'eau par Différence Normalisé Modifié (MNDWI) a montré son efficacité pour l'étude des propriétés optiques de l'eau ainsi que pour l'estimation de sa qualité (**Xu et al, 2006**) Cet indice prend des valeurs positives pour l'eau (entre 0 et 1) et des valeurs élevées de cet indice coïncident avec une eau de bonne qualité.

L'indice MNDWI est calculé à partir de deux bandes Landsat 8 : celle du vert (bande 3) et celle du moyen infrarouge (bande 7) selon la formule suivante :

$$\text{MNDWI} = (\text{Bande 3} - \text{Bande 7}) / (\text{Bande 3} + \text{Bande 7}).$$

Notre mémoire est structurée en deux parties interdépendantes :

La première partie est une synthèse bibliographique consacrée à des généralités sur les images satellitaires, la qualité et les indices d'eau.

La deuxième partie représente l'étude expérimentale qui repose sur le matériel, les méthodes d'une part et les résultats et leur discussion d'autre part.

I-L'estimation de la qualité des eaux des barrages par des images satellitaires

I-1- Les phénomènes d'eutrophisation et proliférations algales

I-1-1-Généralités

D'après **Ramade (1998)**, l'eutrophisation désigne un « phénomène résultant d'un enrichissement naturel ou produit par diverses pollutions d'origine anthropiques des eaux continentales ou littorales en sels minéraux nutritifs (phosphates, nitrates, etc. ».

Un bloom algal ou une prolifération algale est une croissance importante, souvent considérée comme excessive, d'algues à la surface ou à proximité de la surface de l'eau (lacs ou mer), se produisant naturellement ou résultant d'un apport excessif de nutriments provenant de la pollution organique (**UN, 1992**). Les blooms algaux nuisibles (HAB) sont des efflorescences algales composées de phytoplancton connu pour produire naturellement des bio-toxines nocives pour la population résidente (**Anderson et al., 2002 ; Havens, 2008**).

Les blooms d'algues, généralement en suspension dans la masse d'eau, empêchent la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau et la photosynthèse des organismes situés en dessous (**Charlier et al., 2008**). En outre, à la fin de leur cycle de croissance, ces algues se décomposent sur le fond (**Charlier et al., 2007 ; Ménesguen, 2001**). Cette décomposition entraîne le développement de bactéries qui, par leur activité, appauvrissent le milieu en oxygène. Cette baisse des concentrations en oxygène peut être à l'origine de la mortalité des organismes du milieu. La décomposition algale peut également produire des gaz toxiques tels que le méthane ou l'hydrogène sulfuré (**Charlier et al., 2007**). Les nuisances occasionnées par cette surproduction algale aboutissent à un changement de structure de l'écosystème et à la disparition des communautés macrophytobenthiques (**Duarte et al., 1995**).

I-1-2-Sources d'eutrophisation

L'eutrophisation est l'augmentation (le plus souvent indésirable) de la concentration de nutriments dans un écosystème. L'enrichissement en éléments nutritifs peut provenir de sources ponctuelles et diffuses : Il s'agit, par exemple, des rejets d'une station d'épuration ou du lessivage des composés azotés des terres agricoles fertilisées et des rejets d'origine anthropique ou industrielle dans les rivières qui sont à l'origine d'apports de nitrates, ammonium, phosphates et de matières organiques (**Charlier et al., 2008**).

Les blooms de microalgues sont bien étudiés surtout lorsqu'ils concernent les cyanobactéries puisque celles-ci présentent un risque pour la santé humaine (**Havens 2008**). Leur présence est souvent liée à des phénomènes d'eutrophisation. À côté des Cyanobactéries, d'autres algues

peuvent créer des blooms dans les lacs. C'est le cas des dinoflagellés (**Cantonati et al. 2003**) ou encore de Cryptophycées (**DruartetBalvay 2007**).

I-1-3-Le processus d'eutrophisation

Selon (**Hade, 2002**), les étapes d'eutrophisation se résument ci dessous :

1. Le lac reçoit des apports en éléments nutritifs (particulièrement en phosphore) provenant de sources diverses (naturelles et anthropiques sur une longue ou courte période de temps).
2. L'accumulation d'éléments nutritifs dans l'eau provoque, à plus ou moins long terme, une prolifération de plantes aquatiques et d'algues dans la couche supérieure du lac et dans le littoral. Ce qui réduit considérablement la transparence de l'eau (l'eau devient plus turbide).
3. L'augmentation de la turbidité limite le passage de la lumière à travers la colonne d'eau. La photosynthèse ne peut alors s'effectuer que près de la surface du lac.
4. Le surplus de matière végétale produit dans l'épilimnion se dépose au fond du lac, suite à sa sénescence (mortalité).
5. Les décomposeurs utilisent l'oxygène dissous afin de décomposer la matière végétale, ce qui provoque une diminution des concentrations d'oxygène dissous en profondeur.
6. La raréfaction de l'oxygène dissous de la couche inférieure du lac occasionne un changement dans la biodiversité des espèces présentes au lac.

I-1-4-Les effets de l'eutrophisation sur les lacs

L'eutrophisation peut causer notamment une plus grande abondance de plantes aquatiques et d'algues, une dégradation de la qualité de l'eau et un changement dans la biodiversité animale et végétale, favorisant les espèces les mieux adaptées aux nouvelles conditions ou l'implantation de nouvelles espèces au détriment de certaines qui y étaient déjà établies (**Hade, 2002**).

I-1-5-Paramètres influençant la formation des blooms

Les paramètres les plus influents pour le développement de blooms algaux et de cyanobactéries sont : la température de l'eau, la lumière, la quantité et la biodisponibilité des nutriments, la dynamique des masses d'eau, le pH et la pression exercée par les organismes prédateurs (**Andersen et al., 2006**). De plus, l'influence d'un paramètre unique ne permet pas à lui seul d'expliquer l'apparition des blooms, car ceux-ci résultent de la combinaison de plusieurs des facteurs précédemment cités (**Dokulil et Teubner, 2000**).

I-1-6-Les propriétés optiques des eaux lacustres

I-1-6-1-Absorption de la lumière

L'absorption la plus importante est celle due au phytoplancton (**Bidigareetal., 1989; Bricaudet al. 1998; Barlow et al.,2002**)

Celle-ci est due à la présence de pigments. Chaque pigment possède une signature spectrale particulière. La chlorophylle *a* absorbe les longueurs d'onde vers 440 et 676 nm.

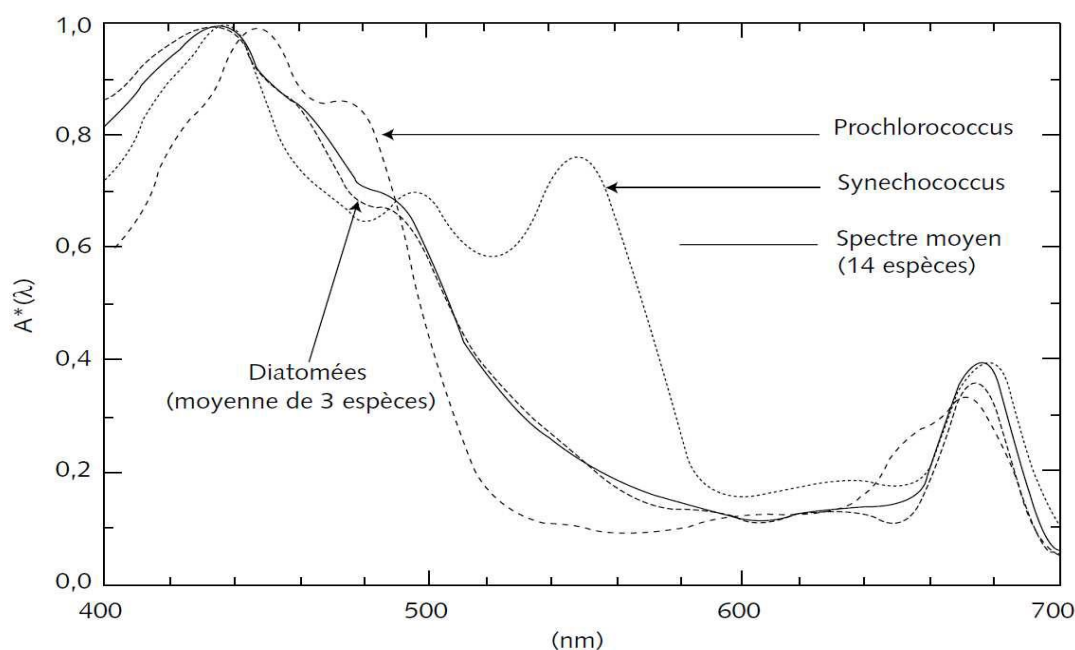


Fig. 1 : Spectres d'absorption de différentes espèces phytoplanctoniques. D'après (**Bricaud et al. 1988**), pour le spectre moyen des diatomées, (**Morel et al.1993**) pour les spectres de Prochlorococcus et Synechococcus. Pour le spectre moyen des 14 espèces, 3 spectres ont été pris de **Bricaud et al. (1983)**, 3 de **Bricaud et Morel (1986)**, et 8 de **Bricaud et al. (1988)**.

I-1-6-2-Diffusion et rétrodiffusion

La diffusion correspond à une déviation du rayonnement de sa trajectoire, elle est principalement le fait de deux sources : la diffusion par les molécules d'eau et la diffusion par les particules. La diffusion est principalement causée par la présence de particules comprise entre 0.1 et 20 μm environ (**Morel 1973 ; Morel et Ahn 1991**).

I-2-Images satellitaires

I-2-1-Généralités

L'image satellitaire de chaque surface observée n'est nulle autre que la traduction des mesures des énergies acquises dans des plages spectrales bien déterminées (visible, vapeur d'eau, infrarouge thermique, proche infrarouge, hyperfréquence, etc.). Chaque intervalle spectral correspond à une bande. La résolution spatiale correspond à l'unité élémentaire d'acquisition de surface au sol effectuée par chaque capteur (et la mesure associée est celle d'un pixel élémentaire). Ainsi, chaque canal est représenté par une image, et chaque image est constituée d'une succession de lignes composées elles-mêmes de pixels.

A ce stade, l'image ne représente aucune valeur géophysique interprétable ou utilisable pour décrire un phénomène marin ou terrestre, c'est une image qui possède des valeurs radiométriques exprimées en octets qui nécessitera toute une série de prétraitements pour passer de la valeur de luminance à la valeur géophysique (température, albédo, ...) (**Atilah, 1993**).

I-2-2-Classification des images

Nous devons veiller à ce qu'une image soit classifiée afin que l'on puisse identifier toutes les formes de la surface de l'eau ou du terrain étudié. La classification est un processus de reconnaissance des formes ; elle consiste à effectuer la correspondance entre les éléments d'une scène de l'image matérialisée par des classes spectrales (classes regroupant des pixels dont les comptes numériques (niveaux de gris) sont semblables) définies à l'aide de paramètres statistiques (moyenne, écart-type...), et des classes, connues préalablement par un utilisateur, appelées classes thématiques (**El Halim, M, 2015**)

I-2-2-1- Classification non supervisée (ou non dirigée)

Selon(**El Halim, M, 2015**), Cette classification détermine automatiquement les classes, l'utilisateur intervient toutefois en choisissant le nombre. C'est seulement lorsque l'on n'a aucune connaissance du terrain ni même des comportements spectraux des objets composant l'image que l'on procède à ce genre de classification.

I-2-2-2- Classification supervisée (ou dirigée)

On identifie, dans la classification supervisée, des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs de différents types de surfaces (classes d'information). Ces échantillons forment un ensemble de données-tests. La sélection de ces dernières est basée sur nos

connaissances ainsi que des types de surfaces présents dans l'image. Les informations numériques pour chacune des bandes et pour chaque pixel de ces ensembles sont utilisées par le logiciel pour ainsi définir les classes et ensuite reconnaître des régions aux propriétés similaires à chaque classe (**El Halim, M, 2015**).

I-2-3-Les bandes de landsat 8 :

Landsat 8 est en orbite depuis 2013. Bien que toutes les bandes des missions Landsat précédentes soient toujours incorporées, il en existe de nouvelles, telles que la détection de la pénétration de l'eau / des aérosols dans la bande bleue côtière et la bande des nuages cirrus pour le masquage des nuages et d'autres applications. Voici un aperçu de certaines combinaisons de bandes courantes appliquées à Landsat 8, affichées sous forme de rouge, de vert et de bleu (RGB) (tableau 2)

Les images landsat 8 Image terrestre opérationnelle (OLI) et Capteur infrarouge thermique (TIRS) se composent de neuf bandes spectrales avec une résolution spatiale de 30 mètres pour les bandes 1 à 7 et 9. La bande ultra bleue 1 est utile pour les études côtières et sur les aérosols. La bande 9 est utile pour la détection de nuages cirrus. La résolution pour la bande 8 (panchromatique) est de 15 mètres. Les bandes thermiques 10 et 11 sont utiles pour fournir des températures de surface plus précises et sont collectées à 100 mètres (**Barsi, J.A.; Lee, K.; Kvaran, G.; Markham, B.L.; Pedelty, J.A. 2014**). La taille approximative de la scène est de 170 km nord-sud sur 183 km est-ouest (106 km sur 114 km).

Tableau 1: Les bandes de Landsat 8 et leur résolution spectrale et l'application de chaque bande (https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products).






Bandes	Longueur d'onde (micromètres)	Résolution (mètres)	Applications de bande
Bande 1- Ultra Blue (côtier / aérosol)	0.435 - 0.451	30	Etudes côtières et aérosols
Bande 2 – Bleue	0.452 - 0.512	30	Cartographie bathymétrique, distinguant le sol de la végétation et les feuillus de la végétation de conifères
Bande 3 – verte	0.533 - 0.590	30	Met l'accent sur la végétation de pointe, ce qui est utile pour évaluer la vigueur des plantes
Bande 4 – rouge	0.636 - 0.673	30	Discrimine les pentes de végétation
Bande 5- Proche infrarouge (NIR)	0.851 - 0.879	30	Met l'accent sur le contenu de la biomasse et les rivages
Bande 6- Infrarouge ondes courtes (SWIR) 1	1.566 - 1.651	30	Discrimine la teneur en humidité du sol et de la végétation; pénètre les nuages minces
Bande 7 - Infrarouge ondes courtes (SWIR) 2	2.107 - 2.294	30	Meilleure teneur en humidité du sol et de la végétation et faible pénétration des nuages
Bande 8– Panchromatique	0.503 - 0.676	15	Résolution de 15 mètres, définition d'image plus nette
Bande 9– Cirrus	1.363 - 1.384	30	Détection améliorée de la contamination par les cirrus
Bande 10- Infrarouge thermique (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)	Résolution de 100 mètres, cartographie thermique et humidité estimée du sol
Bande 11- infrarouge thermique (TIRS) 1	11.50 - 12.51	100 * (30)	Résolution de 100 mètres, cartographie thermique et humidité estimée du sol

Les bandes du capteur OLI (Opérationnel imageur) : bandes 1 à 8 et TIRS (Capteur Thermique infrarouge) : bandes 9 à 11.

Les bandes TIRS sont acquises à une résolution de 100 mètres, mais sont rééchantillonnées à 30 mètres dans le produit de données livrées.

Les bandes Landsat peuvent être visualisées sous forme de compositions colorées. Certaines combinaisons de bandes courantes dans les comparaisons RVB sont présentées ci-dessous :

Tableau 2: les types de compositions colorées (<https://www.usgs.gov/media/images/common-landsat-band-rgb-composites>)

Composition colorée	Les types des images	Landsat 8
	Couleur infrarouge	5, 4, 3
	Couleur naturelle	4, 3, 2
	Fausse couleur	6, 5, 4
	Fausse couleur	7, 6, 4
	Fausse couleur	7, 5, 3

I-2-4-Les indices spectraux de la qualité de l'eau que l'on peut calculer à partir des bandes Landsat :

I-2-4-1-L'indice de l'eau par différence normalisée NDWI

Il a été proposé par (McFeeters, 1996) pour la détection optique. Il a pour but d'extraire les masses d'eau, car il maximise la réflectance de l'eau dans les longueurs d'onde du vert (V):

$$NDWI = \frac{V - IR}{V + IR}$$

Ce NDWI présente des valeurs positives pour les masses d'eau, et des valeurs nulles ou négatives pour la végétation et le sol nu.

I-2-4-2-L'indice de l'eau par différence normalisée modifié MNDWI

Le MNDWI est dérivé du NDWI. Celui-ci a été modifié par (Xu et al, 2006) par l'utilisation du moyen infrarouge à la place du proche infrarouge et a été nommé MNDWI :

$$MNDWI = \frac{V - MIR}{V + MIR}$$

L'indice le plus adapté à notre étude est le MNDWI car l'objectif de notre travail est d'extraire de petites masses d'eau.

II- Matériel et méthodes

II-1-Présentation de la zone d'étude

II-1-1-localisation géographique

Le barrage d'El Agram est situé sur l'oued El Agram, à environ 15 km au Sud-est de la ville de Jijel (Wilaya de Jijel). Il est destiné à : l'alimentation en eau potable et industrielle des agglomérations de Jijel, Taher, Kaous et d'Emir Abdelkader (Wilaya de Jijel) et à l'irrigation d'environ 6 500 Ha des périmètres agricoles situés à son aval.



Fig. 2: Localisation géographique du barrage d'El Agram (Google Earth, 2019)

II-1-2-Climatologie

II-1-2-1-Climat générale

A partir des données de précipitations et de températures fournies par l'agence nationale des ressources hydriques (A.N.R.H) pour le barrage d'El Agram, on a pu réaliser une analyse climatique, sur une période de quatre ans allant de 2015 jusqu'à 2018.

II-1-2-2-Les précipitations

Le tableau ci-dessous montre que la moyenne pluviométrique annuelle, enregistrée sur une période de 4 ans (2015-2018), est de 1217.1mm. La période pluvieuse se situe entre le mois d'octobre et mars, durant cette période le barrage reçoit en moyenne 987.7 mm, soit 81.15% des précipitations annuelles.

Tableau 3:Moyennes mensuelles des précipitations (A.N.R.H, 2015-2018).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Pluviométrie (mm)	138.1	227.4	134.9	81.2	33.8	5.7	1.2	27.6	63.9	168.5	190	128.8	1217.1

II-1-2-3-Les températures

Comme pour les précipitations, les données concernant les températures ont été obtenues par l'agence nationale des ressources hydriques (A.N.R.H), montrent que le mois le plus chaud est celui d'Août avec une moyenne de 27,1°C, alors que le mois le plus froid est celui de Février avec une moyenne de 10,6 °C.

Tableau 4:Températures moyennes mensuelles calculées sur une période de quatre ans (A.N.R.H, 2015-2018)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Température (°C)	12.9	10.6	13.5	16.2	24.8	22.9	26.5	27.1	23.8	21.5	16.3	12.7

II-1-2-4-Situation générale du bassin versant

Le bassin versant d'El Agram, situé au nord-est du territoire algérien.

Selon (la nouvelle structuration des unités Hydrologiques en Algérie), le bassin versant d'El Agram appartient à l'ensemble du côtier constantinois. Globalement, le bassin versant peut être subdivisé en trois grandes parties :

- Partie orientale avec comme principaux affluents l'Oued Merhaba et l'Oued Bou Bahri.
- Partie occidentale avec comme principaux affluents (Oued Tezercourt , Oued Harma et l'oued Abima).

- Partie septentrionale, qui débute pratiquement du l'Oued El Agram et s'étend jusqu'à la mer.

Oued El Mencha est le principal affluent de cette partie (**Heragmi, 2009**).

II-2- Matériel :

Notre travail a pour objectif d'étudier l'évaluation de la qualité de l'eau du barrage d'El Agram à travers une observation de ses propriétés optiques. Ceci revient à étudier les phénomènes de l'eutrophisation à partir des images satellitaires les plus adaptées à l'étude des blooms algaux. Ceci n'est possible qu'en présence de logiciels cohérents permettant le traitement de ces images afin d'en extraire des paramètres ou des indices permettant l'étude de la qualité de l'eau.

II-2-1-Images satellitaires utilisées

II-2-1-1- Origine et type d'images satellitaires

Nous avons pu disposer à notre guise et gratuitement d'images satellitaires de type Landsat 8 téléchargées à partir du site (<http://earthexplorer.usgs.gov>).

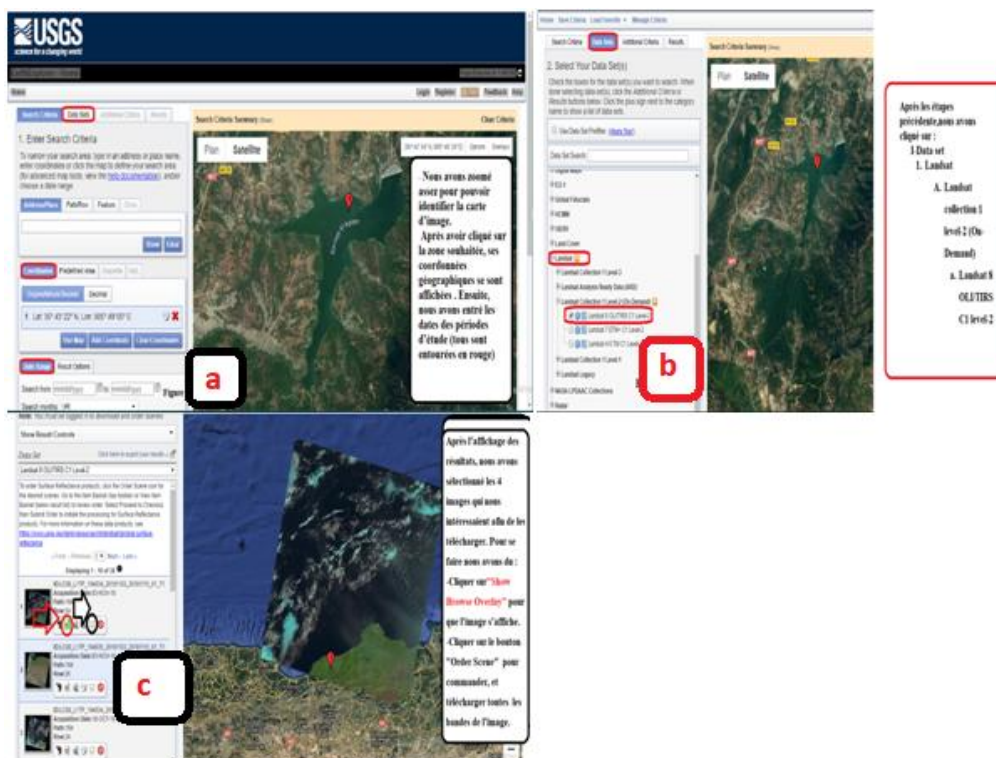


Fig. 3 : Etapes de recherche de la zone d'étude (a), choix du type d'image (b), sélection des données (Data Sets), (c) visualisation et téléchargement des images Landsat 8 à partir du site de l'USGS (United States Geological Survey).

II-2-2-Logiciel Quantum GIS (QGIS) : un logiciel pour le traitement des images

II-2-2-1-Définition

Un système d'information géographique (SIG) est un système d'information capable d'organiser et de présenter des données spatialement référencées, ainsi que de produire des plans et des cartes. C'est un logiciel « open source », élaboré par une communauté de développeurs et destiné au traitement des données géographiques. Pour lire plus sur ce logiciel (<http://www.qgis.org/fr/site/about/index.html2>).

II-2-2-2-Fonctionnalités :

Les principales fonctionnalités d'un SIG sont les suivantes :

- Affichage ou production de cartes
- Analyse des données pour créer une nouvelle information
- Acquisition des données
- Abstraction ou représentation des éléments choisis
- Archivage (<http://www.qgis.org/fr/site/about/index.html2>).

II-3- Méthodes de traitement des images

II-3-1- Procédure de décompression des images Landsat 8 téléchargées

Au total 4 images Landsat 8 ont été téléchargées dans un format compressé, elles correspondaient aux dates suivantes : 11 janvier, 3 mai, 7 août et 11 novembre 2018 de telle manière à représenter les 4 saisons. Ces images ont ensuite été décompressées par un logiciel de décompression (7_Zip) pour les transformer en 11 bandes individuelles de format TIF (Tagged Image File).

II-3-2- Fusion des images Landsat

Les 6 premières bandes (sur 11) correspondant au visible, proche et moyen infrarouge, ont été fusionnées en un seul fichier multi spectral sous QGIS afin de pouvoir calculer les indices d'eau (Fig. 4).

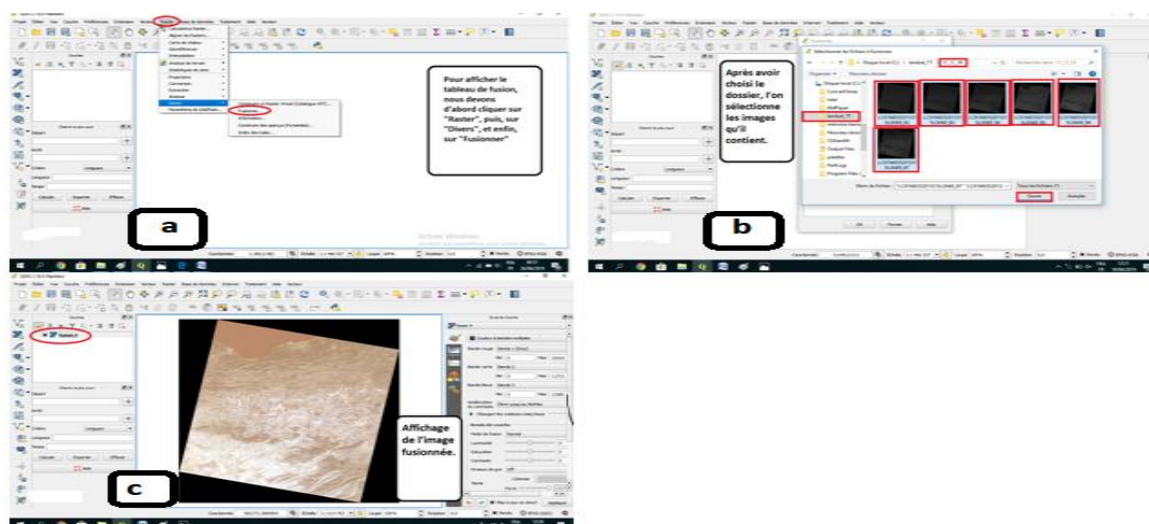


Fig. 4 : Les étapes de la fusion : Utilisation de la fonction Fusionner (a), sélection des bandes à fusionner (b) et affichage du fichier multi spectral crée sous QGIS (c).

II-3-3-Délimitation de la zone d'étude : Barrage d'El Agram

Un fichier de forme (shape) a été construit sous Goole Earth. Celui-ci permet d'extraire uniquement la partie eau du barrage de toutes les images Landsat (Fig. 5).

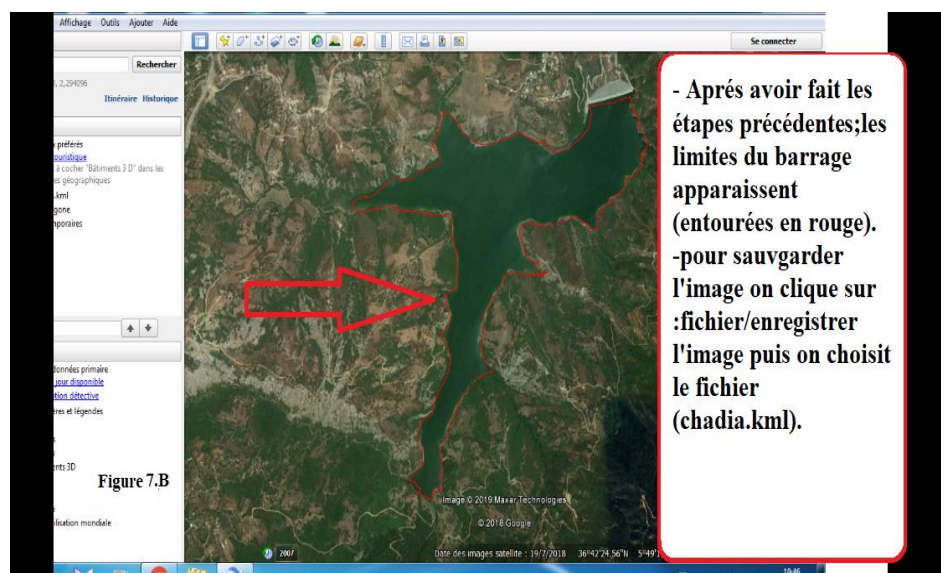


Fig.5 : Extraction d'un fichier de forme (shape) délimitant le barrage d'El Agram sous Google Earth.

II-3-4- Découpage et extraction des images selon le fichier de forme (shp)

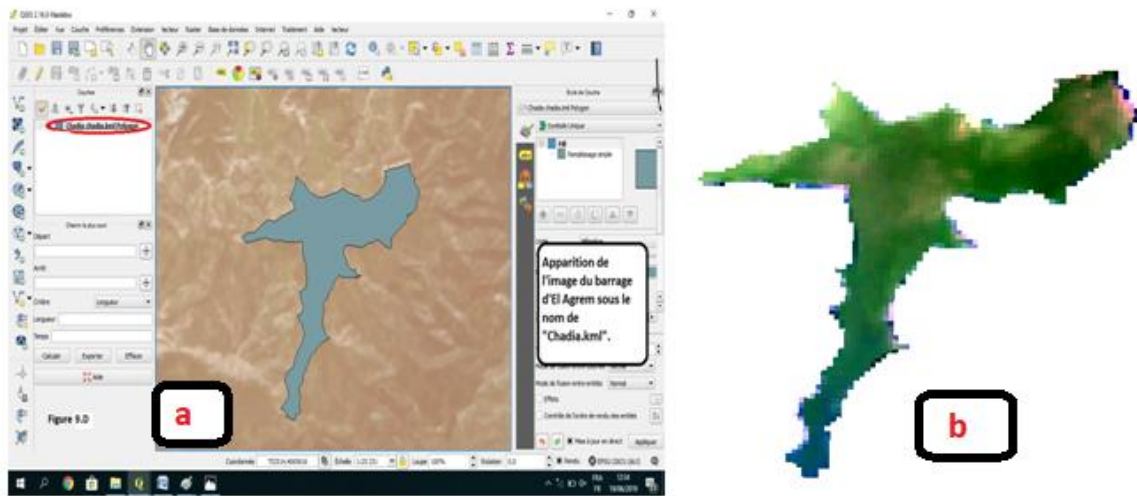


Fig. 6: Superposition du fichier de forme sur fichier multi spectral obtenu précédemment en fig. 4 (a) et affichage du fichier multi spectral d’El Agram ne contenant que la partie eau (b).

II-3-5- Calcul de l’indice d’eau MNDWI

L’Indice Modifié d’Eau par Différence Normalisée (MNDWI) ou NDWI modifié utilise les bandes spectrales du Vert et de l’infrarouge thermique à ondes courtes (SWIR). Pour Landsat 8 le MNDWI utilise la bande verte (Bande 3) et la bande MIR (Bande7).

Nous avons calculé l’indice d’eau par différence normalisée modifiée (MNDWI) à l’aide du logiciel QGIS selon l’équation suivante :

$$\text{MNDWI} = (b3-b7) / (b3+b7)$$

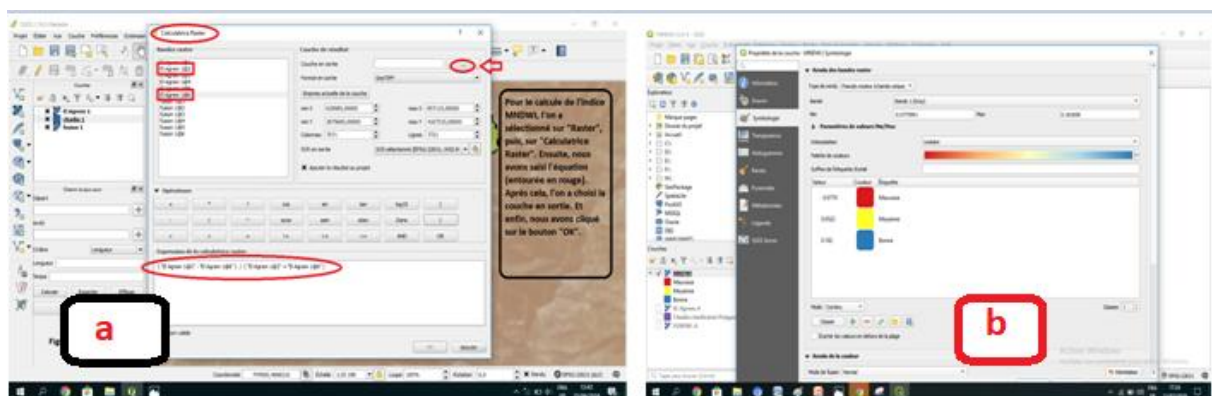


Fig. 7 : Calcul (a) et classification de l’image MNDWI (b) pour le barrage d’El Agram sous QGIS.

II-3-6-Mise en page de la carte finale MNDWI

Cette étape consiste à rajouter tous les éléments de la carte à l'image : légende, échelle, direction du Nord ainsi que la grille lat-long pour obtenir une carte finale (Fig. 8).

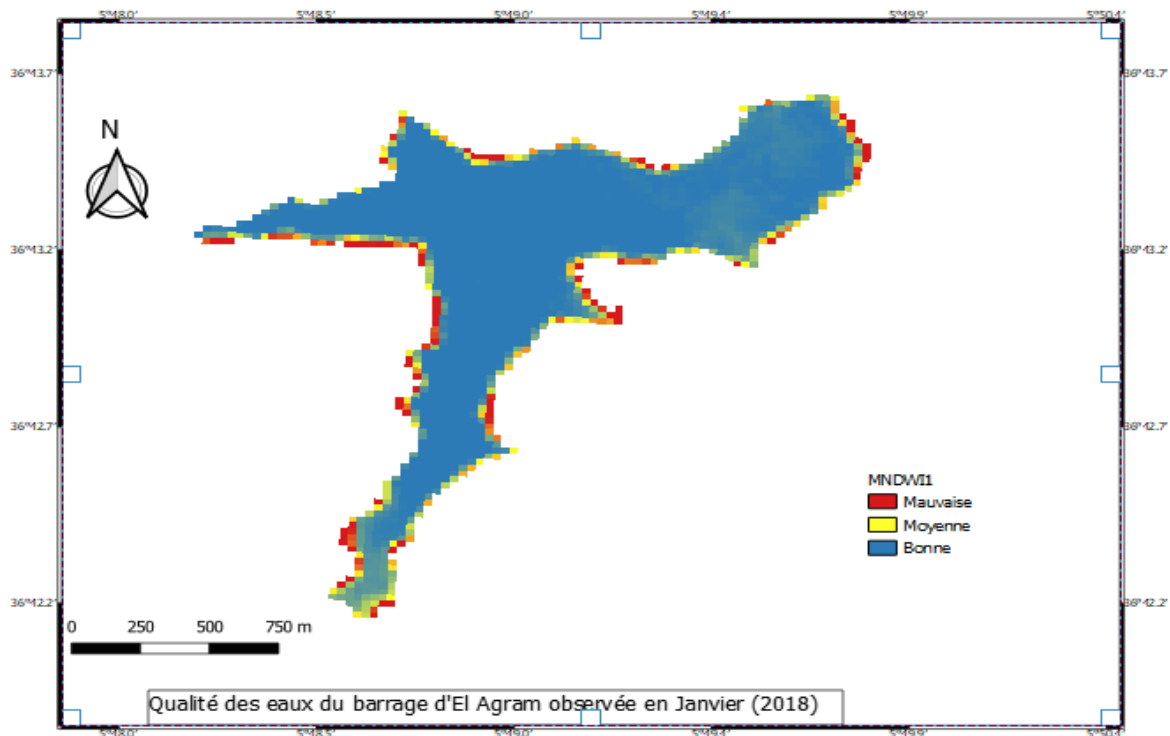


Fig.8 : la mise en page de la carte finale MNDWI.

II-3-7- Calcul de la superficie de chaque classe d'eau :

Nous avons calculé la superficie de chaque classe en fonction du nombre de pixel pour que :
1 pixel \rightarrow 900 m² (fig.9).

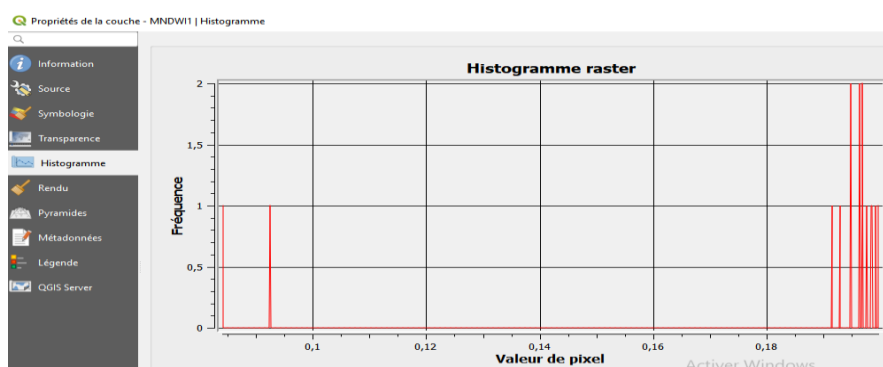


Fig.9 : Calcul de la superficie en fonction de pixel.

III-Résultats et discussion

III-1-Résultats

L'utilisation de l'imagerie Landsat 8 ainsi que des techniques de télédétection citées plus haut dans le chapitre Matériel e méthodes nous ont permis de calculer L'indice MNDWI saisonnier correspondant aux mois de janvier, mai, août et novembre. Une classification des 4 images MNDWI calculées à partir des 4 images saisonnières de l'année 2018, a fait ressortir 3 classes de qualité de l'eau (Mauvaise Moyenne Bonne) pour notre zone d'étude « Barrage d'El Agram ».

III-1-1-Evolution spatiale de la qualité de l'eau

L'indice MNDWI prend généralement des valeurs positives (entre 0 et 1) pour l'eau et des valeurs négatives pour la terre mais aussi pour une eau très envasée ou riche en particules terrigènes ou en matières en suspension. Plus l'indice MNDWI est élevé plus la qualité de l'eau est bonne et vice versa. L'observation des 4 cartes MNDWI (Fig. 10 à 13) montre que les eaux de mauvaise qualité (de couleur rouge) sont généralement localisées sur l'interface terre-eau et surtout dans la partie sud du barrage qui reçoit l'affluent de l'oued d'El Agram. Ces eaux peuvent être le résultat d'une pollution ou d'eutrophisation suite à des apports terrigènes par les affluents aboutissant au dit barrage. Les eaux de qualité moyenne (couleur jaune sur cartes MNDWI) séparent généralement les eaux de qualité mauvaise de celles de qualité Bonne (couleur bleue). Celles-ci sont généralement meilleures vers le centre du barrage (avec valeurs MNDWI les plus élevées) mais qui en occupent la majeure partie.

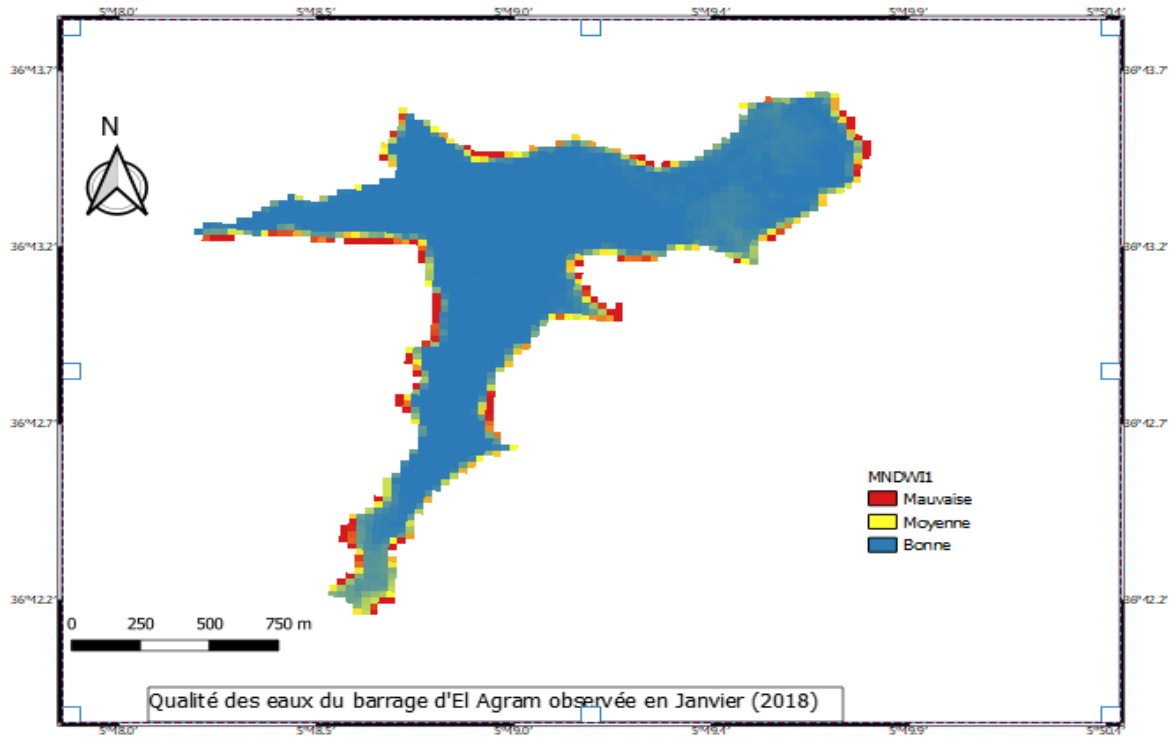


Fig.10 : Qualité des eaux du barrage d'El Agram observée au mois de Janvier.

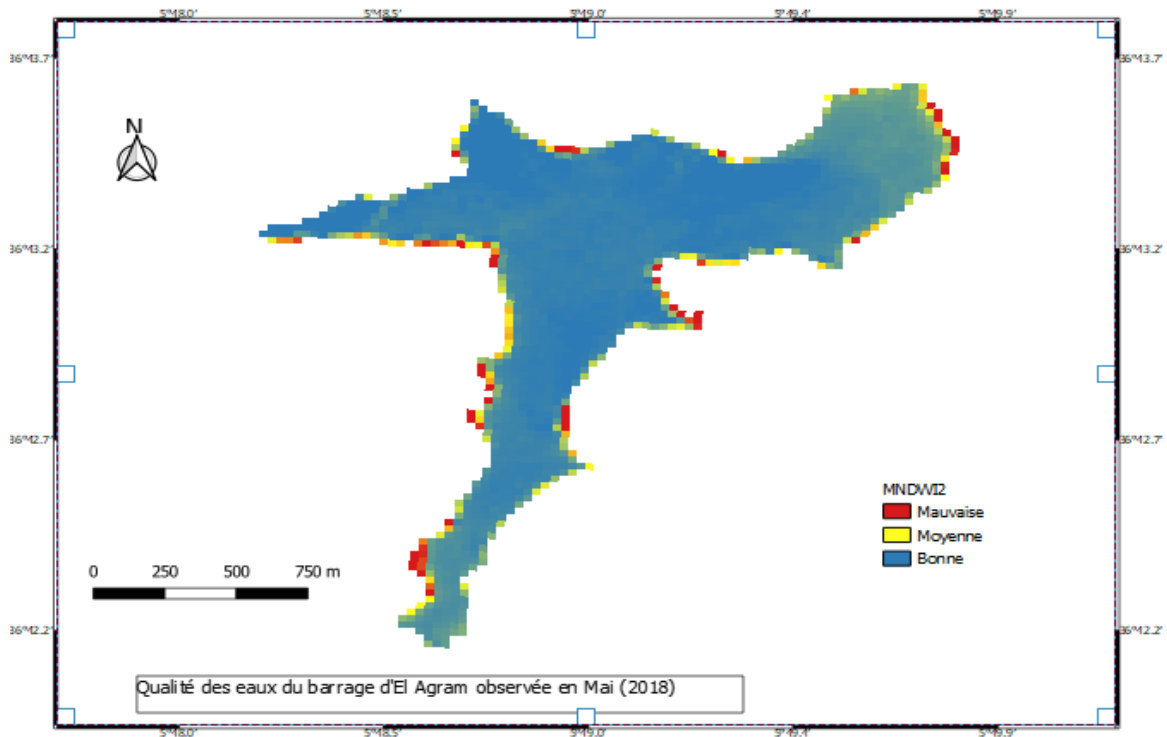


Fig. 11 : Qualité des eaux du barrage d'El Agram observée au mois de Mai.

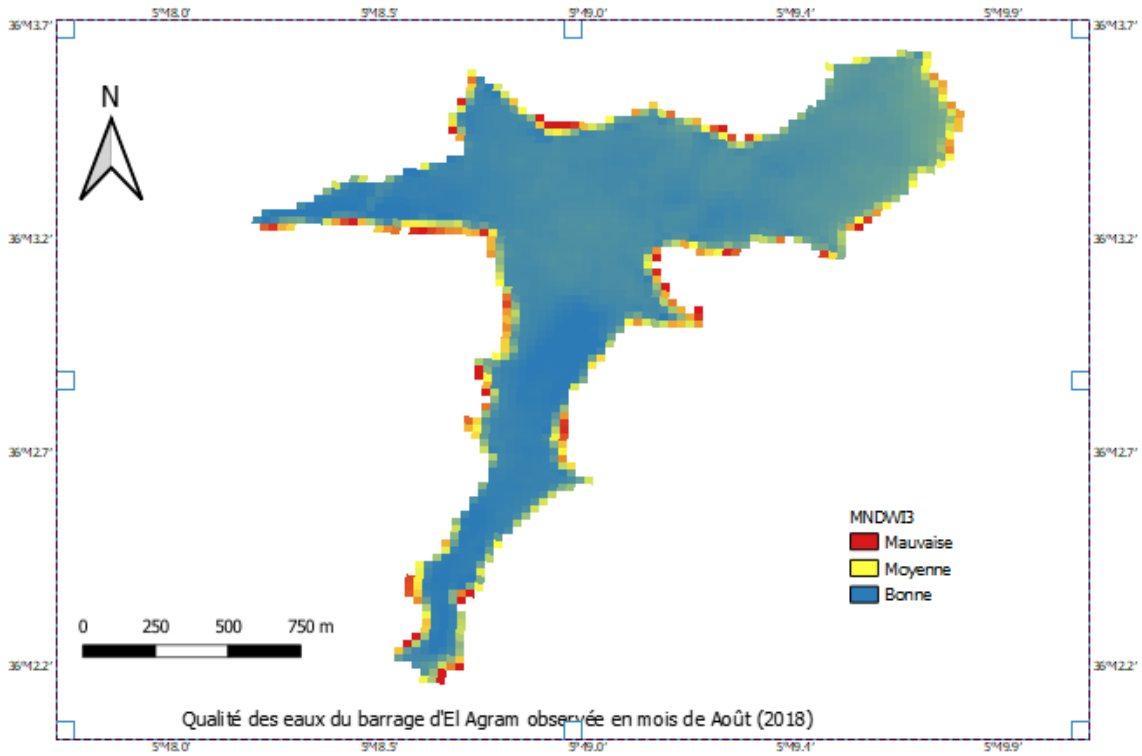


Fig.12 : Qualité des eaux du barrage d’El Agram observée au mois d’Août.

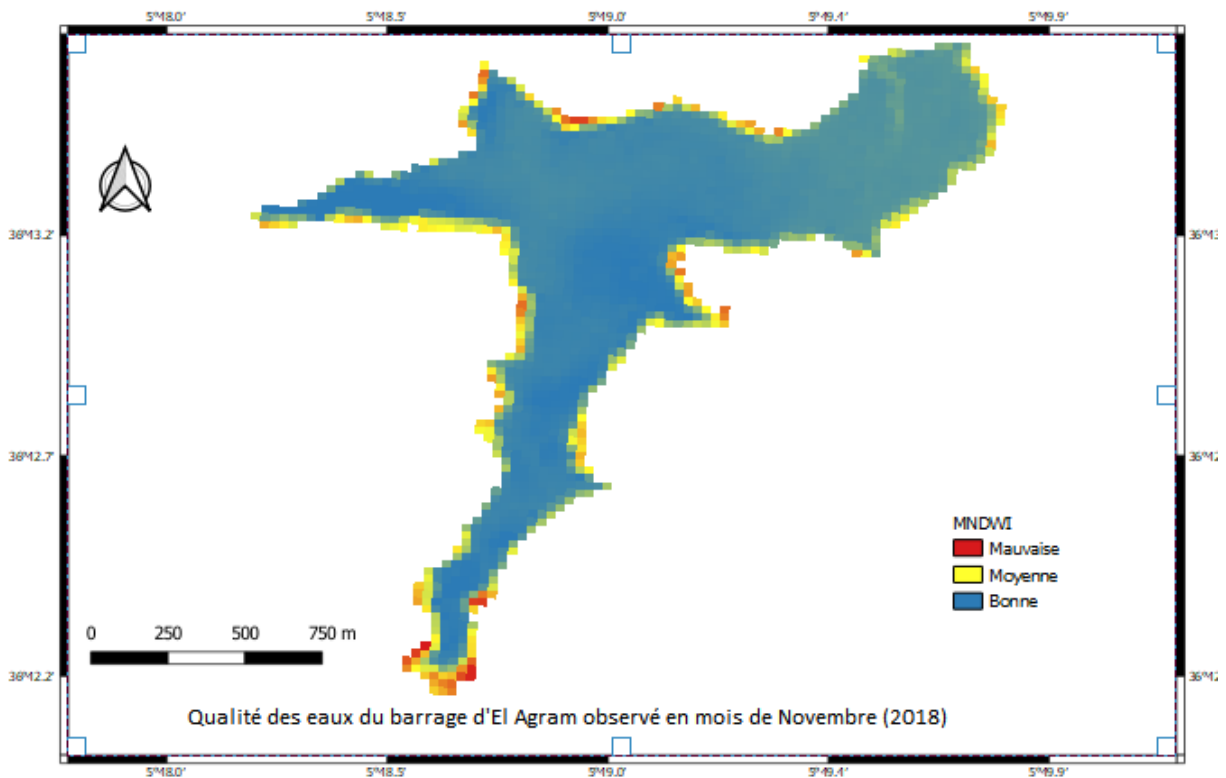


Fig.13 : Qualité des eaux du barrage d’El Agram observée au mois de Novembre

III-1-2-Evolution saisonnière de la qualité de l'eau

Des méthodes statistiques nous ont permis de visualiser l'histogramme et d'en extraire le nombre de pixels appartenant à chacune des classes (Mauvaise, Moyenne et Bonne) et ce pour les 4 saisons. L'observation de l'évolution saisonnière des superficies de chacune des classes exprimées en nombre de pixels*900 m² (Tableau 5 et Fig. 14). Ainsi la superficie de l'eau de qualité bonne est à son maximum le mois de Janvier puis diminue progressivement pour atteindre son minimum le mois de novembre (en Automne). La superficie de l'eau de qualité moyenne semble augmenter de janvier à novembre, tandis que celle de qualité mauvaise tend à diminuer de Janvier à novembre. D'après la figure 14, la diminution de la superficie de la classe bonne, de l'hiver en été, semble dépendre de l'augmentation de la superficie de l'eau de qualité moyenne. Comparée aux autres classes, la classe bonne reste la plus dominante quelle que soit la saison.

Tableau 5 : Evolution saisonnière basée sur le nombre de pixels appartenant à chacune des 3 classes de la qualité de l'eau d'El Agram (un pixel = 900 m²).

Classe \ Mois	Mauvaise	Moyenne	Bonne
Janvier	2 pixels	1 pixel	14 pixels
Mai	1 pixel	2 pixels	13 pixels
Aout	1 pixel	4 pixels	5 pixels
Novembre	1 pixel	4 pixels	5 pixels

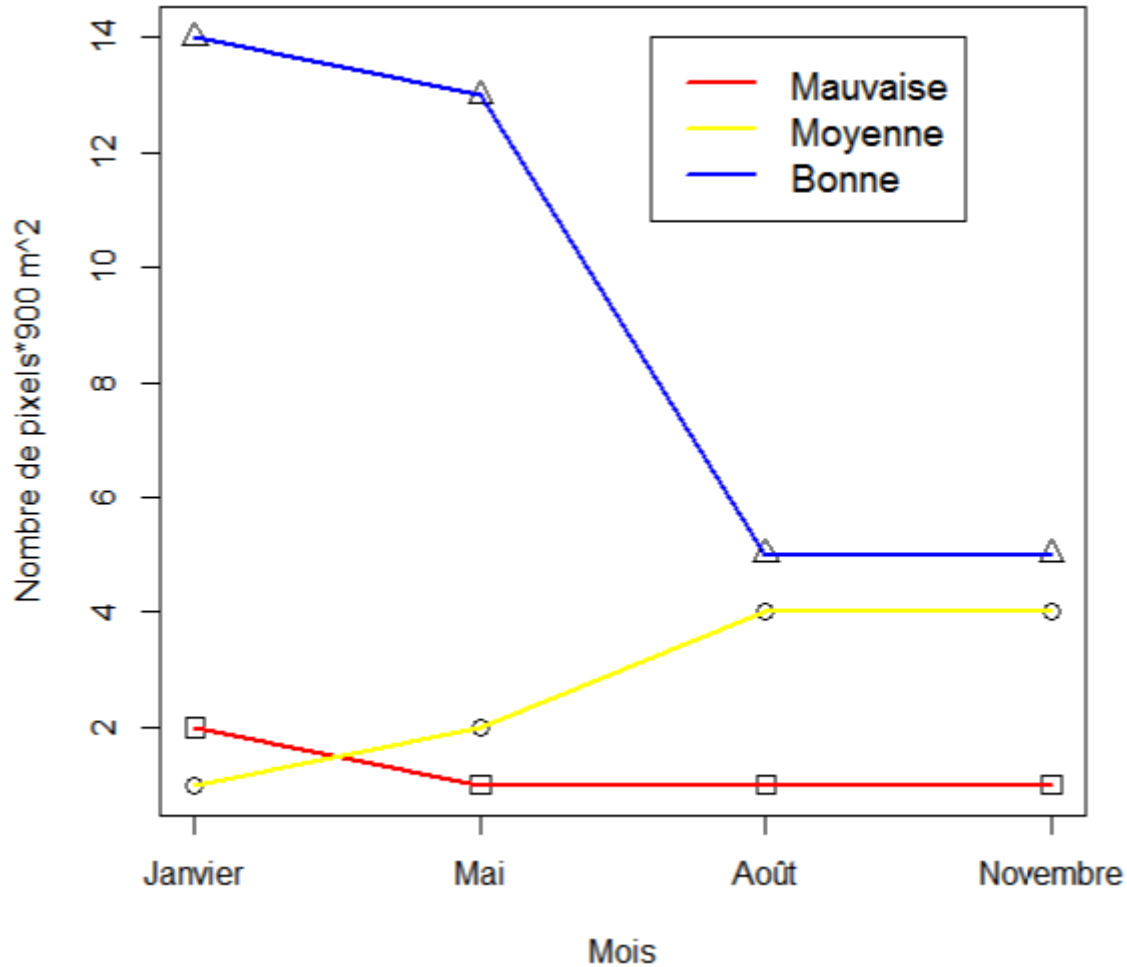


Fig.14: Evolution saisonnière des superficies des 3 classes de qualité de l'eau d'El Agram.

III-2-Discussion :

Pour ce qui est de la variabilité spatiale on constate que les pixels de mauvaise qualité sont localisés principalement à proximité des bordures du barrage. Ceci pourrait être attribué aux apports des différents oueds déversant dans ce barrage et dont le plus important est l'oued d'El Agram. Ces pixels pourraient donc correspondre à un cas d'eutrophisation.

Pour ce qui est de l'évolution saisonnière, la diminution de la superficie de l'eau classée comme bonne (de couleur bleue), du mois de janvier à novembre, peut être expliquée non pas par une diminution de qualité mais par l'envasement que connaît le barrage pendant les périodes estivales et automnales. Ceci se fait au profit de la classe moyenne (jaune) qui ne fait qu'augmenter de janvier à novembre.

Quant à l'évolution de la superficie de l'eau de qualité mauvaise, qui est maximale en janvier et qui tend à diminuer au cours des autres saisons, elle ne peut s'expliquer que par le débit important des oueds en janvier et qui tend à s'affaiblir pour les autres saisons.

Conclusion

Ce travail avait pour objectif d'évaluer la qualité des eaux du barrage d'El Agram par utilisation de l'indice d'Eau par Différence Normalisée Modifié (MNDWI) dérivé d'images Landsat 8.

L'analyse des images classifiées de cet indice fait ressortir trois classes de qualité : Mauvaise, Moyenne et Bonne. L'analyse spatiale montre que l'eau de mauvaise qualité est surtout localisée vers les bordures du barrage et à l'interface terre-eau. Ceci mettrait en cause les apports de polluants d'origine continentale par les oueds. L'analyse temporelle des images classifiées montrent que la superficie d'eau de bonne qualité, occupant le centre du barrage, est importante en hiver puis diminue progressivement, de janvier à novembre, au profit d'eau de qualité moyenne. Ceci peut être dû aux processus d'évaporation et d'envasement du barrage pendant les saisons estivale et automnale.

La présente étude fait ressortir que la qualité des eaux du barrage d'El Agram varie en fonction de la saison, des apports d'oueds dépendant à leur tour des conditions climatiques (précipitations), de l'évaporation et de l'envasement du barrage.

Cette étude montre également que les techniques de télédétection et les indices d'eau qui en dérivent offrent un outil très efficace par rapport aux méthodes traditionnelles dans l'évaluation de la qualité des eaux dans la mesure où elles permettent de couvrir une superficie importante rapidement et à peu de frais.

Références bibliographiques

-A-

- **Anderson. D.M., Glibert. P.M., ET Burkholder. J.M., 2002.**Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and conséquences. *Estuaries* 25, pp 704–726.
- **Andersen. J.H., Schlüter. L., et Artebjerg, G., 2006.**Coastal eutrophication: Recent developments in definitions and implications for monitoring strategies, *J. Plankton Res*, pp 621–628.
- **Atillah, A. (1993).** Les influences maritimes sur le climat du Maroc atlantique central. Une analyse par télédétection spatiale. PhD thesis, Iniversité de Rennes.

-B-

- **Barsi, J.A.; Lee, K.; Kvaran, G.; Markham, B.L.; Pedelty, J.A.** The Spectral Response of the Landsat-8 Operational Land Imager. *Remote Sens.* **2014**.
- **Bartlett, J. S., K. J. Voss, S. Sathyendranath, et A. Vodacek (1998).** Raman scattering by pure water and seawater. *Appl. Opt.*, **37**: 3324-3332.
- **Bricaud, A., A. Morel, et L. Prieur (1981).** Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains. *Limnol. Oceanogr.*, **26**: 43-53.

-C-

- **Charlier R. H., P. Morand, C. W. Finkl, A. Thys, et al.** Green tides on the Brittany coasts. *Environmental Research, Engineering and Management*, 3: 52–59, **2007**.
- **Charlier R. H., P. Morand and C. W. Finkl.** How Brittany and Florida coasts cope with green tides. *International Journal of Environmental Studies*, 65: 191–208, **2008**.

-D-

- **Dokulil. M.T., et Teubner. K., 2000.**Cyanobacterial dominance in lakes. *Hydrobiologia* pp 1–12.
- **Druart J. C. & Balvay G. (2007)** Le Léman et sa vie microscopique, Editions Quae.
- **Duarte C. M.** Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia*, 41: 87–112, 1995.

- **Duysens, L. M. N. (1956).** The flattening effect of the absorption spectra of suspension as compared to that of solutions. *Biochim. Biophys. Acta*, **19**: 1-12.

-E-

- **El Halim, M, 2015.** apport de la télédétection pour l'évaluation de la variation des surfaces d'eau et du couvert végétal dans la plaine du haouz depuis 1984 jusqu'à 2014.

-G-

- **Gerin M., Gosselin P., Viau S., Quenel P., Dewailly E., 2003-** Environnement et sante publique, Fondement et pratique, edisem.15p.
- **Guillot, F. (2004).** Étude préliminaire de l'impact du changement climatique sur le régime d'écoulement du bassin versant de la rivière Chaudière, à l'aide du système de modélisation intégrée GIBS. [Rapport interne N°I-ISO). Sainte-Foy, Québec, INRS-ETE, Université du Québec. **110** pages.
- **Guvén, B., Howard, A., 2006.** Modelling the growth and movement of cyanobacteria in river systems. *Sci. Total Environ.* 368, 898–908.

-H-

- **Hade, A., 2002.** Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éditions Fides, 360 p.
- **Havens K. E. (2008)** Cyanobacteria blooms: effects on aquatic ecosystems. *Advance in Experimental Medecine and Biology* 619: 733-747.
- **Heragmi.A , 2009.** Choix et conception de l'organe de l'étancheité des barrages en terre barrage El-Agrem Jijel. Diplôme de magister. Annaba, 94p.
- **H.Q. Xu.** Modification of normalized difference water index (ndwi) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 27, 2006 pp 3025-3033.

-J-

- **Jensen, J.R., 2004.** Introductory digital image processing: A remote sensing perspective, 3rd edition (NJ: Prentice Hall Logicon Geodynamics, Inc).

- **Joanny, A., Lefebvre, M., Merceron, J.-Y., Piriou, and P. Souchu.** L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France. Rapport IFREMER DEL/EC/01.02 janvier 2001, 59 p.

-K-

- **Kirk, J. T. (1975).** A theoretical analysis of the contribution of algal cells to the attenuation of light within natural waters. I. General treatments of suspensions of living cells. *New Phytol.* **75**: 1-20.

-M-

- **McFeeters, S. K., 1996.** The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17, 1425-1432
- **Ménesguen A., A. Aminot, C. Belin, A. Chapelle, J.-F. Guillaud, M.**
- **Morel, A. (1973).** Diffusion de la lumière par les eaux de mer; résultats expérimentaux et approche théorique, p. 3.1.1.-3.1.76. In NATO [ed.], AGARD Lect. Ser.
- **Morel, A., and L. Prieur (1977).** Analysis of variations in ocean color. *Limnol. Oceanogr.* **22**: 709-722.
- **Morel, A., et A. Bricaud (1981).** Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and application to specific absorption of phytoplankton. *Deep-Sea Res.*, **28**: 1375-1393.
- **Morel, A., et B. Gentili (2004).** Radiation transport within oceanic (case 1) water. *J. Geophys. Res.*, **109**: C06008, doi:10.1029/2003JC002259

-O-

- **Ospar.** QSR eutrophisation. Technical report, 2010 a.

-P-

- **Pdare, 2009**, Plan Directeur d'Aménagement des Ressources en Eau, Rapport de synthèse de la région hydrographique du Cheliff, 266 pages.
- **Pegau, S., et J. R. V. Zaneveld (1993)**. Temperature dependent absorption of water in the red and near infrared portions of the spectrum. *Limnol. Oceanogr.*, **38**:188-192.
- **Pierre Gernez .M (2009)**. Analyse de la variabilité temporelle des propriétés optiques en mer Ligure depuis un mouillage instrumenté (site Boussole): fluctuations à haute fréquence, cyclicité diurne, changements saisonniers et variabilité interannuelle, l'Université Pierre et Marie Curie, p 38
- **Pope, R. M., et E. S. Fry (1997)**. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water .2. Integrating cavity measurements. *Appl. Opt.*, **36**: 8710-8723.

-R-

- **Ramade F (1998)**. Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Ed. Ediscience. 1998. pp 214.

-U-

- **UN (1992)** Environment and Development (Terminology bulletin: 344). United Nations, New York, USA

Sites d'internet

- Google Earth 2019
- <http://earthexplorer.usgs.gov>
- <https://www.usgs.gov/media/images/common-landsat-band-rgb-composites>
- https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products
- <http://www.qgis.org/fr/site/about/index.html2>.

Présenté par :

Bourebia Sarah

Boussadia Saida

Encadré par : Mr Boudjelal. F

Date de soutenance : Le 17/07/2019

Thème

Evaluation de la qualité des eaux du barrage d'El Agram par analyse multi-spectrale

Résumé

Afin d'évaluer la qualité de l'eau du barrage d'El Agram (W. de Jijel), nous avons procédé au calcul de l'Indice Modifié d'Eau par Différence Normalisée (MNDWI) à partir d'images satellitaires Landsat 8. L'analyse des images classifiées de cet indice fait ressortir trois classes de qualité : Mauvaise, Moyenne et Bonne. L'analyse spatiale montre que l'eau de mauvaise qualité est surtout localisée vers les bordures du barrage et à l'interface terre-eau. Ceci mettrait en cause les apports de polluants d'origine continentale par les oueds. L'analyse temporelle des images classifiées montrent que la superficie d'eau de bonne qualité, occupant le centre du barrage, est importante en hiver puis diminue progressivement, de janvier à novembre, au profit d'eau de qualité moyenne. Ceci peut être dû aux processus d'évaporation et d'envasement du barrage pendant les saisons estivale et automnale.

Mots clés : Qualité de l'eau, Images landsat 8, Barrage d'El Agram, MNDWI.

Abstract

In order to assess the water quality of the El Agram dam (W. de Jijel), we calculated the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) from Landsat 8 satellite images. Analysis of the classified images in this index reveals three quality classes: Poor, Medium and Good. Spatial analysis shows that the water of poor quality is mainly located towards the dam's edges and at the land-water interface. This would call into question the inputs of pollutants of continental origin by the wadis. Temporal analysis of the classified images shows that the area of good quality water, occupying the centre of the dam, is large in winter and then gradually decreases, from January to November, in favour of medium quality water. This may be due to the evaporation and siltation processes of the dam during the summer and fall seasons.

Keywords: Water quality, Landsat 8 Images, El Agram Dam, MNDWI.

ملخص

من اجل تقييم نوعية المياه لسد العقرم (ولاية جيجل) ، قمنا بحساب مؤشر المياه المعدل الفرق (MNDWI) من صور القمر الصناعي landsat 8 يكشف تحليل الصور المصنفة لهذا المؤشر عن ثلاث فئات ذات جودة ضعيفة ,متوسطة و جيدة. يوضح التحليل المكاني أن المياه ذات النوعية الرديئة تقع في أطراف السد ، و على واجهة الأرض و المياه ,و هذا يبين أن الملوثات ذات أصل قاري (من الوديان). يوضح التحليل الزمني للصور المصنفة أن مساحة المياه جيدة النوعية التي تشغل وسط السد كبيرة في الشتاء ثم تتناقص تدريجيا من يناير إلى نوفمبر لصالح المياه متوسطة الجودة , قد يكون هذا بسبب عمليات التبخر و الطمي خلال فصلي الصيف والخريف

الكلمات المفتاحية : نوعية المياه ، صور Landsat ، سد العقرم ، MNDWI