

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1
Frères Mentouri Constantine I University
Université Frères Mentouri Constantine I

Université Frères Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et Ecologie Végétale

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم البيولوجيا وعلم البيئة النباتية.

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Ecologie et Environnement.
Spécialité : Protection des écosystèmes

N° d'ordre :
N° de série :

Intitulé :

**Etude de l'évolution de la végétation lacustre par télédétection au
niveau du lac Tonga, Parc National d'El Kala**

Présenté par : LOUNIS Rahil et MECHEHER Aya Nour

Le : 19/06/2023

Jury d'évaluation :

Encadreur : ARFA Azzedine Mohamed Touffik (MCB - U. Frères Mentouri, Constantine 1).
Président : GANA Mohamed (MCB - U. Frères Mentouri, Constantine 1).
Examineur : ALATOU Hana (MAB - U. Frères Mentouri, Constantine 1).

**Année universitaire
2022 - 2023**

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1
Frères Mentouri Constantine I University
Université Frères Mentouri Constantine I

Université Frères Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et Ecologie Végétale

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم البيولوجيا وعلم البيئة النباتية.

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Ecologie et Environnement.
Spécialité : Protection des écosystèmes

N° d'ordre :
N° de série :

Intitulé :

**Etude de l'évolution de la végétation lacustre par télédétection au
niveau du lac Tonga, Parc National d'El Kala**

Présenté par : LOUNIS Rahil et MECHEHER Aya Nour

Le : 19/06/2023

Jury d'évaluation :

Encadreur : ARFA Azzedine Mohamed Touffik (MCB - U. Frères Mentouri, Constantine 1).

Président : GANA Mohamed (MCB - U. Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur : ALATOU Hana (MAB - U. Frères Mentouri, Constantine 1).

**Année universitaire
2022 - 2023**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Remerciements

Merci et louange à Dieu qui nous a donné la volonté, la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude envers notre encadrant Dr Arfa Azzedine Mohamed Touffik, nous avons l'honneur de bénéficier de ses précieux conseils et surtout son suivi tout au long de notre étude.

Nous vous remercions infiniment, Monsieur.

Nous remercions l'ensemble de personnes citées ci-dessous :

Dr GANA M. d'avoir accepté de présider le jury de soutenance,

Dr ARATOU H. d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons également à remercier les proches, la famille et les amis, pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements tout au long de ce processus.

Votre présence et votre soutien ont été d'une importance capitale pour nous.

Enfin, nous souhaitons remercier toutes les personnes qui ont participé à notre recherche, que ce soit en fournissant des données, en accordant des entretiens ou en apportant leur expertise.

Sincèrement,

Lounis & Mecheher,

Dédicaces

Dédicaces

Avec l'aide de Dieu que j'ai pu achever ce travail que je de dédie :

À ma famille, mon père Omar, ma mère Fella, mes frères Ilyes et Mousfi,

. Pour votre amour, votre soutien, votre patience infinie votre confiance en moi. Vous avez été ma source de force et d'inspiration tout au long de ce parcours. Merci du fond du cœur.

À mon oncle, Abd El Madjid que dieu ait pitié de lui, tu seras toujours dans nos cœurs.

À mon binôme Rahil, pour tous les moments que nous avons passés ensemble.

À Dr Arfa Azzedine Mohamed Touffik, Pour votre mentorat attentif, vos conseils et votre disponibilité.

À mes amis, Pour vos encouragements et votre soutien tout au long de cette aventure académique. Merci d'avoir été à mes côtés.

À toutes les personnes qui ont participé à ma recherche, Pour votre temps, votre contribution et votre expertise.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de quelque manière que ce soit à la réalisation de ce mémoire.

Sincèrement,

Mecheher Aya Hour

Dédicaces

Avec l'aide de Dieu que j'ai pu achever ce travail.

Je dédie ce mémoire à mon père Rabeh, ma mère Bouteldja Fousia et mes sœurs Sara, Abir et Khouloud, pour leur amour, soutien et leur confiance en moi.

Je vous remercie d'avoir été à mes côtés tout au long de ce processus.

À mes nièces et mon neveu Amir, la voie de ma vie.

À mon binôme Aya.

À Dr Arfa Azzedine Mohamed Touffik, Pour votre mentorat attentif, vos conseils et votre disponibilité.

À mes chers amis, pour vos encouragements et votre soutien inconditionnel durant cette période. Votre présence a été d'une importance capitale.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers toutes les personnes qui ont contribué de quelques manières que ce soit, à la réalisation de ce mémoire.

Merci infiniment à tous !

Sincèrement,

Lounis Rahil

Sommaire

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Sommaire

Liste des illustrations

Introduction	01
Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude	02
1. Le Parc National d'El-Kala.....	02
1-1. Le relief.....	02
1-2. Le réseau hydrographique.....	02
2. Le lac Tonga.....	03
2-1. Situation géographique.....	03
2-2. Hydrologie, hydrographie et bathymétrie du lac Tonga.....	03
2-3. Caractéristiques climatiques	04
2-3.1. Climatologie	04
2-3.2. Température	05
2-3.3. Pluviométrie	05
2-4. Caractéristiques écologiques	05
2-4.1. Espèces rares selon site Ramsar	05
2-4.2. Type de végétation du lac Tonga	07
2-4.2.1. Végétation immergée	07
2-4.2.2. Végétation émergente	08
2-4.2.3. Végétation flottante	10
2-4.2.4. Végétation palustre	11
Chapitre 2 : Matériels et méthodes	12
1. Matériels utilisés	12
1-1. Les images satellites	12
1-1.1. LANDSAT 5 TM	12
1-1.2. LANDSAT 8 OLI	13
1-2. Les logiciels	14
1-2.1. ENVI 5.3	14
1-2.2. ArcGIS 10.3	14
2. Méthodologie de travail	15
2-1. Acquisition des images satellites	15
2-2. Calcul de l'NDVI (Indice de végétation par différence normalisée)	15

2-3.	Classification supervisée de l'NDVI	16
2-4.	Expression des résultats sous forme de cartes et histogrammes	16
Chapitre 3 : Résultats et discussions		17
1.	Résultats	17
1-1.	Obtentions des images satellites et sélection des dates	17
1-2.	Calcul de l'indice de végétation NDVI	20
1-3.	Classification supervisée des images de l'NDVI	23
2.	Discussions	27
3.	Evolution de la végétation du lac Tonga au cours des années	28
3-1.	Les espèces aquatiques	28
3-2.	La flore immergée envahissante	29
3-3.	La végétation de forets envahissante	29
Conclusion		30
Références bibliographiques		
Résumé		

Liste des illustrations

Table des illustrations

Liste des cartes

Carte 01 :	Localisation géographique du lac Tonga et du Parc National d'El Kala .	04
Carte 02 :	NDVI du 31/03/1985 du Lac Tonga	20
Carte 03 :	NDVI du 08/04/1991 du Lac Tonga	20
Carte 04 :	NDVI du 07/04/1999 du Lac Tonga	21
Carte 05 :	NDVI du 20/05/2009 du Lac Tonga	21
Carte 06 :	NDVI du 03/04/2015 du Lac Tonga	22
Carte 07 :	NDVI du 29/03/2022 du Lac Tonga	22
Carte 08 :	Classification supervisée du 31/03/1985	23
Carte 09 :	Classification supervisée du 08/04/1991	24
Carte 10 :	Classification supervisée du 07/04/1999	24
Carte 11 :	Classification supervisée du 20/05/2009	25
Carte 12 :	Classification supervisée du 03/04/2015	26
Carte 13 :	Classification supervisée du 29/03/2022	26

Liste des figures

Figure 01 :	Espèces rares du Lac Tonga	06
Figure 02 :	LANDSAT TM 5	12
Figure 03 :	LANDSAT OLI 8	13
Figure 04 :	Images satellites LANDSAT vraies couleurs	18
Figure 05 :	Images satellites LANDSAT fausses couleurs	19
Figure 06 :	Evolution du taux de recouvrement de la végétation lacustre au niveau du lac Tonga (période 1985-2022).....	27

Liste des tableaux

Tableau 01 : Caractéristiques du LANDSAT TM 5	13
Tableau 02 : Caractéristiques du LANDSAT OLI 8	14
Tableau 03 : Dates et références des images satellites choisis	17
Tableau 04 : La surface (ha) et le pourcentage de l'eau et de la végétation de chaque année	27

Liste des photos

Photo 01 : Renoncule aquatique	08
Photo 02 : Iris jaune	09
Photo 03 : Nénuphar blanc	10
Photo 04 : Cyprès chauve	11

Liste des abréviations

PNEK : Parc National d'El6KALA

NDVI : Indice de Végétation par Différence Normalisée

ENVI: Environment for Visualizing Images

USGS: United States Geological Survey

Introduction

Introduction

Dans la partie Nord-Est de l'Algérie, se situe le Parc National d'El-Kala, couvrant environ 26% de la surface de la wilaya d'El-Tarf. En raison de la diversité de ses écosystèmes, il bénéficie d'une protection en tant que site d'importance mondiale. Ce parc abrite une grande variété d'espèces endémiques, dont certaines sont malheureusement menacées d'extinction.

Le lac Tonga, faisant partie du Parc National d'El Kala, est l'un des écosystèmes d'eau douce d'une importance écologique considérable. Bien que le lac présente un potentiel élevé en termes de biodiversité et de végétation, il demeure relativement peu étudié jusqu'à présent.

Cette étude se concentre sur l'application de techniques de traitement informatique des données géographiques afin d'analyser l'évolution spatiotemporelle de la végétation du lac. L'objectif de cette étude est de répondre à la question suivante : est-ce que le lac Tonga subi un envahissement important de la végétation ?

Ce mémoire est structuré en trois chapitres principaux, en plus de l'introduction et de la conclusion :

- le premier chapitre offre une présentation détaillée du lac Tonga, mettant en évidence ses caractéristiques et son importance écologique ;
- le deuxième chapitre explique l'approche méthodologique utilisée, en décrivant en détail les différentes approches et outils employés pour l'analyse et le traitement des données ;
- Le dernier chapitre présente les résultats obtenus à partir de ces méthodes, ainsi que leur discussion approfondie, permettant une meilleure compréhension de la végétation lacustre et de son évolution au cours du temps au niveau du lac Tonga.

Chapitre 1

Présentation de la zone d'étude

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

1. Le Parc National d'El Kala (PNEK)

Le PNEK est situé à l'extrême Nord-est algérien, il est intégralement inclus dans la wilaya d'El Tarf et occupe une superficie de 80.000 ha soit 26% de la surface de la wilaya. Il est limité :

- au Nord, par la mer Méditerranée ;
- au Sud, par les contreforts des monts de la Medjerda ;
- à l'Est, par la frontière algéro-tunisienne ;
- à l'Ouest, par l'extrémité de la plaine alluviale d'Annaba.

Ses écosystèmes très variés le classent parmi les sites protégés mondialement, avec des espèces endémiques dont quelques-unes sont en voie de disparition. Hautement boisé (69% de sa superficie), il s'étend sur une bande côtière de 50 km, longe la frontière tunisienne sur 98 km. Les limites du parc englobent 8 communes dont 6 sont entièrement situées à l'intérieur de cet espace naturel (Hamouda et Tahar, 2012).

1-1. Le relief

Le relief du Parc National d'El Kala se compose d'une juxtaposition de dépressions dont certaines sont occupées par des formations lacustres ou palustres et des hautes collines de forme variées. Ainsi, on distingue du littoral vers le sud, des formations collinaires basses (dunaires ou non) de 30 à 310 m de haut (Djebel Koursi) avec une moyenne de 100 m de haut, ces collines se prolongent sur 15 km vers le sud et s'interrompent au niveau de la vallée de l'oued Kebir, de grandes dépressions inter collinaires hébergent dans cet ensemble les principaux lacs Tonga, Oubeira et Mellah. Au Sud le relief passe en moins de 40 km de 0 à 1200 m d'altitude (Djebel Ghorra) (Bentouili, 2007).

1-2. Le réseau hydrographique

La configuration du terrain de la région d'El-Kala détermine trois systèmes d'organisation hydrographiques :

- ❖ la partie Sud-est est drainée par trois Oueds : l'Oued Bougous, Ballouta et El Kebir. Ce dernier constitue le collecteur principal ; il alimente les nappes alluviales et dunaires et lors des crues, on assiste à la mise en eau des dépressions inter-dunaires ;
- ❖ la partie orientale est caractérisée par plusieurs oueds en général à faible débit, ils s'écoulent en majorité dans la plaine d'Oum Teboul ;
- ❖ la partie ouest est également parcourue par de nombreux oueds (El-Aroug, Mellah, Reguibet, Boumerchen, Dai El-Graa...), qui se déversent pour la plupart dans les lacs Mellah et Oubeira (Bentouili, 2007).

2. Le lac Tonga

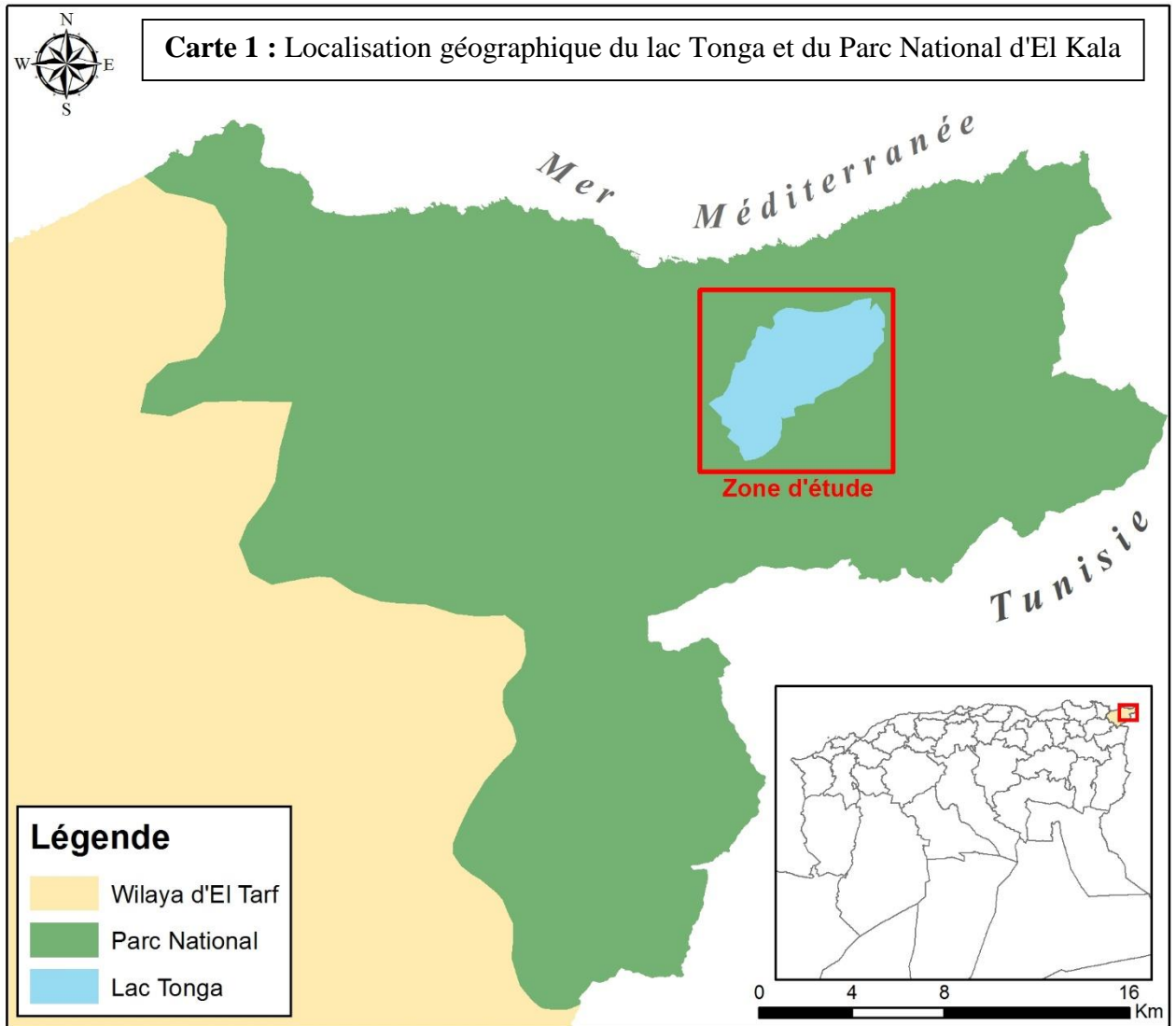
2-1. Situation géographique

Comparé à d'autres zones du complexe humide d'El Kala, le lac Tonga occupe une situation géographique plus importante. Situé à 36°53' Nord et 08°31' Est, le lac couvre une superficie de 2700 ha et s'étend sur 7,5 km de long et 4 km de large (Carte 1). Il est limité sur toute sa moitié Ouest, Sud et Est par les derniers contreforts des montagnes de la Kroumirie, au Nord-Ouest par les collines sableuses qui le sépare du lac Oubeira et au Nord par les dunes qui le sépare de la mer. D'une profondeur moyenne de 1 à 1,5 m, il est relié à la mer par le canal de la Messida.

2-2. Hydrologie, hydrographie et bathymétrie du lac Tonga

L'importance saisonnière des pluies, leurs irrégularités annuelle et interannuelle, leurs fortes intensités pendant la période automnale et la structure géologique expliquent les principales caractéristiques du réseau hydrographiques et des débits hydrologiques (Maghni, 2013).

Les sources d'alimentation du lac Tonga sont des affluents secs qui ont été tout au long des rives ouest et sud, et d'autres part à l'est et au nord des oueds et deux sous bassins versants ; celui d'Oued El-Hout au Sud et d'Oued El Eurg au Nord ; l'exutoire du Tonga étant l'Oued Messida (Maghni, 2013).



2-3. Caractéristiques climatiques

2-3-1. Climatologie

Selon Emberger (1955) le lac Tonga (la région d'El-Kala) est classé dans le quatrième étage bioclimatique avec une végétation subhumide.

Un climat méditerranéen règne sur la région caractérisé par une pluviométrie abondante pendant la saison humide et les mois froids et par une sécheresse pendant l'été (Ozenda 1982, Samraoui & de Bélair, 1998 in Touati, 2008).

2-3-2. Température

La température joue un rôle important sur le métabolisme de la reproduction des espèces d'eau, dans le lac Tonga comme dans d'autres zones de la Numidie orientale ; la température diffère d'un mois à un autre (le froid caractérise surtout janvier et février alors que la chaleur maximale est généralement enregistrée durant juillet et août), d'une part comme elle dépend aussi de l'altitude, de la distance du littoral et de la topographie (Maghni, 2013).

2-3-3. Pluviométrie

La pluviométrie constitue un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement des écosystèmes, en particulier les écosystèmes humides. La pluviosité dans cette région est conditionnée par deux phénomènes météorologiques importants, la perturbation cyclonique d'origine atlantique d'Ouest et du Nord-ouest et les dépressions qui prennent naissance en méditerranée occidentale (Maghni, 2013).

Cette zone reçoit le maximum de précipitation de 900 mm/an à El-Kala jusqu'à 1500 mm/an à Ain Drahem, avec une moyenne annuelle au niveau du lac Tonga de 970 mm/an (Touati, 2005).

2-4. Caractéristiques écologiques

Le lac Tonga est un site important d'hivernage et de nidification pour des dizaines de milliers des oiseaux (Rallidés, Ardéidés, Limicoles et autres) et une zone de mue et d'escale. Ceci est permis par la grande diversité des milieux : grandes surfaces d'eau libre ; végétation en mosaïque et îlots de forêts flottants de saule pédicellé et aulnaie (Maghni, 2013).

2-4-1. Espèces rares selon site Ramsar

Le lac Tonga compte 82 espèces végétales qui appartiennent à 31 familles botaniques, parmi elles 32 espèces (39% de l'ensemble) sont classées d'assez rares à rarissimes (Figure 1).



Figure 1 : Les espèces rares du lac Tonga selon le site Ramsar

- *Glyceria fluitans* : Glycérie flottantes de la famille des poaceae.
- *Iris pseudacorus* : Iris des marais plante herbacée vivace de la famille des Iridacées.
- *Marsilea minuta* : Marsilée menue trèfle à 4 feuilles de la famille des marsileaceae.
- *Nymphaea alba* : Nénuphar blanc plante herbacée vivace et un bon indicateur de la qualité d'eau.
- *Oenanthe aquatica* : Fenouil aquatique plante herbacée toxique de la famille des Apiacées.
- *Tamarix gallica* : Tamarix commun arbuste porte des fleurs roses avec un feuillage caduc de la famille des tamararicacées.
- *Typha latifolia* : Massette à larges feuilles plante herbacée vivace de la famille des typhaceae
- *Utricularia gibba* : Utriculaire gibbeuse plante aquatique flottante avec de jolies fleurs jaunes de la famille des lentibulariaceae.

2-4-2. Type de végétation du lac Tonga

2-4-2-1. Végétation immergée

Les espèces qui vivent entièrement dans l'eau, estimées à 20% de la superficie totale de la cuvette, tapissées d'une végétation hydrophyte dense et diversifiée, représentée par la plage d'eau libre. Dans ce type de végétation on rencontre les formations suivantes (Saifouni *et al.*, 2020) :

- ✓ **Formation à Cornifle d'eau (*Ceratophyllum demersum*)** : de la famille des Cératophyllacées de type vivace aquatique. Originaires de l'Europe du Nord et de l'Est, elle a des fleurs blanches et sa floraison en été. S'étend de 50 à 60 cm ;
- ✓ **Formation à Potamot (*Potamogeton lucens*)** : une plante à fleurs vivace à feuillage flottant décoratif de la famille des Potamogetonacées. Elle pousse à une profondeur d'eau jusqu'à 100 cm. C'est aussi une **bonne plante oxygénante, mais** peut s'avérer envahissante à cause de sa croissance rapide. Elle comprend les espèces suivantes : *Potamogeton lucens*, *Potamogeton trichoides* et *Potamogeton pectinatus* ;
- ✓ **Formation à Renoncule aquatique (*Renonculus aquatilis*)** : une plante aquatique indigène de la famille des Renonculacées de type vivace. Originaires de l'Europe, presque tout l'hémisphère nord. Elle a des fleurs blanches, son feuillage est semi persistant. S'étend de 10 cm jusqu'à 1 m (Photo 1) ;
- ✓ **Formations à Myriophylles** : c'est une végétation vivace aquatique de la famille des Haloragidacées, originaires de l'Indonésie et l'Amérique du sud. Elle a des fleurs jaunes-vertes avec un feuillage persistant. S'étend jusqu'à 2 m de long. Comprend les espèces suivantes : *Myriophyllum spicatum*, *Myriophyllum alterniflorum* et *Myriophyllum verticillatum* ;
- ✓ **Formation à Callitriche des eaux stagnantes (*Callitriche stagnalis*)** : une plante oxygénante à feuillage flottant persistant de la famille des Callitrichacées. S'étend à une hauteur de 60 cm à 1 m.
- ✓ **Formation à Renouée amphibie (*Polygonum amphibium*)** : c'est une plante vivace à feuillage caduc flottant en surface de la famille des Polygonacées. Forme de beaux épis de fleurs rougeâtres en été. Elle pousse jusqu'à 40 cm de profondeur et s'étend à une hauteur de 30 à 45 cm.



Photo 1 : Renoncule aquatique (source : Conservatoires d'espaces naturels 2023)

2-4-2-2. Végétation émergente

C'est une végétation enracinée dans le substrat au fond de l'eau, mais dont une partie de l'appareil végétatif est aérienne. Elle est constituée par une roselière représentée par 6 habitats et une formation végétale herbacée de faible hauteur formée par 2 habitats (Saifouni *et al.*, 2020).

A. La roselière

Végétation herbacée des ceintures des bords du lac, qui se développe au niveau des atterrissements, elle ne dépasse pas 2 mètres de profondeur (Saifouni *et al.*, 2020). Dans la roselière du lac Tonga on trouve 6 habitats :

- **Scirpaie :** présentée sous forme d'îlots circulaires qui couvrent une grande superficie et qui se développe sur les bordures aquatiques du lac, constituée de Scirpe lacustre (*Schoenoplectus lacustris*) et de Scirpe maritime (*Bolboschoenus maritimus*), ce sont des espèces à forte densité avec un recouvrement élevé. Le Scirpe constitue des formations hautes, il se développe à des profondeurs variaient entre 20 et 180 cm ;

- **Sparganaie** : son taux de recouvrement est relativement élevé, constituée de Rubanier (*Sparganium erectum*). Elle est particulièrement envahissante dans le Nord-Est et Sud-Ouest du lac où ses populations constituent de vastes prairies. Elle explore des profondeurs allant de 20 à 90 cm ;
- **Scirpaie sparganaie** : c'est un mélange de deux formations, le Rubanier et le Scirpe lacustre, ces deux formations se mélangent particulièrement dans la partie Nord-Est du lac Tonga, et se développent à des profondeurs qui variaient entre 10 et 90 cm ;
- **Typhaie** : c'est une formation à Massette à feuilles étroites (*Typha angustifolia*) et à Massette à large feuilles (*Typha latifolia*). Grand héliophyte pouvant atteindre 2 m de hauteur, son recouvrement est relativement faible, elle occupe spécialement les berges Sud-Est et Sud-Ouest en formant un rideau de feuilles. La Typhaie se développe à des profondeurs qui varient de 60 à 130 cm ;
- **Phragmitaie** : formation plus ou moins denses à Phragmite commun (*Phragmite communis*). Un des plus grands héliophytes présents sur le bord du lac Tonga, sa hauteur est de 150 à 300 cm. Cette formation se localise particulièrement dans la partie Sud du lac sur une profondeur qui varie de 50 à 100 cm ;
- **Iridaie** : formation à Iris des marais (*Iris pseudacorus*). C'est l'habitat le moins abondant sur le Tonga. Elle forme des touffes isolées les unes des autres, plus abondante dans la partie Nord-Ouest. L'Iris se caractérise par l'apparition de grandes fleurs jaunes (Photo 2), il se développe en eaux peu profondes (30 à 70 cm).



Photo 2 : Iris jaune (source : Ali Ouali 2023)

B. Les herbacées de faible hauteur

Se localisent sur les rives, plus particulièrement dans la partie Nord-Est et Nord-Ouest entre 10 à 15 cm de profondeur d'eau (Saifouni *et al.*, 2020). On trouve 2 habitats :

- **Prairie humide** : ce sont des terres alluvionnaires fertiles de la zone humide utilisée par l'agriculture. On cultive le fourrage naturel, les arachides, du maraichage et les arbres fruitiers ;
- **Pelouse naturelle** : c'est une formation à Paspale à 2 épis (*Paspalum distichum*) une graminée omniprésente sur le pourtour du lac, il semble être un bon indicateur de la forte anthropisation de la végétation aquatique du lac Tonga.

2-4-2-3. Végétation flottante

Constituée par des espèces végétales aquatiques, qui vivent entièrement dans l'eau, mais qui ne sont pas enracinées dans le substrat.

Sur le lac Tonga, la végétation flottante est essentiellement formée par un seul habitat représenté par le Nénuphar blanc (*Nymphaea alba*). C'est une formation à recouvrement très élevé. Le Nénuphar blanc est de la famille des Nymphéacées de type vivace (Photo 3). Il a des fleurs jaunes, blanches, roses, rouges, bleues. Il s'étend jusqu'à 2 m en surface.

Le Nénuphar blanc est une espèce estivale, qui occupe la partie centrale du lac, à des profondeurs allant de 70 à 360 cm, sur un substrat vaseux et épais (Saifouni *et al.*, 2020).

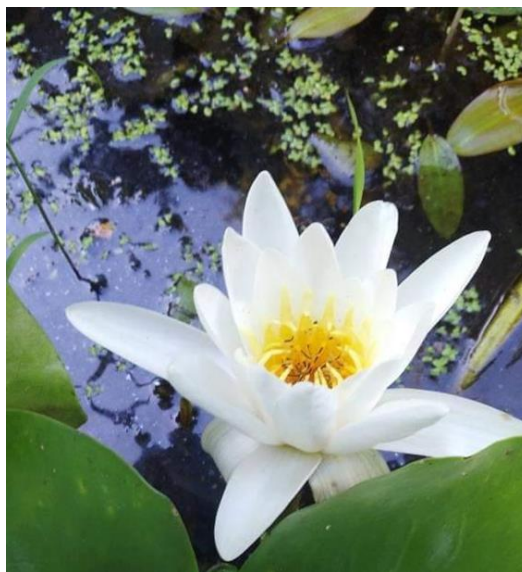


Photo 3 : Nénuphar blanc (source : Ali Ouali 2023)

2-4-2-4. Végétation palustre

C'est la végétation ligneuse qui constitue l'ensemble d'une formation boisée caractérisée par une strate haute (arborescente) très développée, exclusivement dans les bordures Nord et au milieu du lac. Ces habitats sont caractérisés par la présence de la strate arborescente et arbustive. 6 habitats ont été identifiés pour la végétation palustre, à savoir (Saïfouni *et al.*, 2020) :

- ❖ **l'aulnaie** : formation à Aulne glutineux (*Alnus glutinosa*) de la famille de Batulaceae, végétation de type forestier et humide ;
- ❖ **formation à Cyprès chauve (*Taxodium distichum*)** : se trouve à l'extrémité Est de l'Aulnaie, appelée l'arboretum de Tonga, qui est formé exclusivement de Cyprès chauve de la famille des Taxodiacées, de type conifère caduc. Originaire du sud-est des Etats-Unis. Sa hauteur est de 20 à 50 m ;
- ❖ **la saulaie flottante** : une formation dense à Saules blanc (*Salix pedicellata*), localisée au Sud de l'Aulnaie, formée par plusieurs espèces de Saules notamment : *Salix alba*, *Salix nigra*, *salix cinerea*, *salix triandra*...etc. ;
- ❖ **la ceinture de saulaie** : une formation à Saules blanc, débute à partir de l'Aulnaie inondée (Nord-Ouest). Elle s'étend de plus en plus vers le centre du lac sous forme d'une longue ceinture, d'une hauteur moyenne de 4 mètres ;
- ❖ **formation à Acacia (*Acacia eburnea*)** : arbre de la famille des Fabacées originaire de l'Amérique du Nord. Située en bordure Nord-Est du lac Tonga ;
- ❖ **formation à Tamaris commun (*Tamarix gallica*)** : arbuste de la famille des Tamaricacées, originaire de l'Asie, Europe du Sud. Sa hauteur est de 2 à 5m. Il se trouve au Sud du lac.



Photo 4 : Cyprès chauve (source : Ali Ouali 2023)

Chapitre 2

Matériels et méthodes

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

1. Matériels utilisés

Le matériel utilisé dans cette étude comprend les images satellitaires, les logiciels de télédétection et système d'information géographique.

1-1. Les images satellites

L'image satellitaire est un document contenant diverses informations relatives à des objets tels que le sol et la végétation, dans ce sens le traitement effectué est telle que l'information propre à l'occupation de la végétation puisse être mise en évidence.

Dans notre cas, nous avons utilisé les images issues de deux types de capteurs : LANDSAT 5 TM (Thematic Mapper) et LANDSAT 8 OLI (Operational Land Imager).

1-1-1. LANDSAT 5 TM

Développé par la NASA, LANDSAT 5 a été lancé depuis la base aérienne de Vandenberg en Californie le 1er mars 1984 (Figure 2). LANDSAT 5 a fourni des données d'imagerie de la Terre pendant près de 29 ans, établissant un record du monde Guinness pour le "satellite d'observation de la Terre le plus long en fonctionnement", avant d'être mis hors service le 5 juin 2013 (Tableau 1).



Figure 2 : LANDSAT TM5

Tableau 1 : Caractéristiques du LANDSAT TM5

Date de lancement	01/03/1983
Altitude	705 Km
Inclinaison	98,2°
Orbite	Polaire héliosynchrone
Capacité de revisite	16 jours
Résolution optique	30 mètres
Nombre de bandes	7 bandes
Bandes spectrales visibles et proche infrarouge	Bande 1 Bleu : 0.45-0.52 μm Bande 2 Vert : 0.52-0.60 μm Bande 3 Rouge : 0.63-0.69 μm Bande 4 Infrarouge proche : 0.76-0.90 μm

1-1-2. LANDSAT 8 OLI

LANDSAT 8 (anciennement Landsat Data Continuity Mission, ou LDCM) a été lancé depuis la base aérienne de Vandenberg, en Californie, le 11 février 2013 (Figure 3). Le satellite transporte l'imager terrestre opérationnel (OLI) et le capteur infrarouge thermique (TIRS) (Tableau 2).

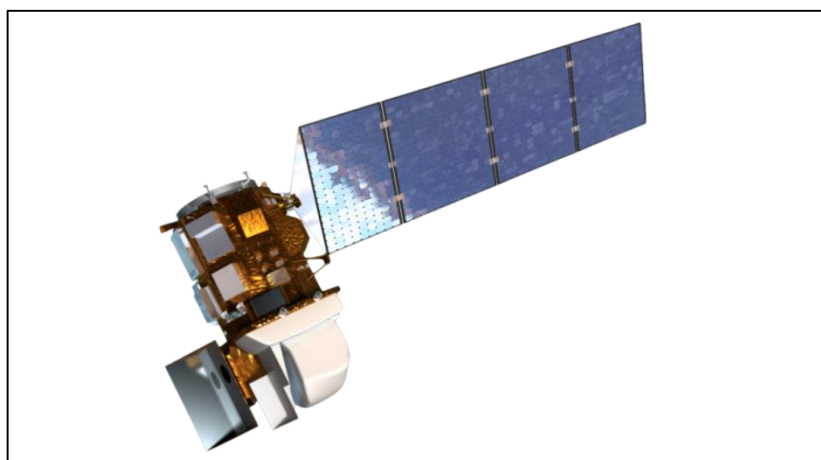
**Figure 3** : LANDSAT OLI 8

Tableau 2 : Caractéristiques du LANDSAT 8 OLI

Date de lancement	11/02/2013
Altitude	705 km
Inclinaison	98,2°
Orbite	Polaire héliosynchrone
Capacité de revisite	16 jours
Résolution optique	30 mètres sur toutes les bandes sauf sur la bande panchromatique 15 mètres
Nombre de bandes	11 bandes
Bandes spectrales visibles et proche infrarouge	Bande 2 Bleu : 0,450-0,515 μm Bande 3 Vert : 0,525-0,600 μm Bande 4 Rouge : 0,630-0,680 μm Bande 5 Infrarouge proche : 0,845-0,885 μm

1-2. Les logiciels

Différents types de logiciels ont été utilisés dans le cadre de cette étude.

1-2-1. ENVI 5.3

Le logiciel ENVI (Environnement For Visualizing Images) a été utilisé pour tous les traitements des images (calcul de l'NDVI et sa classification). Ce logiciel est le plus utilisé grâce au fait qu'il supporte un grand nombre de formats de fichier, de toutes tailles.

Le plus important est que le résultat du travail sous ENVI facilite le travail sous d'autres logiciels de cartographie par la suite.

1-2-2. ArcGIS 10.3

ArcGIS est un logiciel géo-spatial permettant d'afficher, de modifier, de gérer et d'analyser des données géographiques, d'effectuer diverses opérations, l'accès à des données externes de divers formats. Il est le logiciel référence en matière de cartographie.

Il propose une large panoplie de fonctionnalités permettant à l'utilisateur de visualiser, d'éditer et même de comparer des données de cartographie (what is arc-gis, 2023).

2. Méthodologie de travail

La méthodologie adoptée pour réaliser cette étude repose sur 4 étapes importantes, à savoir :

- 1) Acquisition des images satellites.
- 2) Calcul de l'indice de végétation NDVI.
- 3) Classification de l'NDVI.
- 4) Expression des résultats sous forme de cartes et histogrammes.

2-1. Acquisition des images satellites

Pour cette étude multi-dates, LANDSAT a été choisi pour plusieurs raisons, parmi lesquelles :

- ✓ c'est le premier programme d'observation de la terre développé par l'agence spatiale américaine et la NASA, 9 satellites Landsat sont lancés depuis 1972 ;
- ✓ ses produits sont disponibles gratuitement aux utilisateurs du monde entier sur la plateforme web de l'USGS « United States Geological Survey ».

L'importance de bien choisir les dates d'acquisition des images satellites est liée à la variation des conditions du terrain et ainsi la végétation.

Pour l'étude de l'évolution de la végétation du lac Tonga, nous avons choisis les dates correspondant à la saison printanière de fin mars à début mai. Cette période correspond généralement au maximum de l'activité photosynthétique de la végétation. De plus, elle vient juste après la saison hivernale correspondant généralement à la saison des pluies avec un remplissage maximum du lac Tonga.

2-2. Calcul de l'NDVI (Indice de végétation par différence normalisée)

L'indice de végétation est un outil utilisé dans les domaines environnementaux et pour l'agriculture en particulier, car il fournit des informations sur la verdure et l'état de la végétation.

Il est calculé à partir des bandes spectrales rouges (R) et proches infra rouge (PIR) Selon l'équation suivante : $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$. Cet indice est sensible à la vigueur et à la densité de la végétation. Les valeurs de l'NDVI Sont comprises entre -1 et +1, où :

- les valeurs négatives : surfaces autres que les couverts végétaux, la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge ;
- les valeurs proches de 0 : pour les sols nus, la réflectance étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge ;
- les valeurs positives : les formations végétales entre 0,2 et 0,8, les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses (Sellers, 1985).

2-3. Classification supervisée de l'NDVI

L'NDVI aide à cartographier la végétation au niveau du lac Tonga et sa classification permet de classer l'image selon les valeurs de l'INDVI en deux classes : végétation et eau. Il y a deux modes de classification des images : la classification supervisée et la classification non supervisée.

Nous avons choisis dans notre étude la classification supervisée qui est basé sur l'identification des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs des deux types de surfaces (végétation et eau). Ces échantillons constituent un ensemble de données-tests dont la sélection dépend de la connaissance du lac Tonga et les types de surfaces présentes dans l'image.

La classification dépend de la précision des résultats qui reste en fait l'étape la plus critique et la plus complexe à réaliser. Le plus difficile est de choisir les bons échantillons de chaque classe thématique. Par conséquent, un aperçu du résultat est analysé à chaque étape de la classification qui assure un suivi tout au long de cette dernière (Bouzenzana, 2015).

2-4. Expression de résultats sous forme de cartes et histogrammes

Cette étape permet de réaliser les cartes exprimant le taux de recouvrement de la végétation au niveau du lac Tonga au cours du temps. Des histogrammes sont réalisés pour compléter les résultats en apportant des précisions sur l'évolution des superficies occupées par la végétation lacustre du lac Tonga au cours de la période d'étude.

Chapitre 3

Résultats et discussions

Chapitre 3 : Résultats et discussions

1. Résultats

1-1. Obtentions des images satellites et sélection des dates

Durant la période 1985-2023 nous avons dénombré 2148 images satellites LANDSAT couvrant la zone du lac Tonga. Cependant, si on considère seulement les images dépourvues de couvertures nuageuses, il ne reste plus que 1022 images, dont 216 ont des dates de prise de vue correspondante à la période de fin mars à début mai. Selon la disponibilité des scènes, nous avons choisis 6 dates de la plus ancienne acquise le 31/03/1985, à la plus récente acquise le 29/03/2022 et quatre dates intermédiaires : le 08/04/1991, le 07/04/1999, le 20/05/2009 et le 03/04/2015. Les images choisies ont une correction de type collection 2 Level 1. Les quatre premières dates sont issues du capteur TM5 et les deux dernières sont issues du capteur OLI 8 (Tableau 3).

Tableau 3 : Dates et références des images satellites choisies.

Satellite	Date	ID
LANDSAT TM 5	31/03/1985	LT05_L1TP_192034_19850331_20200918_02_T1
LANDSAT TM 5	08/04/1991	LT05_L1TP_193034_19910408_20200915_02_T1
LANDSAT TM 5	07/04/1999	LT05_L1TP_192034_19990407_20211203_02_T1
LANDSAT TM 5	20/05/2009	LT05_L1TP_192034_20090520_20200827_02_T1
LANDSAT OLI 8	03/04/2015	LC08_L1TP_192034_20150403_20200909_02_T1
LANDSAT OLI 8	29/03/2022	LC09_L1TP_192034_20220329_20230423_02_T1

La figure 4 représente les images des 6 dates en composition "vraie couleur", alors que la figure 5 affiche les mêmes images en composition "infrarouge fausses couleurs".

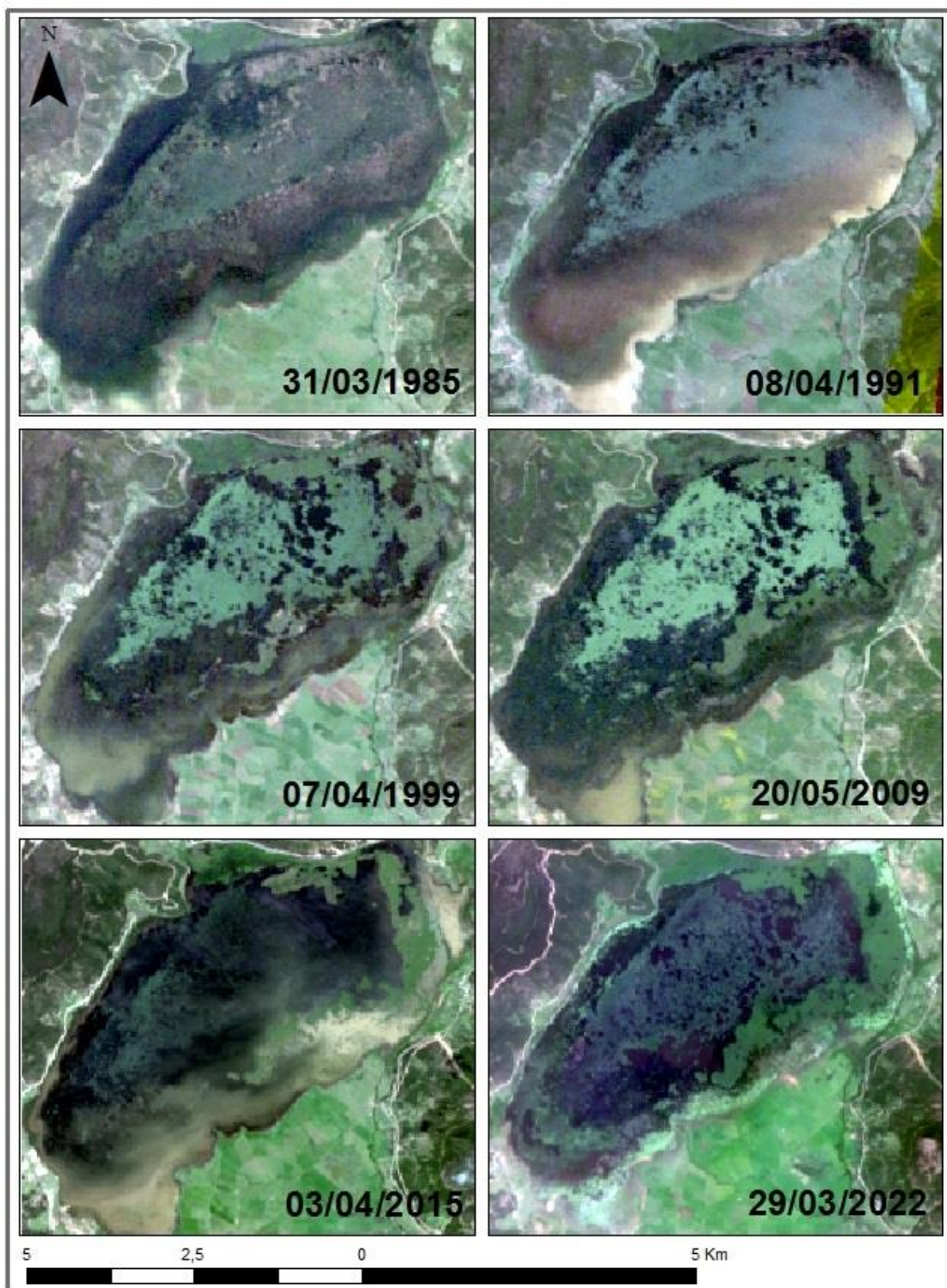


Figure 04 : Images satellites LANDSAT en composition vraies couleurs.

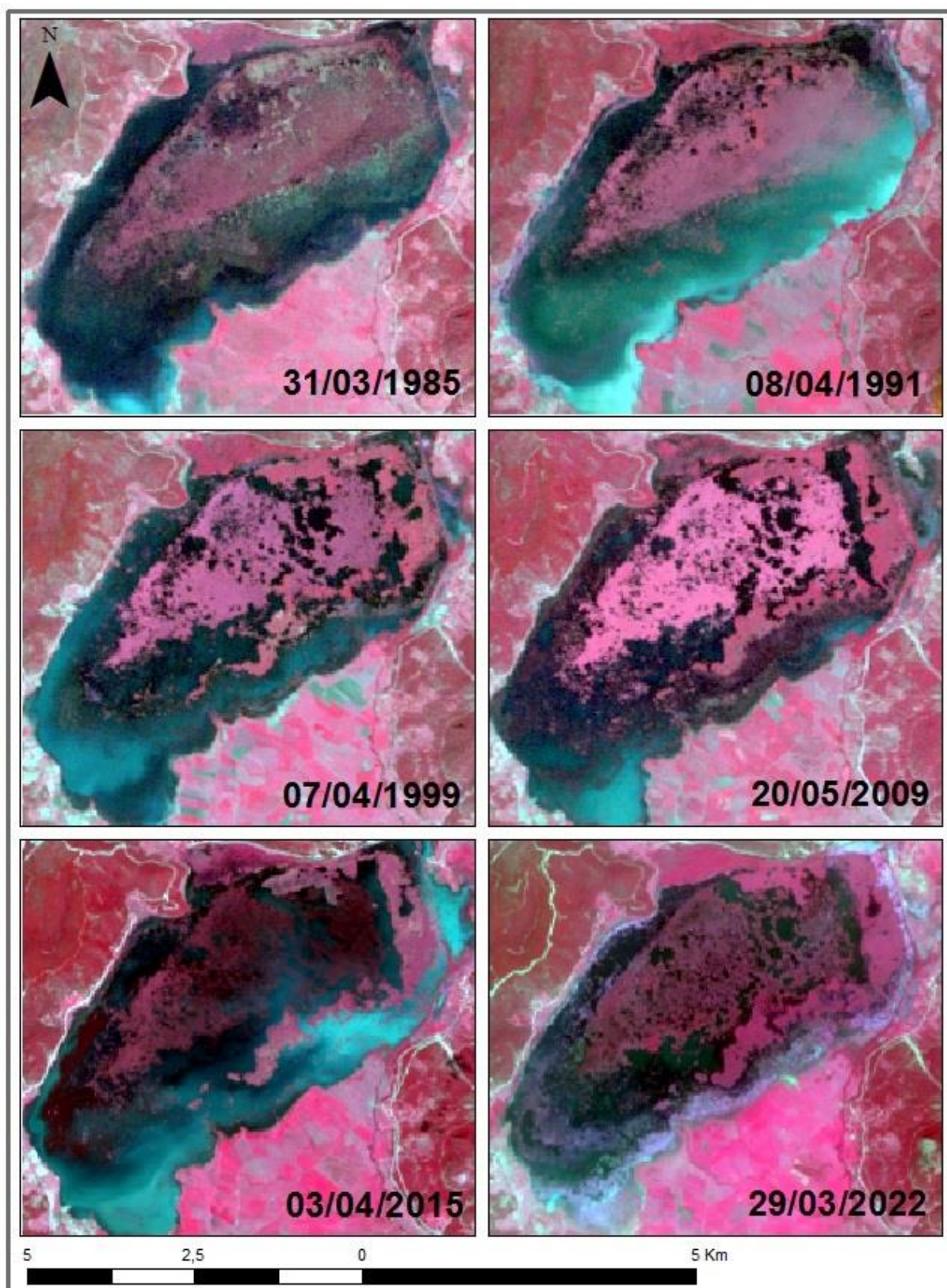
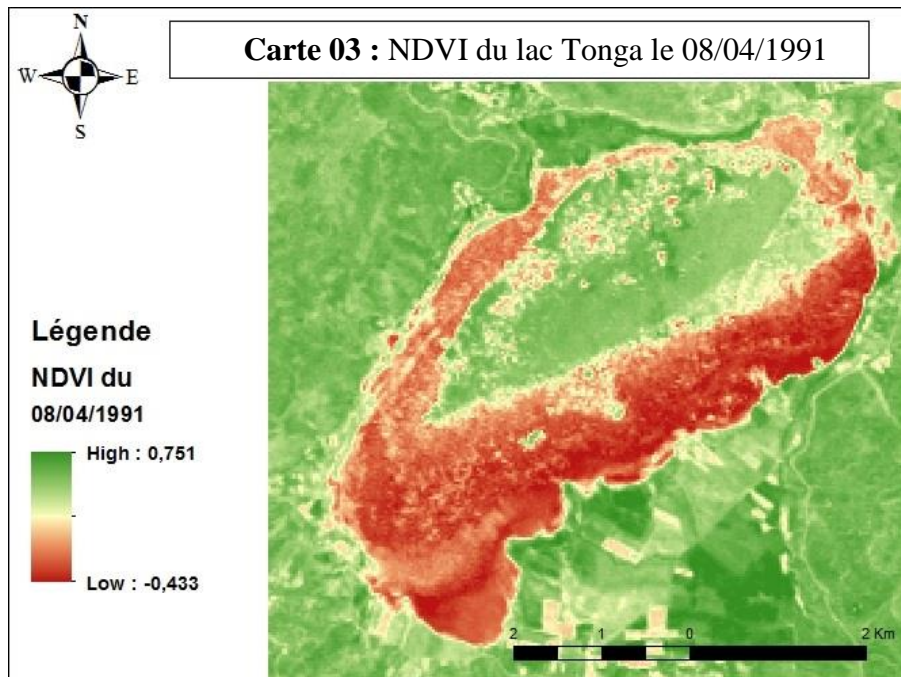
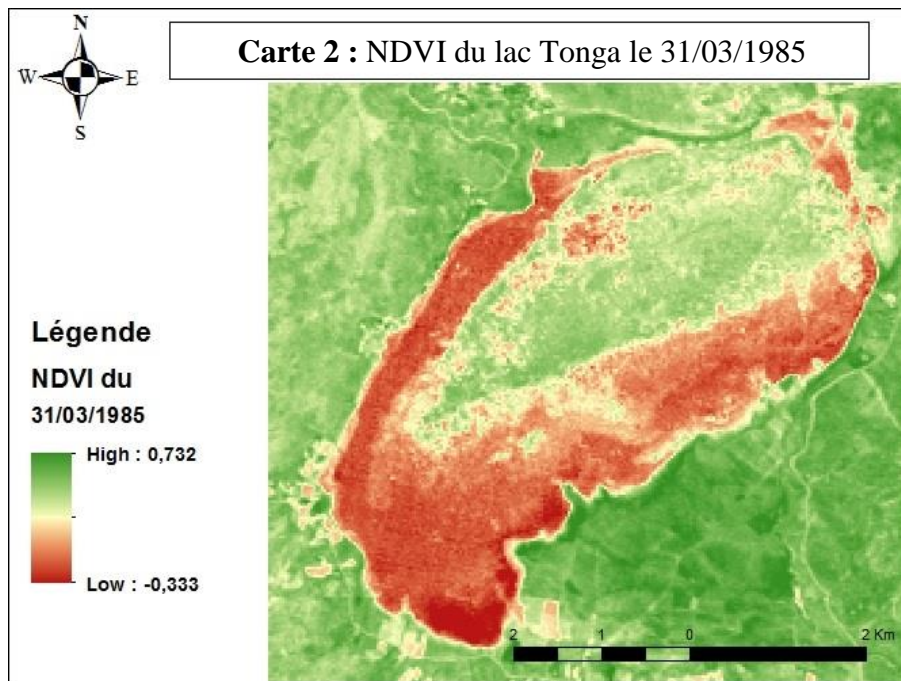
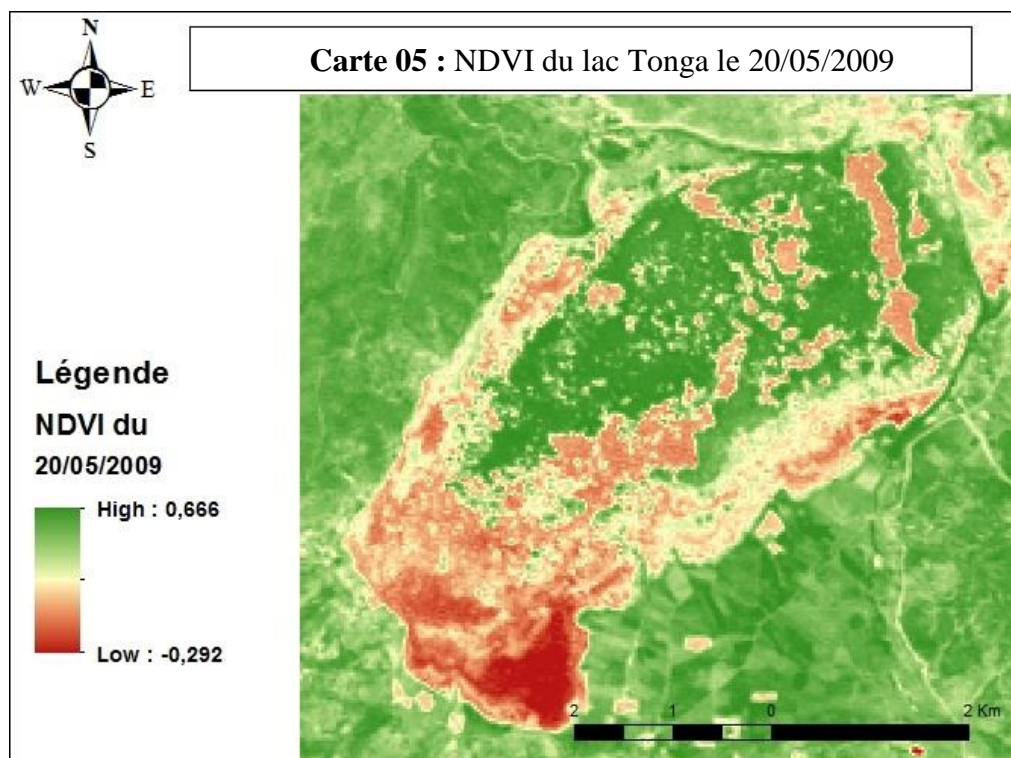
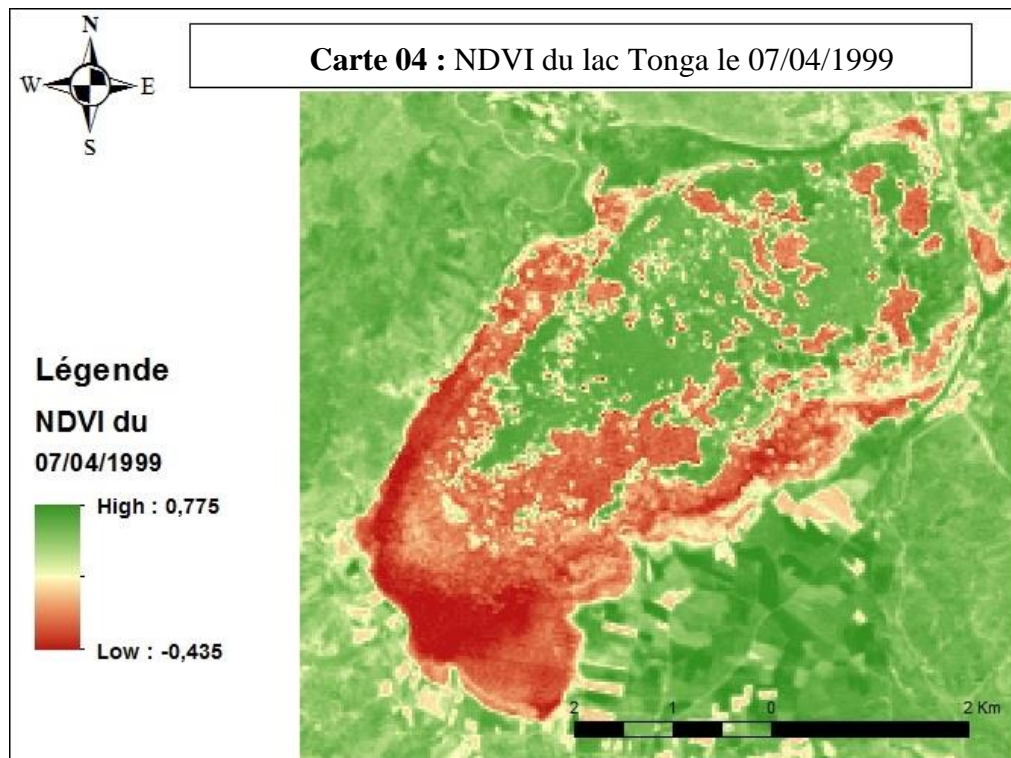


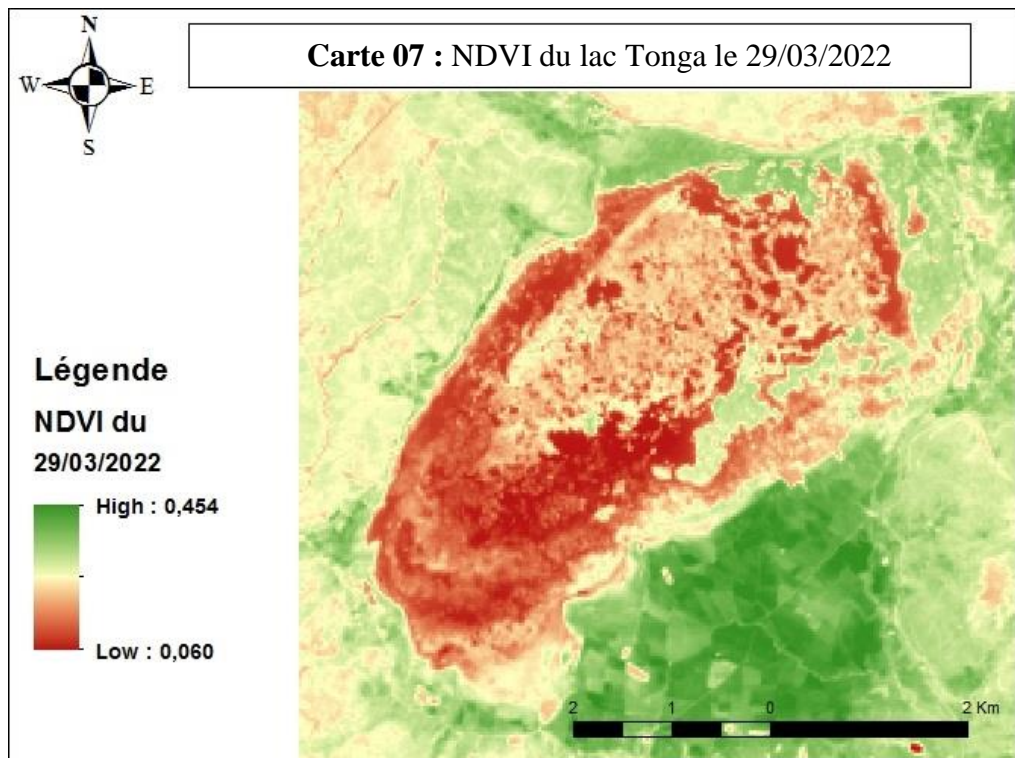
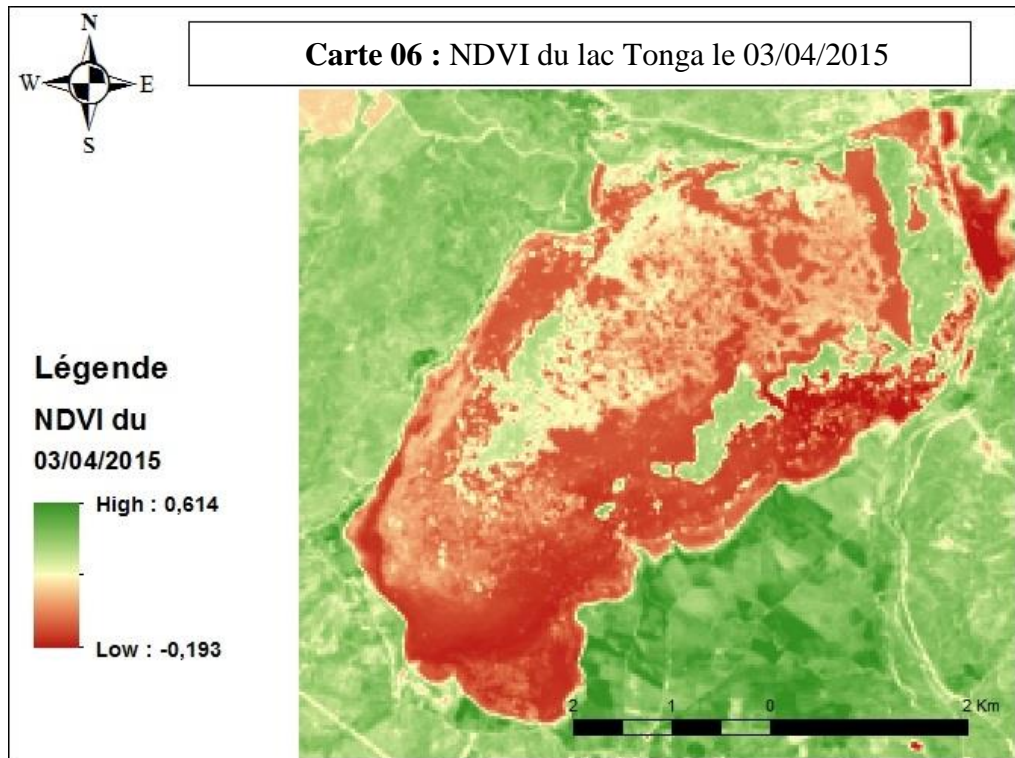
Figure 5 : Images satellites LANDSAT en composition infrarouge fausses couleurs.

1-2. Calcul de l'indice de végétation NDVI

Les résultats du calcul de l'indice de végétation NDVI pour chaque date sélectionnée, en tenant compte du masque de la zone d'étude, sont représentés par les cartes 2, 3, 4, 5, 6 et 7. Les valeurs de l'NDVI sont, généralement, comprises entre 0,775 et -0,435, où les valeurs les plus élevées représentent la végétation lacustre alors que les plus faibles correspondent à la surface d'eau libre du lac Tonga.



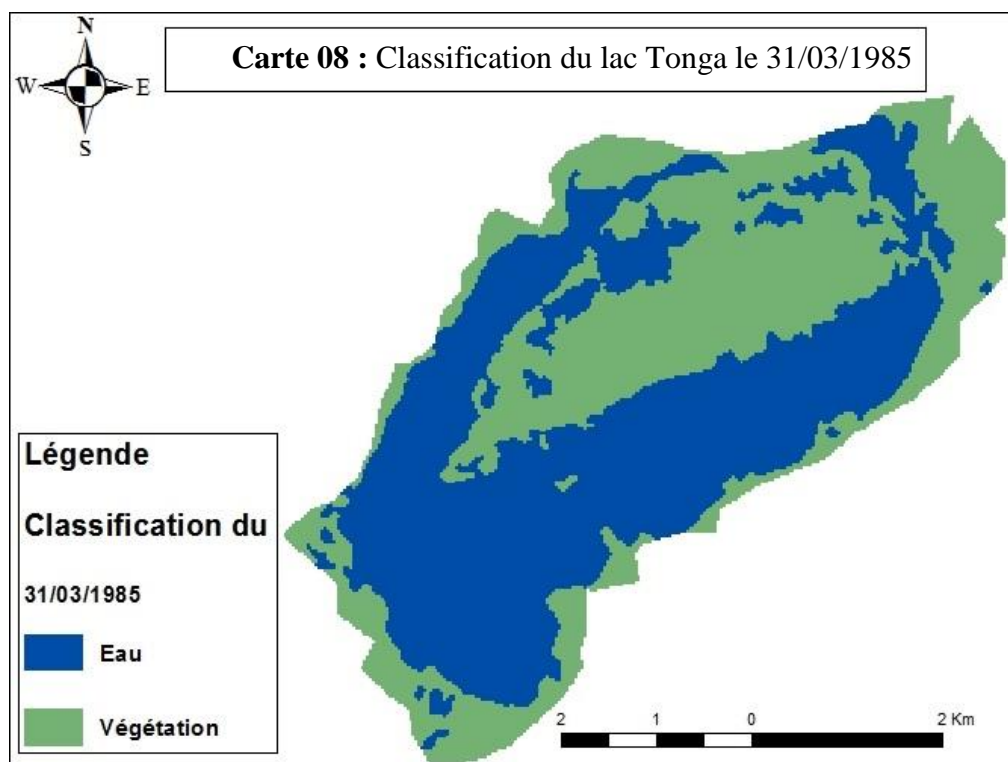




1-3. Classification supervisée des images de l'NDVI

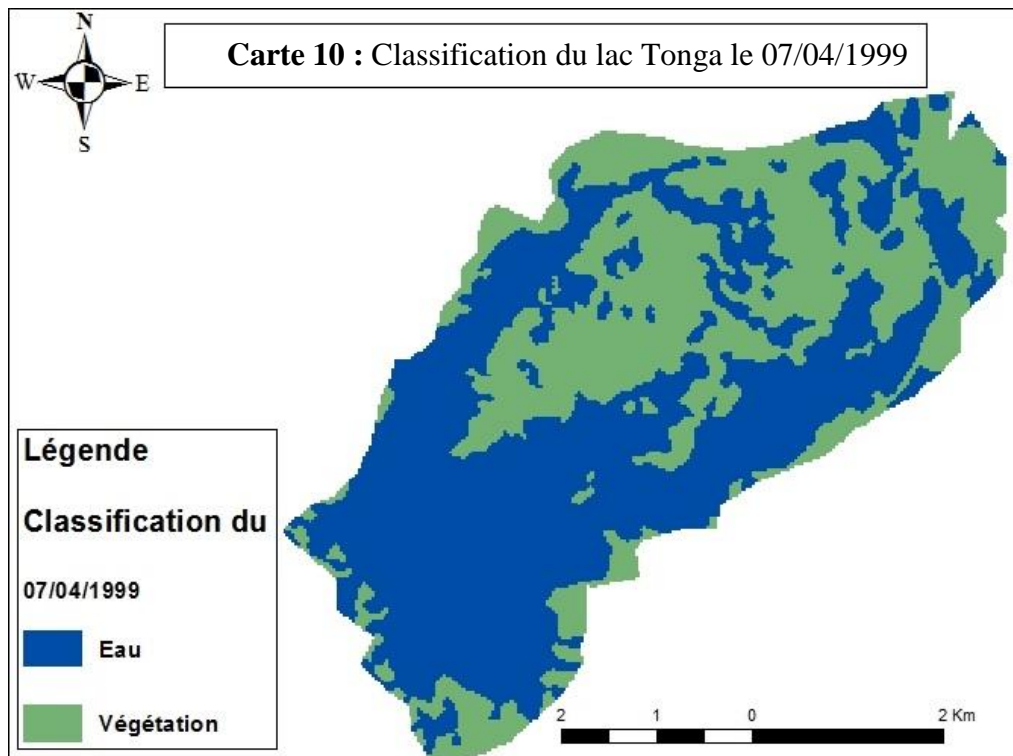
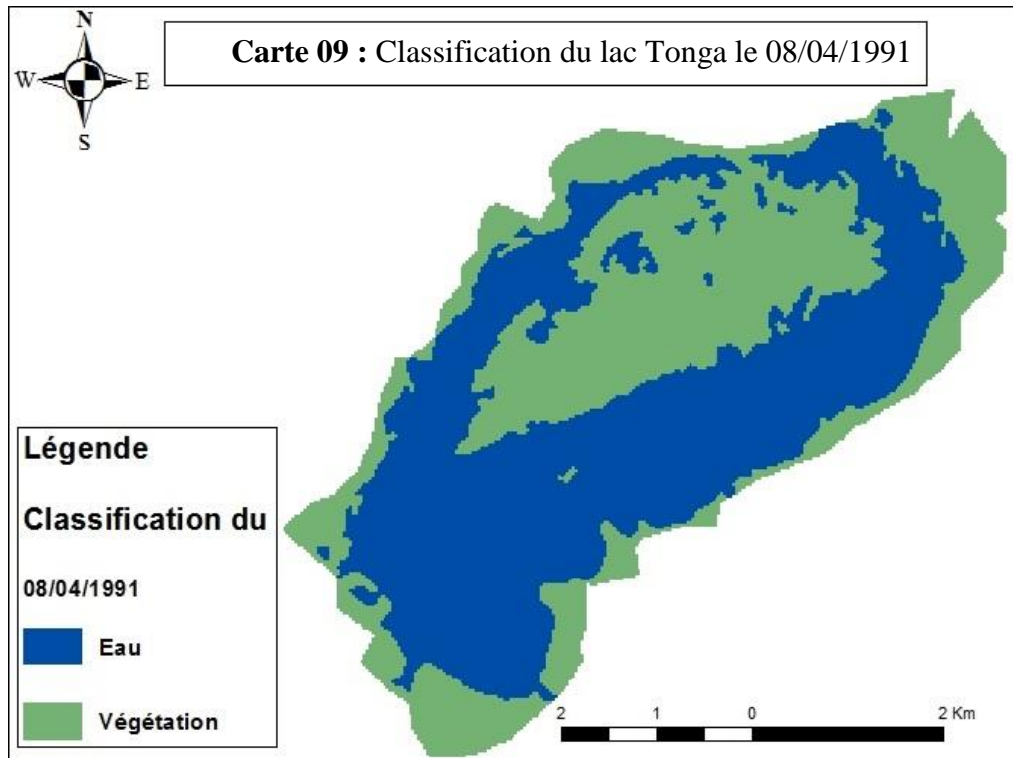
Le résultat de la classification supervisée de l'NDVI des images LANDSAT de 1985, 1991, 1999, 2009, 2015 et 2022 sont présentées dans les cartes de 8 à 13. Ce sont des images bien précises pour la différenciation entre les deux classes : l'eau et la végétation lacustre et peuvent fournir des informations sur le taux de recouvrement de la végétation au niveau du lac Tonga.

La limite du lac Tonga a été utilisée comme masque pour le découpage de l'image de classification.



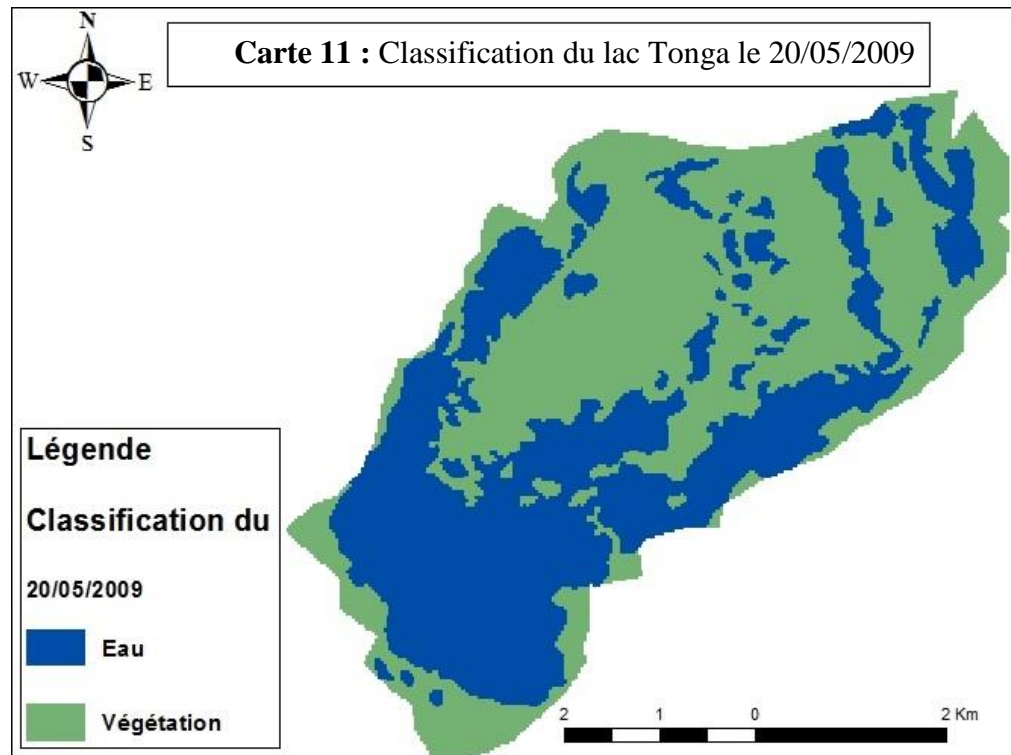
Concernant l'année 1985, la végétation lacustre occupe une surface de 1220,22 ha, tandis que la surface des eaux libres est de 1476,81 ha. On remarque que la majeure partie de la végétation se trouve dans la région Nord et Nord-Est du lac, avec une petite présence également dans la partie Sud-Ouest (Carte 8).

Pour l'année 1991, on remarque qu'il n'y a pas un changement considérable dans le taux de recouvrement de la végétation lacustre par rapport à 1985. Elle couvre 1230,12 ha soit une augmentation de seulement 9,9 ha (Carte 9).



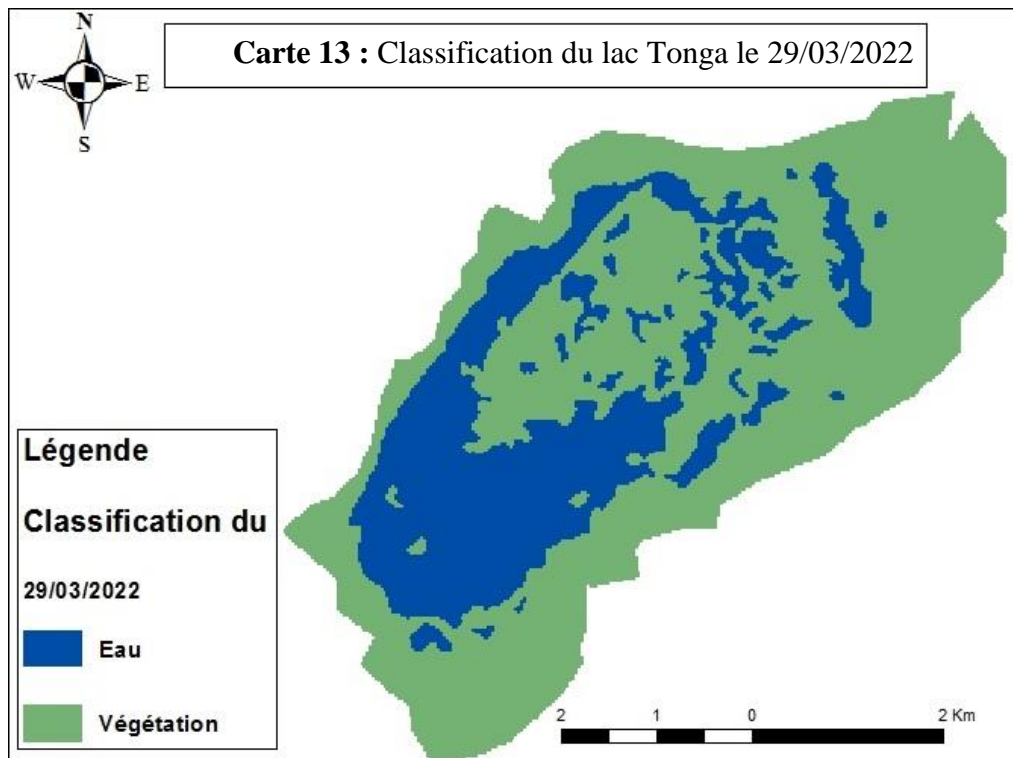
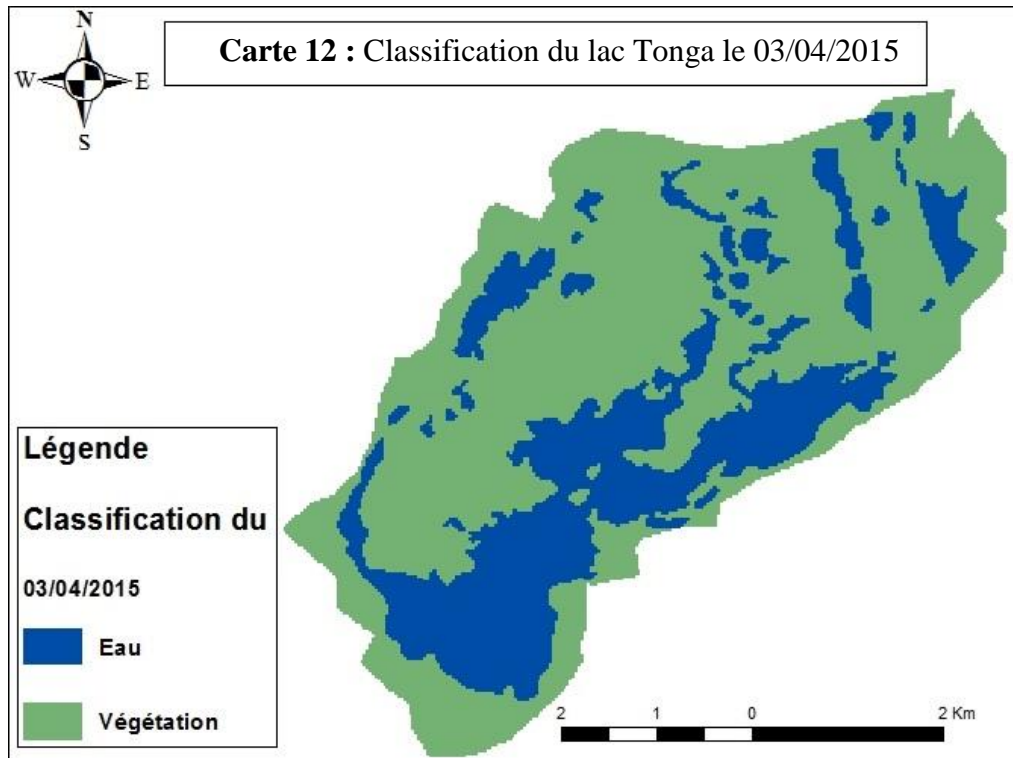
En 1999 la distribution de la végétation lacustre reste concentrée dans la partie septentrionale avec une légère présence dans la partie méridionale. Son taux de recouvrement présente une baisse de 112,69 ha par rapport à 1991, avec une surface de 1117,53 ha (Carte10).

Durant l'année 2009, la végétation occupe presque la totalité de la partie septentrionale, recouvrant une surface de 1466,10 ha, soit une augmentation de 348,57 ha (Carte 11).



Pour ce qui est de l'année 2015, on observe que la végétation s'est déplacée de la partie septentrionale vers la partie Sud. Son taux de recouvrement continu de progresser avec une augmentation de l'ordre de 395,64 ha, occupant ainsi une surface de 1861,74 ha (Carte 12).

Enfin, pour l'année 2022, on remarque que la végétation lacustre s'est étendue le long du pourtour du lac et occupe également une partie du centre avec une surface de 1860,57 ha. Son taux de recouvrement du lac est stable par rapport à 2015 (diminution de 1,17 ha) (Carte 13).



Les surfaces de la végétation lacustre et des eaux libres du lac Tonga, issues de la classification supervisées de l'NDVI des différentes dates, sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Les surfaces d'eau libre et de végétation du lac Tonga (période 1985-2022).

Dates	31/03/1985	08/04/1991	07/04/1999	20/05/2009	03/04/2015	29/03/2022
Eau (ha)	1476,81	1466,91	1579,50	1230,93	835,29	836,46
Végétation (ha)	1220,22	1230,12	1117,53	1466,10	1861,74	1860,57

2. Discussions

Afin de faciliter la compréhension des résultats obtenus, un graphe a été créé pour illustrer les variations entre les surfaces d'eau et de végétation pour chaque année sélectionnée de la période d'étude. Cette visualisation permet de visualiser clairement les changements de proportion entre les deux classes au fil des ans (Figure 6).

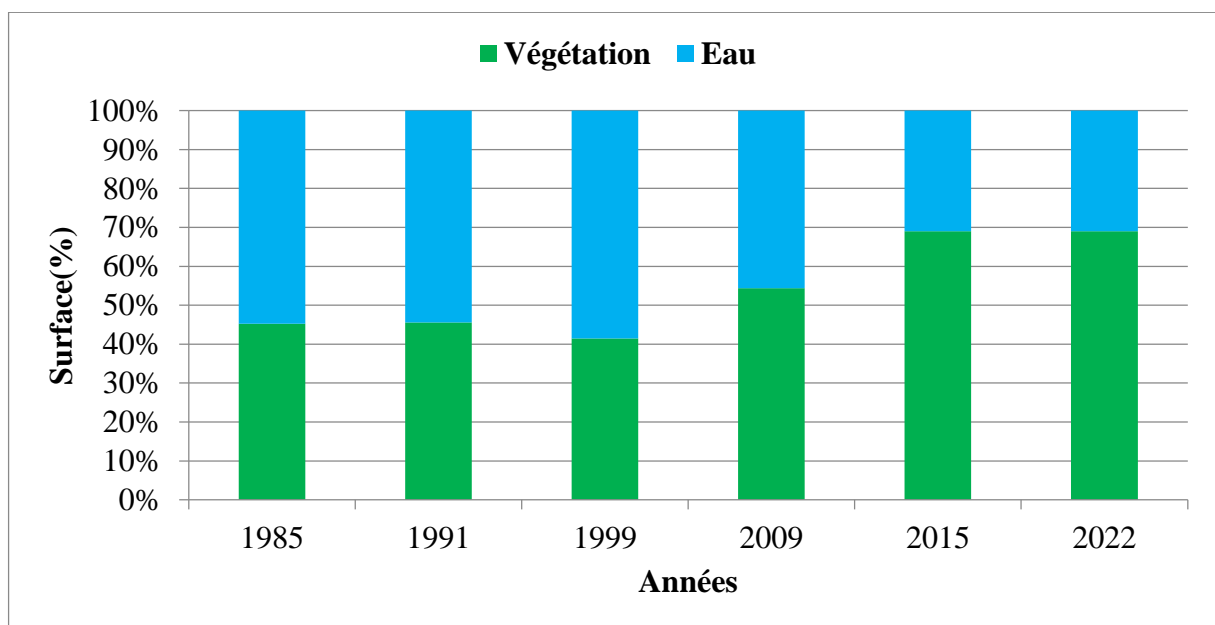


Figure 6 : Evolution du taux de recouvrement de la végétation lacustre au niveau du lac Tonga (Période 1985-2022).

De 1985 à 1999, il est observé qu'il n'y a pas un changement significatif dans la superficie de la végétation (variation inférieure à 4% de la surface du lac Tonga), et la surface d'eau libre reste supérieure à celle couverte par la végétation.

Pendant la période de 1999 à 2009, une évolution de la superficie de la végétation est observée, avec une augmentation de la surface de végétation dépassant celle de l'eau (augmentation du taux de recouvrement du lac par la végétation de 13%).

Entre 2009 et 2022, la végétation continue de croître et s'étendre avec un taux de couverture du lac Tonga avoisinant les 69% (Figure 6).

Au cours de la période d'étude s'étendant sur 37 ans (1985-2022) la végétation du lac Tonga a connu une expansion significative en termes de superficie. En 1985, sa couverture végétale représentait environ 39,91% de la surface totale du lac, tandis que qu'en 2022, elle a été estimée à environ 69,16% (Figure 6). Cette augmentation démontre une évolution notable de la végétation lacustre au fil des années, soulignant l'importance des changements écologiques survenus dans cet écosystème spécifique.

3. Evolution de la végétation du lac Tonga au cours des années

Le lac Tonga est occupé par une végétation très diversifiée, et très variable selon les saisons et la situation géographique. En effet, sur le lac on note l'évolution par dominance de certaines formations végétatives au cours des années (1999-2023).

3-1. Les espèces aquatiques

Au niveau de la périphérie Nord du lac se développe une formation naturelle relique d'aulnes glutineux *Alnus glutinosa* d'ormes *Ulmus campestris*, et *laurus nobilis*. Les études pédologiques au sein de cette aulnaie ont confirmé qu'elle est en train d'évoluer en tourbière (Draïdi, 2014).

Cette aulnaie est prolongée au Nord-Ouest par l'arboretum du Tonga formé par des plantations de peuplier de Virginie *Populus virginica*, peuplier blanc *Populus alba*, peuplier noir *Populus nigra*, d'*Acacia melanoxylon* et de cyprès chauve *Taxodium distichum* (Draïdi, 2014).

Ces plantations exotiques ont parfaitement réussi à s'adapter au milieu doué d'un climat quasi-tropical (Draïdi, 2014).

Au Sud de l'aulnaie se trouve la spectaculaire saulaie du Tonga formée de plus de 6 espèces de saules : *Salix alba*, *Salix nigra*, *salix pedicellata*, *salix cinerea*, *salix triandra*.

Les scirpes lacustres *Scyrrpus lacustris*, cette espèce héliophyte se cultive au bord du lac en présence du soleil avec une croissance rapide.

Les phragmites (*Typha angustifolia*) espèce d'un fort pouvoir de colonisation, bien qu'elle aime l'humidité et supporte la sécheresse passagère.

L'iris (*Iris Pseu-doaccoru*) qui pousse mieux en été lorsque le lac sera séché par évapotranspiration ce qui lui permet de l'envahir rapidement dans l'eau peu profonde et humide (Draïdi, 2014).

3-2. La flore immergée envahissante

Elle est essentiellement formée de Potamots (*Potamogeton trichoïdes*) abondant aux abords du lac (Draïdi, 2014).

3-3. La végétation de forêts envahissante

La végétation des forêts est composée principalement par le chêne liège *Quercus suber* qui est rencontré à certains endroits, soit mélangés, soit totalement supplantés par les pins maritimes *Pinus maritimus* (Draïdi, 2014).

Au Nord du lac, se développe une aulnaie qui est composée de cyprès chauves, aulnes glutineux, ormes champêtres (Draïdi, 2014).

Ces espèces se distinguent par leur adaptation aux milieux humides et régulièrement inondés tels que le lac Tonga. Cette vaste formation a réussi à s'adapter de manière exceptionnelle (Draïdi, 2014) et à créer une couverture végétale envahissante du lac.

Durant un stage de terrain effectué à El Kala en mai 2022, lors de notre passage au lac Tonga nous avons constaté une prolifération importante de la végétation surtout au niveau de la rive nord du lac, par rapport aux années précédentes. Les résultats du traitement des images satellitaire sur une période de 37 ans confirment notre impression concernant la prolifération de la végétation qui colonise de plus en plus le lac Tonga.

Conclusion

Conclusion

Avec une superficie de 2700 ha, le lac Tonga occupe une position prépondérante parmi les sites importants des zones humides en raison de sa biodiversité floristique et faunistique selon le site Ramsar. Ce site situé dans la région nord-est de l'Algérie abrite une diversité de végétation, d'alimentation et de protection pour de nombreuses espèces migratrices.

L'utilisation de la télédétection et du système d'information géographique (SIG) nous a permis d'avoir des informations précises dont l'objectif est de déterminer l'évolution spatiotemporelle des couverts végétaux lacustres et de suivre l'occupation de l'eau du lac Tonga sur une période de 37 ans.

Les cartes établies par cette étude ont révélé que la végétation se déplace dans l'espace et le temps, tandis que certaines espèces envahissent le lac, ce qui conduit à l'augmentation de la surface couverte par cette végétation au détriment des eaux libres du lac.

Pendant la période allant de 1999 à 2009, une évolution de la superficie de la végétation est observée, avec une augmentation de la surface de végétation dépassant celle de l'eau. Cependant, entre 2009 et 2022, la végétation continue de croître et s'étendre avec un taux de couverture du lac Tonga avoisinant les 69%.

Ces espèces envahissantes se propagent rapidement et de manière incontrôlée, entraînant une diminution de la quantité d'eau disponible et pouvant avoir des conséquences néfastes sur la biodiversité. Elles peuvent évincer les espèces indigènes, altérer les habitats naturels et perturber l'équilibre écologique du lac. Ce qui demande la mise en place de programme de gestion et de surveillance pour la préservation du lac et sa biodiversité.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Azizi H.A. Zellagui A.L. (2020).** Analyse cartographique de l'impact des engrais et produits phytosanitaires sur la production de blé dur : cas de la wilaya de Constantine. Mémoire de master, Université des Frères Mentouri Constantine, 60p.
- **Benkhelfi R., Bouchachoua K. (2021).** Etude diachronique de la végétation forestière dans la wilaya de Sétif. Mémoire de master, Université des Frères Mentouri Constantine, 57p.
- **Bentouili M. (2007).** Inventaire et qualité des eaux des sources du parc national d'El-kala. Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar Annaba, 134p.
- **Djaaboub S. (2008).** Etude de la végétation du lac bleu (parc national d'El Kala) phytoécologie, phytosociologie et cartographie. Mémoire de magister, Institut national agronomique El Harrach-Alger, 125p.
- **Draïdi K. (2014).** Le Fuligule nyroca (*Aythya nyroca*) dans le lac Tonga (Nord-est de l'Algérie) : Etude du budget temps, stratégie d'hivernage et étude de l'écologie parasitaire. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba, 188p.
- **Emberger L., 1942.** Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique. Bull. Sci. Hist. Nat. Toulouse, 77 : 97-124.
- **Hamouda S., Taher A. (2012).** Apport de l'analyse spatiale dans le suivi du couvert végétal du parc national d'El Kala, (Algérie) ,25(59-70), 12p.
- **Maghni S., (2013).** Contribution à l'étude de l'écologie de la reproduction de l'Erismature à tête blanche (*oxyura leucocephala*) au niveau du lac Tonga(Guelma). Mémoire de Master, Université de 8 mai 1985 Guelma, p27, p28.
- **Saïfouni A., Bellatreche M., Chebouti N. (2020).** Identification et cartographie des habitats naturels du lac Tonga (El Kala, Algérie) ,10 (1), 11p.

Sites web :

- Esri. Définition de U.S. Geological Survey | Dictionnaire SIG, [https://support.esri.com/fr-fr/gis-dictionary/udot-sdot-geological-survey](https://support.esri.com/fr/fr/gis-dictionary/udot-sdot-geological-survey) ; 5/6/2023.
- Réserve intégrale du lac Tonga/ Service d'information sur les sites Ramsar (rsis.ramsar.gov), <https://rsis.ramsar.org/fr/ris/281> ; 03/04/2023.
- NASA (.gov), (2013) – Landsat5, <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>; 11/06/2023
- NASA (.gov), (2013) – Landsat8. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-8/>; 11/06/2023
- United States Geological Survey (.gov). Landsat 5 U.S. Geological Survey, <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5> ;11/6/2023.
- United States Geological Survey (.gov). Landsat8 | U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8> ; 16/6/2023. <https://gisgeography.com> ;15/6/2023 .
- Go botany Native Plant Trust 2023- yellow Iris, <https://gobotany.nativeplanttrust.org/> ; 15/04/2023.
- Go botany Native Plant Trust (2023) - Glyceria fluitans, <https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/glyceria/fluitans/>;12/06/2023 .
- Atlas of Florida plants(2023) -Marsilea minuta, <https://florida.plantatlas.usf.edu/photo.aspx?ID=13842>;20/5/2023
- Plantsforponds.co.uk(2023)-nénuphar d'alba, <https://plantsforponds.co.uk/products/nymphaea-alba>; 10/6/2023
- PlantNet26 mars 2021- Tamarix gallica L, <https://identify.plantnet.org/the-plant-list/observations/1009865542> ; 15 juin 2023.
- Au jardin.info2023-Oenanthe aquatique, Fenouil aquatique, Ciguë aquatique, <https://www.aujardin.info/plantes/oenanthe-aquatica.php>; 15 juin 2023.
- Conservatoire d'espaces naturels, zone humide, <https://reseau-cen.org/fr/les-operations-nationales/mon-cahier-d-activites-nature-par-les-conservatoires-d-espaces-naturels-0> ;08/6/2023.
- Ooreka.renouée amphibie, <https://jardinage.ooreka.fr/plante/voir/970/renouee-amphibie>; 15/6/2023.

- Grims S., (2014).plan de gestion de l'aire marine du parc national d'El Kala(Wilaya d'El Taref). <https://www.yumpu.com/fr/document/view/30754956/plan-de-gestion-del-kala-medmpa-rac-spa>; 7/6/2023

Résumés

Résumé

Le lac Tonga abrite une biodiversité floristique et faunistique exceptionnelle, ce qui en fait un site protégé et une partie intégrale du parc national d'el Kala. Cependant, sa végétation a été peu étudiée jusqu'à présent. Cette étude a pour objectif d'analyser l'évolution de la végétation du lac Tonga sur une période de 37 ans, de 1985 à 2022, en utilisant les méthodes de traitement informatique de données géographiques provenant de la télédétection et de la cartographie. Les résultats obtenus mettent en évidence les changements spatiotemporels de la végétation. Cette méthode s'appuie sur la classification des valeurs de l'NDVI, qui permet de distinguer la végétation lacustre de l'eau libre du lac Tonga.

Mots clés : Evolution, Végétation lacustre, Lac Tonga, Télédétection, NDVI.

ملخص

تحتوي بحيرة طونغا على تنوع بيولوجي نباتي وحيواني استثنائي، ما جعلها موقع محمي وجزء لا يتجزأ من حظيرة القالة الوطنية، ومع ذلك لم ينل غطاؤها النباتي حظه من الدراسات الى يومنا هذا. تعتبر هذه الدراسة تحليل لتطور النبات الموجود في بحيرة طونغا في مدة 37 سنة من 1985 الى 2022 معتمدين فيها على تقنية المعالجة المعلوماتية، المعطيات الجغرافية، الخرائط والاستشعار عن بعد النتائج المتحصل عليها تسلط الضوء على التغيرات الزمنية للنبات. وهذه المنهجية تعتمد على تصنيف قيم NDVI التي تسمح بتمييز الغطاء النباتي عن الماء.

الكلمات المفتاحية: بحيرة طونغا، تنوع بيولوجي، غطاء نباتي، الاستشعار عن بعد،

Abstract

The lake of Tonga contains an exceptional biological diversity floristic and faunistic making it a protected area and essential part of the national park of Kala. However this vegetation has been studied just few times until now. The purpose of this study is to examine the evolution of the vegetation of Tonga's lake in 37 years, from 1985 to 2022 by using the computer processor, geographic data remote-sensing and maps. The results obtained identify the spatiotemporal change of the vegetation. This method is based about the classification of the NDVI values which allows to distingue the lacustrine vegetation of the open water of Lake Tonga.

Key words: evolution, lake vegetation, Tonga's lake, NDVI.

Année universitaire : 2022-2023

**Présenté par : LOUNIS Rahil et
MECHEHER Aya Nour**

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en protection des écosystèmes

Intitulé :

**Etude de l'évolution de la végétation lacustre par télédétection au
niveau du lac Tonga, Parc National d'El Kala**

Résumé

Le lac Tonga abrite une biodiversité floristique et faunistique exceptionnelle, ce qui en fait un site protégé et une partie intégrale du parc national d'el Kala. Cependant, sa végétation a été peu étudiée jusqu'à présent. Cette étude a pour objectif d'analyser l'évolution de la végétation du lac Tonga sur une période de 37 ans, de 1985 à 2022, en utilisant les méthodes de traitement informatique de données géographique provenant de la télédétection et de la cartographie. Les résultats obtenus mettent en évidence les changements spatiotemporels de la végétation. Cette méthode s'appuie sur la classification des valeurs de l'NDVI, qui permet de distinguer la végétation lacustre de l'eau libre du lac Tonga.

Mots-clefs : Evolution, Végétation lacustre, Lac Tonga, Télédétection, NDVI.

Laboratoires de recherche :

Laboratoire Développement et Valorisation des Ressources Phylogénétiques

(Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Encadreur : ARFA Azzedine Mohamed Touffik (MCB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Présidents : GANA Mohamed (MCB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur : ALATOU Hana (MAB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).