

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en  
Sciences de la Mer

Spécialité : Biodiversité et gestion des écosystèmes

### Thème

**Contribution à la prévention et à la gestion des feux de forêts dans  
le parc national d'El Kala (Nord Est de l'Algérie) par télédétection  
et leurs incidences sur le milieu marin**

Présenté par:

▪ **Louahem – M'sabah Ibtissem**

Soutenu publiquement le: 02 10 2023 devant le jury composé de:

Mme Meslem N	M.C.B	ENSSMAL	Présidente
Mme Ghalmi R	M.C.A	ENSSMAL	Examinatrice
Mme Maouel D	M C B	ENSSMAL	Examinatrice
Mme Benzouai. S.	M C B	ENSSMAL	Promotrice

Année universitaire: 2022-2023

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

**École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral**



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme du Master**

**Domaine : Sciences de la nature et de la vie**

**Filière : Hydrobiologie marine et continentale**

**Spécialité : Biodiversité et gestion des écosystèmes**

### **Thème**

**Contribution à la prévention et à la gestion des feux de forêts dans le parc national d'El Kala (Nord Est de l'Algérie) par télédétection et leurs incidences sur le milieu marin**

Présenté par:

▪ **Louahem – M'sabah Ibtissem**

Soutenue publiquement le: 02 10 2023 devant le jury composé de:

Mme Meslem N	M.C.B	ENSSMAL	Présidente
Mme Ghalmi R	M.C. A	ENSSMAL	Examinatrice
Mme Maouel D	M C B	ENSSMAL	Examinatrice
Mme Benzouai. S.	M C B	ENSSMAL	Promotrice

**Année universitaire: 2022-2023**

## *Remerciements*

Au terme de ce travail, je rends grâce à **Allah** le tout puissant pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté, jusqu'à l'aboutissement de mes études, et l'accomplissement de

Ce modeste travail.

Je remercie Madame **Benzouai**. S pour m'avoir encadrée sur ce sujet passionnant, pour sa confiance, sa bienveillance et sa disponibilité, Je la remercie pour ses encouragements et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire et surtout pour tout ce que j'ai appris avec elle.

Je remercie Madame **Maoual et Mme Fellah** pour leur disponibilité, leur encouragement et leur précieux conseils au cours de la formation du projet startup

Mes vifs remerciements vont aussi aux membres de jury qui nous font l'honneur de traiter mon travail

## *Dédicace*

À mon cher papa,

En hommage à ta persévérance, à ton amour inconditionnel et à ta sagesse qui ont illuminé mon chemin tout au long de ma vie, je dédie ce travail. Tu as été une source d'inspiration inestimable, un modèle de force et de détermination. Certes, tu nous as quittés physiquement, mais ton esprit demeure toujours présent à mes côtés les valeurs que tu m'as transmises continuent de me guider et de m'inspirer chaque jour.

Que cette humble réalisation puisse être le reflet de ma profonde gratitude envers toi. Ton soutien indéfectible et tes encouragements ont été les piliers de ma réussite. Puisses-tu trouver dans ces mots le témoignage de mon amour et de mon respect éternel.

À ma vie maman, et de l'Aménagement du Littoral

Ce travail réalisé avec passion et dévouement, est dédié à toi, ma source d'inspiration constante. Ta force, ton amour inconditionnel et tes sacrifices inestimables ont été les fondations de ma vie et de mes réussites. Chacun de mes pas est un témoignage de ton soutien indéfectible.

Que cette dédicace soit le symbole de ma gratitude profonde envers toi. Ton amour m'a toujours guidé et m'a donné la confiance nécessaire pour persévérer dans les moments difficiles.

A mes chers frères Aymen, Hamza, Ayoub qui m'avez toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance, le bonheur, la réussite et la santé.

A mes chers copines Rahma, Mountha, Zakia, Abri, salima, Amina, Lamis, Zina, et Thania merci pour votre précieuse amitié, encouragements et camaraderie.

## **Résumé**

Les feux de forêt comptent parmi les catastrophes qui provoquent le plus de dommage sur les écosystèmes forestiers et les communautés locales. Les incendies de forêt peuvent non seulement causer des dommages irréparables sur la biodiversité terrestre, mais également d'une manière indirecte sur le milieu marin.

Le parc national d'El Kala, situé au nord-est de l'Algérie, est une réserve mondiale de la biosphère qui est lui-même un sujet de cette catastrophe. Sa préservation à travers la prévention et la gestion efficace de ces incendies devient indispensable.

Ce travail met en évidence l'importance de la télédétection et des SIG dans la gestion des catastrophes dans le parc, en se concentrant sur les feux de forêt et leurs conséquences sur l'environnement marins, tout en soulignant la nécessité de mesures de prévention et d'alerte précoce pour minimiser les dommages.

Afin d'atteindre notre objectif nous avons suivi une démarche pour l'extraction des données de sortie modèles et satellitaires à partir du programme international Copernicus et un traitement des images Sentinel-2 avec des logiciels spécifiques au traitement de ces indices et paramètre de la qualité d'eau.

Notre étude a mis en évidence des variations significatives des paramètres de qualité de l'eau entre 2021 et 2022, indiquant un impact des incendies de forêt sur l'environnement aquatique.

Mots clés : les incendies des fortes, Parc National d'el-Kala, télédétection, SIG, Copernicus, données de sortie modèles, Sentinel-2, logiciel.

## **Abstract**

Forest fires are among the disasters that cause the most damage to forest ecosystems and local communities. Wildfires can not only cause irreparable damage to terrestrial biodiversity but also indirectly impact the marine environment.

El Kala National Park, located in northeastern Algeria, is a UNESCO Biosphere Reserve and is itself vulnerable to this disaster. Its preservation through effective fire prevention and management is crucial.

This work highlights the importance of remote sensing and GIS (Geographic Information Systems) in disaster management within the park, with a focus on wildfires and their effects on the marine environment. It emphasizes the need for prevention measures and early warning systems to minimize damage.

To achieve our objective, we followed a methodology for extracting output data from international programs like Copernicus and processed Sentinel-2 satellite images using specialized software for the analysis of these indices and water quality parameters.

Our study revealed significant variations in water quality parameters between 2021 and 2022, indicating the impact of forest fires on the aquatic environment.

Keywords: forest fires, El Kala National Park, remote sensing, GIS, Copernicus, output data models, Sentinel-2, software.

## ملخص

تعتبر حرائق الغابات من بين الكوارث التي تتسبب في أكبر قدر من الضرر على النظم البيئية في الغابات والمجتمعات المحلية. يمكن أن تتسبب حرائق الغابات ليس فقط في أضرار لا يمكن إصلاحها على التنوع البيولوجي البري، ولكن أيضًا بطريقة غير مباشرة على البيئة البحرية.

تقع الحديقة الوطنية إلكالا في شمال شرق الجزائر وهي محمية عالمية للمحيطات تكونت بذاتها موضوع هذه الكارثة. الحفاظ على هذه المحمية من خلال الوقاية وإدارة الحرائق بفعالية أصبح أمرًا ضروريًا.

يسلط هذا العمل الضوء على أهمية الاستشعار عن بعد وأنظمة المعلومات الجغرافية في إدارة الكوارث داخل الحديقة، مع التركيز بشكل خاص على الحرائق الغابية وأثارها على البيئة البحرية. كما يشدد على أهمية التدابير الوقائية وأنظمة التنبيه المبكر لتقليل الأضرار.

ومعالجة صور الأقمار Copernicus لتحقيق هدفنا، اتبعنا منهجًا لاستخراج بيانات الإخراج من برامج دولية مثل باستخدام برمجيات متخصصة لتحليل هذه المؤشرات ومعلومات جودة المياه Sentinel-2 الصناعية.

أظهرت دراستنا اختلافات كبيرة في معايير جودة المياه بين عامي 2021 و2022، مشيرة إلى تأثير حرائق الغابات على البيئة المائية.

كلمات مفتاحية:

، بيانات Copernicus: حرائق الغابات، الحديقة الوطنية إلكالا، الاستشعار عن بعد، أنظمة المعلومات الجغرافية، ، برمجيات Sentinel-2 الإخراج من،

## Table des matières

Remerciements .....	1
Dédicace .....	1
Résumé .....	1
Liste des abréviations .....	1
Liste des figure .....	1
Liste des tableaux .....	1
Introduction .....	1
1. Chapitre 01: généralités .....	6
1.1 État des ressources forestières dans la région méditerranéenne .....	6
1.2 Les surfaces forestières en Algérie .....	6
1.3 Historique des incendies de forêts en Algérie .....	7
1.4 Les surfaces incendiées par wilaya (période 1986-2005).....	7
1.5 les incendies de wilaya d`El-Tarf .....	8
1.5.1 Les feux du PNEK .....	8
1.6 Impact des feux de forêts sur l`écosystème forestier et le sol .....	10
1.7 L`impact des feux de forêts sur le milieu marin .....	10
1.8 Outils géomatiques .....	13
1.8.1 Définition de La télédétection .....	13
1.8.2 Spectre électromagnétique .....	13
1.8.3 Notions de résolutions .....	13
1.9 Imageries satellitaires .....	14
1.9.1 Sentinel 2 (S-2).....	14
1.9.2 Le programme Copernicus Open Access Hub .....	15
1.10 Le système d`information sur les incendies pour la gestion des ressources (FIRMS)	16
1.11 La télédétection et la gestion des feux .....	17
1.12 L`application de télédétection pour l`étude du milieu marin .....	17

1.13	Système d'information géographique (SIG) .....	17
1.13.1	Domaines d'application du SIG .....	17
1.14	Caractéristiques majeures physiques, chimiques et de qualité générale de l'eau.....	18
1.14.1	Matières en suspension totales (MES) .....	18
1.14.2	Turbidité .....	18
1.14.3	La Chlorophylle.....	20
2.	Chapitre 02 : Présentation de la zone d`étude.....	22
2.1	Situation géographique .....	22
2.2	Fiche descriptive .....	23
2.3	Histoire .....	24
2.4	Particularité de PNEK .....	24
2.5	Les Caractéristiques du Parc National D'El Kala .....	25
2.5.1	Hydrographie.....	25
2.5.2	Aperçu climatologique .....	27
2.5.3	La pluviométrie .....	27
2.5.4	La température.....	28
2.5.5	Les vents.....	28
2.5.6	Richesse naturelle.....	28
2.6	Composantes biotiques du PNEK.....	29
2.6.1	Patrimoine floristique.....	29
2.6.2	Patrimoine faunistique.....	30
3.	Chapitre 03 : Matériels et méthodes .....	32
3.1	Matériels utilisés.....	32
3.1.1	Données utilisées.....	32
3.1.2	Outils logiciel .....	33
3.2	Méthodes .....	33
3.2.1	Préparation des limites du PNEK.....	33

3.2.2	Calcul d'indices spectraux .....	34
3.2.3	Cartes d'occupation du sol pour l'année 2021 et 2022 .....	36
3.1	Outils logiciel .....	38
3.2	Méthode .....	39
3.2.1	Couleur côtière régionale de cas 2 (C2RCC) .....	39
4.	Chapitre 04 : Résultats et discussions .....	42
4.1	Identification des zones incendiées .....	42
4.1.1	Carte de Sévérité des brûlages (2022) .....	42
4.1.2	Carte de l'indice NDVI (2022) .....	43
4.1.3	Carte d'occupation du sol pour l'année 2021 et 2022 .....	44
4.2	Parite2 : Évaluation des variations de la qualité de l'eau de mer sur la côte du Parc: Analyse des impacts des années 2021 et 2022 .....	45
4.2	Analyse des Impacts de l'années 2021 .....	46
4.2.1	Chlorophylle-a .....	46
4.2.2	La MES .....	47
4.2.3	TURB .....	49
4.3	Analyse des Impacts des Années 2022 .....	51
4.3.1	Chlorophylle-a .....	51
4.3.2	La MES .....	53
4.3.3	La TURB .....	55
4.4	Implications écologiques .....	57
4.4.1	La chlorophylle-a .....	57
4.4.2	La MES .....	58
4.4.3	La turbidité .....	59
5.	Conclusion .....	62
	Références bibliographique .....	65
	Annexes .....	71

## Liste des abréviations

**1C** : ortho-rectifié sans correction atmosphérique

**C2RCC** : Couleur côtière régionale de cas 2

**CCT** : Centre canadien de télédétection

**Chl** : chlorophylle

**EOS** : Système d'observation de la Terre

**ESA** : Agence Spatiale Européenne

**FIRMS**: Le système d'information sur les incendies pour la gestion des ressources

**MES** : Matières totales en suspension

**NASA** : Administration Nationale Spatiale et Aéronautique

**NBRI** : L'indice de ratio de brûlure normalisé

**NDVI** : L'indice de végétation par différence normalisée

**NIR** : Proche infra rouge

**PNEK** : Parc National d'El-Kala

**R** : la réflectance dans la bande du rouge.

**S-2** : Sentinel-2

**SIG** : Système d'information géographique

**SWIR** : Infra rouge à courtes longueurs d'ondes

**TURB**: turbidité

**ZET** : zones d'expansion touristique

## Liste des figure

Figure 1:Superficies forestières brûlées en Algérie en 1000 ha (1963-2015) ( <b>Meddour ; 2008</b> ). .....	7
Figure 2 : Le nombre de feux par wilaya, période1986-2005 ( <b>DGF ; 2005</b> ).....	8
Figure 3: Fréquence annuelle des incendies du Parc National d`El-Kala (Périodes 2006-2022) .....	8
Figure 4: Évolution de la Superficie : des tendances exceptionnelles de 2008 à 2022" .....	9
Figure 5: Le programme Copernicus Open Access Hub.....	16
Figure 6: Le programme FIRMS.....	16
Figure 7: Transmission des différentes radiations solaires en fonction de leurs longueurs d`onde $\lambda$ et de la profondeur dans trois types de milieux ( <b>J Brusle ; 2004</b> ).....	19
Figure 8 : Situation géographique de la zone d`étude du parc national d`El Kala.....	22
Figure 9: Représentation graphique du réseau hydrographique du Parc National D`El Kala ( <b>Bentouili et Yassine ; 2007</b> ) .....	27
Figure 10: Organigramme représentatif des étapes de calcul des indices.....	34
Figure 11:le programme sentinelle 2 land cover explorer.....	37
Figure 12: Carte géographique du littoral du PNEK et les stations choisi pour l`étude. ....	40
Figure 13: Composition colorée de PNEK, pré-incendie et post-incendie de l`été 2022 .....	42
Figure 14: carte de la sévérité des brûlages des incendies des fortes de 2022.....	43
Figure 15: Carte de l`indice de végétation par différence normalisée (NDVI) du PNEK 2022. .....	44
Figure 16 : Carte d`occupation du sol du PNEK 2021-2022 .....	45
Figure 17 : Analyse visuelle des changements de concentration de Chl-a avant et après les incendies de 2021, en comparaison avec l'année de référence 2018, à l'aide de couleurs. ....	46
Figure 18:Variation des concentrations de la chlorophylle avant-après les incendies de l`année 2021 comparaitre par l`année de référence 2018. ....	47
Figure 19: Analyse visuelle des changements de concentration de MES avant et après les incendies de 2021, en comparaison avec l'année de référence 2018.....	48
Figure 20:Variation des concentrations de la MES avant-après les incendies de l`année 2021 comparaitre par l`année de référence 2018. ....	48
Figure 21: Analyse visuelle des changements de concentration de TURB avant et après les incendies de 2021, en comparaison avec l'année de référence 2018, à l'aide de couleurs. ....	50

Figure 22:Variation des concentrations de la turbidité avant-après les incendies de l'année 2021 comparaitre par l'année de référence 2018 .....	50
Figure 23: Analyse visuelle des changements de concentration de Chl-a avant et après les incendies de 2022, en comparaison avec l'année de référence 2018.....	52
Figure 24:Variation des concentrations de la chl-a avant-après les incendies de l'année 2022 comparaitre par l'année de référence 2018. ....	52
Figure 25: Analyse visuelle des changements de concentration de MES avant et après les incendies de 2022, en comparaison avec l'année de référence 2018.....	54
Figure 26:Variation des concentrations de la MES avant-après les incendies de l'année 2022 comparaitre par l'année de référence 2018. ....	54
Figure 27: Analyse visuelle des changements de concentration de TURB avant et après les incendies de 2022, en comparaison avec l'année de référence 2018.....	56
Figure 28:Variation des concentrations de la turbidité avant-après les incendies de l'année 2022 comparaitre par l'année de référence 2018. ....	56

## Liste des tableaux

Tableau 1: Classification du Parc National d'El Kala.....	24
Tableau 2: Sites humides d'El Kala (Tarf- Algérie), inscrit sur la liste des zones humides d'importance internationale de la convention de Ramsar, ( <b>Liste Ramsar ; 2016</b> ). .....	26
Tableau 3: La richesse des familles représentant la flore du PNEK. ( <b>Benyacoub et al; 1998</b> ). .....	30
Tableau 4:Données raster Sentinel-2 utilisées ( <b>Copernicus ; 2023</b> ).....	33
Tableau 5: Degrés de sévérité obtenus en calculant le $\Delta$ NBR, proposés par l'USGS.....	35
Tableau 6: Données raster Sentinel-2 modes 1c utilisées ( <b>Copernicus ; 2023</b> ).....	38

***INTRODUCTION  
GENERALE***

### **Introduction**

L'Algérie est touchée par quatorze risques majeurs et les moyens de gestion de ces catastrophes sont limités et souvent insuffisants. Les principaux risques peuvent être divisés en deux catégories. La première concerne les catastrophes naturelles comme les tremblements de terre, les glissements de terrain, les inondations, les feux de forêt, les tempêtes et vents violents, la sécheresse et les invasions acridiennes. La seconde comprend les catastrophes technologiques, les incendies-explosions, la pollution, les risques biologiques ainsi que les accidents aériens, maritimes, ferroviaires et routiers. Ces risques sont gérés par des moyens hautement réglementés et par des techniques susceptibles d'éliminer les risques mettant en danger les personnes, les biens et l'environnement. **(Belhadj et Smara,2006)**

Bien que les catastrophes naturelles soient inévitables, il est possible de minimiser leur impact en élaborant des stratégies d'alerte précoce à l'aide de la télédétection et des technologies des Système d'Information Géographique (SIG). La préparation et la mise en œuvre de plans pour assurer la résilience face à ces catastrophes sont également importantes, tout en cherchant à faciliter la réhabilitation et les séquelles de la catastrophe **(Belhadj et Smara,2006)**

Dans cette optique, les techniques spatiales jouent un rôle crucial dans la gestion efficace des catastrophes. En effet, la télédétection et les SIG jouent un rôle important dans le développement de stratégies appropriées pour la gestion des catastrophes, notamment par la mise en place d'un cadre technique et professionnel pour le suivi, l'évaluation et l'atténuation de ces catastrophes.

Ces dernières années, les données issues des satellites d'observation de la terre associées aux différents types d'information liées à ce phénomène intégrées dans un système d'information géographique se sont avérées comme une option viable de suivi des urgences, d'identification des zones à risque et de cartographie de l'étendue des feux **(Arfa ;2019)**

En Algérie, chaque année plus de 36.000 hectares de forêts sont détruits par les feux. En général les incendies de forêt sont plus courants pendant l'été en raison d'une combinaison de facteurs. Néanmoins, il y'a également un risque accru en fin d'hiver et au début du printemps notamment dans le massif landais ou dans les zones de moyenne montagne. **(Arfa et al; 2009)** Les incidences coûtent beaucoup en termes de vies humaines et en biens. Dans cette étude, nos préoccupations se sont orientées vers l'historique des feux de forêts et l'impact de ces incendies

sur les écosystèmes marins dans le pays. La prévention et l'alarme précoce constituent les seuls moyens de réduire le coût des dégâts causés. (Arfa; 2019)

Les indicateurs essentiels qui favorisent les feux sont principalement le déclenchement (Chaleur, absence de précipitation, pyromane. Etc.), la rapidité de propagation (nature du terrain de la végétation, humidité) et l'orientation des vents et l'absence d'obstacles naturels (rivières) ainsi que les paramètres géographiques de la région, qui guident la mise en place de plans d'intervention en temps réel à savoir :

- La topographie (terrain accidenté ou non) ;
- Les accès (réseaux routiers pistes) ;
- Les agglomérations (les habitants, les sites stratégiques). (Belhadj et Smara; 2006)

Les feux de forêt ont des effets remarquables sur les écosystèmes terrestres et même les écosystèmes marins. (ST-ONGE; 2001) Les flammes peuvent endommager les écosystèmes forestiers en détruisant la couverture végétale et en perturbant les cycles naturels de la croissance et de la reproduction des espèces. Les incendies de forêt peuvent perturber le cycle de l'eau en réduisant la capacité des sols à retenir l'eau, ce qui peut entraîner des inondations et des glissements de terrain. (ST-ONGE; 2001)

Sur le milieu marin, les feux de forêt peuvent avoir des conséquences indirectes en contribuant à la pollution des océans. Les cendres et les sédiments charriés par les rivières et les cours d'eau après les incendies peuvent entraîner une prolifération d'algues et d'autres organismes qui consomment de l'oxygène, réduisant ainsi la qualité de l'eau et menaçant la vie marine. Les feux de forêt peuvent également avoir des effets directs sur la faune marine en perturbant les habitats côtiers et les estuaires, où de nombreuses espèces de poissons, d'oiseaux et de mammifères marins se reproduisent et se nourrissent. (ST-ONGE; 2001)

Plusieurs études scientifiques ont mis en évidence les impacts des feux de forêt sur l'écosystème marin. Une étude menée sur le large des côtes sud-américaines a montré une prolifération sans précédent d'algues marines alimentées par les cendres des incendies ou plus exactement par des aérosols. Ces minuscules particules de fer sont produites lorsque les arbres et les broussailles brûlent. Assez légers pour être transportés par la fumée pendant plusieurs jours, ils ont fini leur course dans l'océan Austral, où ils ont fertilisé l'eau grâce aux nutriments qu'ils transportent, générant ainsi d'immenses étendues d'algues.

Dans le sillage des gigantesques incendies qui ont rasé de vastes étendues de terres australiennes affaiblies par la sécheresse, les scientifiques craignent que lorsque la pluie finira par tomber, elle vienne charrier les débris carbonisés dans les rivières, à travers les barrages et jusqu'à l'océan en tuant la faune et peut-être même en contaminant les réserves d'eau potable de grandes villes comme Sydney. **(Pickrell; 2022)**

Une synthèse des connaissances menée en France en 2022 montre les effets physiques du changement climatique provoqué par des changements dans les conditions hydrologiques et météorologiques (cycle de l'eau, accentuation des sécheresses ou des épisodes de pluies diluviennes, etc.) et perturbent les écosystèmes (feux de forêts, évolution des dates de migration de certains oiseaux, acidification des océans et dégradation des récifs **(Toussaint; 2021)**).

Le parc national d'El Kala (PNEK) situé au nord-est de l'Algérie à 70 km de la ville d'Annaba et limitrophe à la Tunisie, est l'un des plus grands parcs nationaux d'Algérie. Il comprend plusieurs ensembles naturels et variés comme des lacs, montagnes, et rivières ainsi qu'une grande façade maritime. **(Le Parc National d'El-Kala en Algérie (algerie-monde.com))**. On y trouve également une faune et une flore riches et variées, avec de nombreuses espèces endémiques et menacées.

Malheureusement, comme est le cas de nombreux parcs nationaux, il est sujet aux feux de forêt, qui peuvent causer des dégâts importants aux écosystèmes et à la faune locale. Les feux de forêt sont un problème sérieux pour le parc d'El Kala, car ils peuvent se propager rapidement et détruire de vastes zones de forêt en peu de temps. Les causes des incendies peuvent être multiples, notamment les activités humaines telles que les feux de camp ou la négligence des fumeurs.;

Ce travail de fin d'étude vise à l'évaluation de l'état avant et après les feux de forêt survenus en aout 2022 sur le Parc National d'El-Kala dans la wilaya d'El Tarf. Cette étude a comme objectif spécifique l'exploration de l'impact des incendies sur l'environnement marin. Cette étude s'appuie sur une analyse spatiale et cartographique basée sur les données de télédétection. L'intérêt est de permettre aux décideurs de prévoir les mesures nécessaires et suffisante pour atténuer les impacts des incidences sur l'écosystème marin du PNEK. Pour cela, notre travail est structuré en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons présenté d'une manière générale l'état des ressources forestières dans la région méditerranéenne, la problématique des feux de forêts en Algérie, ainsi

que l'impact des feux sur la régénération forestière, l'écosystème forestier, sur l'environnement terrestre et marin. Nous avons présenté les outils géomatiques et les caractéristiques physico-chimiques majeures de la qualité générale de l'eau.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude qui est le (PNEK). Une fiche descriptive de l'histoire, de la particularité du PNEK, des caractéristiques hydrographiques, climatologiques (pluviométrie, température, vent), biologiques terrestre et marine (faune et Flore).

Le troisième chapitre décrit la méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail.

Le quatrième et dernier chapitre présente les résultats, l'interprétation et la discussion.

Enfin, une conclusion et des perspectives sont données.

# *GENERALITES*

### 1. Chapitre 01: généralités

#### 1.1 État des ressources forestières dans la région méditerranéenne

Les forêts ont toujours joué un rôle important dans le développement des populations méditerranéennes. Elles ont été exploitées pour différents usages et appréciées pour les services qu'elles procurent. La région méditerranéenne est caractérisée au Nord par des écosystèmes forestiers souvent inexploités, alors qu'au Sud et à l'Est, les pressions anthropiques contribuent à leur dégradation. Les forêts méditerranéennes et autres espaces boisés (macchia, maquis ou de hesas) sont des écosystèmes communs à basse altitude dans les étages bioclimatiques thermo-méditerranéen et méso-méditerranéen. Aux plus hautes altitudes, des types de forêts complètement différents colonisent les étages supra-méditerranéen, montagnard-méditerranéen et oroméditerranéen (Quézel ;1985). En fait, lorsque l'altitude augmente, les forêts sont constituées non seulement d'espèces endémiques méditerranéennes mais également d'espèces originaires d'autres régions du continent européen (*Fagus sylvatica* et *Castanea sativa* *Pinus nigra*, *Pinus leucodermis*, *Pinus sylvestris*, *Abies alba* et *Cedrus sp.*) (Scarascia-Mugnozza ;2000).

La Méditerranée est en effet une région du monde qui est connue pour abriter des espèces pyrophiles (espèces végétales qui sont adaptées à des environnements soumis à des incendies de fortes fréquents ou réguliers). Les écosystèmes méditerranéens, y compris les forêts, les maquis, les garrigues et les prairies, sont souvent caractérisés par une végétation pyrophiles qui a évolué pour résister au feu et même prospérer après un incendie. (BOUZIDI; 2007)

Certaines des espèces pyrophiles typiques de la région méditerranéenne comprennent des arbres comme le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) et le pin maritime (*Pinus pinaster*), ainsi que des arbustes tels que le genévrier cade (*Juniperus oxycedrus*) et le chêne kermès (*Quercus coccifera*). Ces espèces ont développé des adaptations pour survivre au feu, telles que des écorces épaisses, des cônes de graines qui s'ouvrent après un incendie, ou des systèmes racinaires résilients. (BOUZIDI; 2007)

#### 1.2 Les surfaces forestières en Algérie

La superficie forestière globale en Algérie, maquis compris, est de 4 200 000 ha, soit un taux de boisement de 11% pour le Nord de l'Algérie et de près de 2% pour l'ensemble du territoire national. La forêt est dominée par des formations dégradées, les peuplements réguliers sont rares et de par sa nature et les espèces méditerranéennes qui la composent, elle n'a jamais fourni

de grosses quantités de bois. Toutefois, jusqu'à présent, elle arrivait à alimenter une filière bois, certes modeste, mais dont l'impact socio-économique n'était pas négligeable. (Tatar ;2012)

### 1.3 Historique des incendies de forêts en Algérie

La période entre 1911 et 1920 coïncident avec la première guerre mondiale, alors que la guerre de libération algérienne s'est faite entre 1951 et 1960 et l'ère du terrorisme s'est déroulée entre 1991 et 2000. Ces événements ont laissé un impact désastreux sur le forêts algérien Par ailleurs, entre 1963 et 2013, 1,5 million d'hectares de forêt ont été brûlés et les incendies ont détruit en moyenne 34 000 hectares/an. Après l'indépendance, les forêts algériennes ont connu un calme relatif, la superficie brûlée étant réduite par rapport à l'époque coloniale, où la superficie annuelle moyenne était de 41 258 hectares (Meddour ; 2008).

Cependant, certaines années ont vu les forêts algériennes affectées par d'importants incendies, dépassant largement la moyenne de la période 1963-2013, notamment les deux années catastrophiques de 1983 et 1994 (Figure 1), avec respectivement 221 367 hectares et 221 367 hectares détruits.

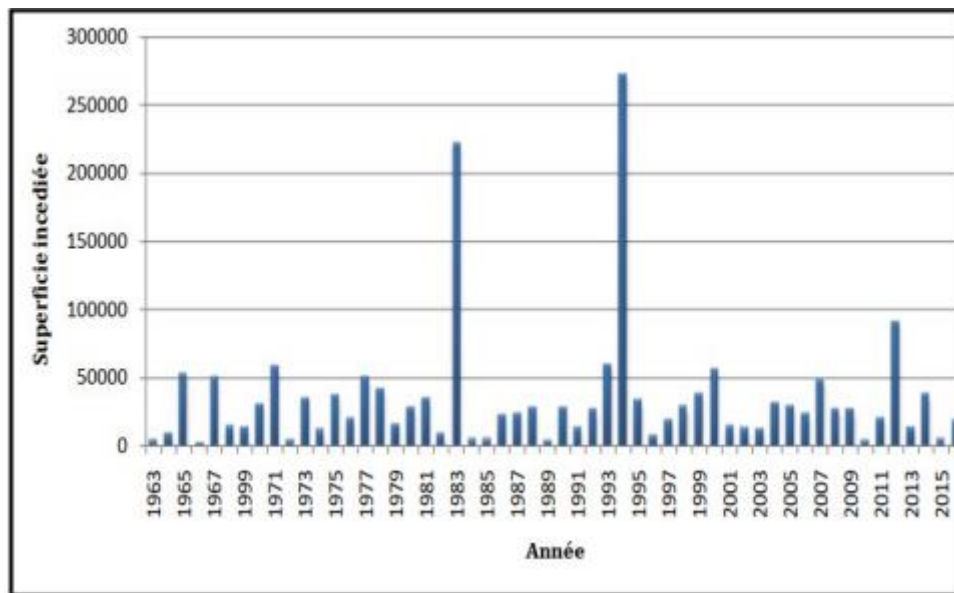


Figure 1:Superficies forestières brûlées en Algérie en 1000 ha (1963-2015) (Meddour ; 2008).

### 1.4 Les surfaces incendiées par wilaya (période1986-2005)

Durant la période1986-2000, les wilayas les plus affectées par les incendies se localisent au nord. Ces wilayas sont Bejaïa (qui est la plus touchée avec plus de 80 000 Ha), Skikda (plus de 70 000 Ha), Tizi Ouzou (plus de 60 000 Ha), El Tarf (56 000 Ha) et Sidi Bel Abbès (48 000Ha) (Figure2).

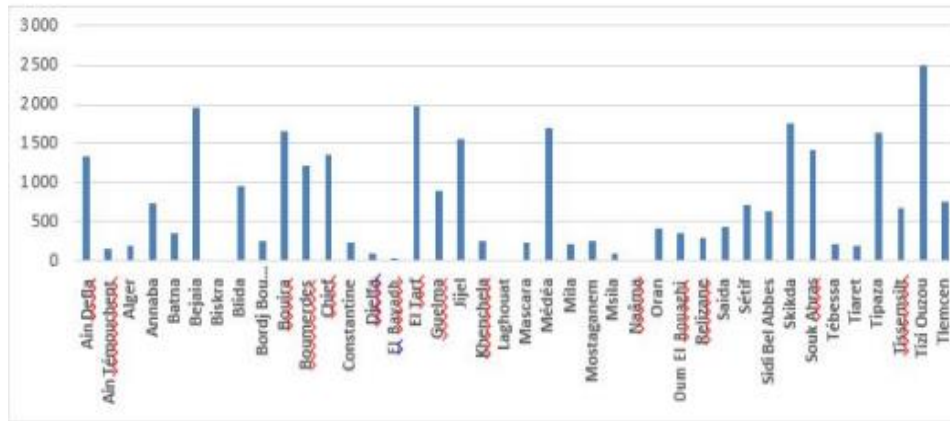


Figure 2 : Le nombre de feux par wilaya, période 1986-2005 (DGF ; 2005).

## 1.5 les incendies de wilaya d'El-Tarf

### 1.5.1 Les feux du PNEK

Au cours des dernières années, le Parc National d'El-Kala a dû faire face à des incendies de forêt répétés qui ont eu un impact significatif sur son écosystème précieux.

La période de 2006 à 2012 est marquée par des fluctuations significatives des incendies de forêt dans le parc national d'El Kala. Initialement, en 2006, la superficie incendiée est relativement faible, à 1,74 km<sup>2</sup>. Cependant, une augmentation notable est observée en 2008, atteignant 48,63 km<sup>2</sup>, suivie d'une diminution en 2011 à 6,09 km<sup>2</sup> et de 16,44 km<sup>2</sup> en 2012.

Entre 2014 et 2017, une relative stabilité est observée, avec des superficies incendiées maintenues autour de 11 à 12 km<sup>2</sup> par an, bien que 2017 se distingue par une augmentation marquée à 70,66 km<sup>2</sup>. Cependant, une inquiétante nouvelle augmentation est enregistrée à partir de 2020, atteignant 93,65 km<sup>2</sup> en 2022. (Voir annexe 1)

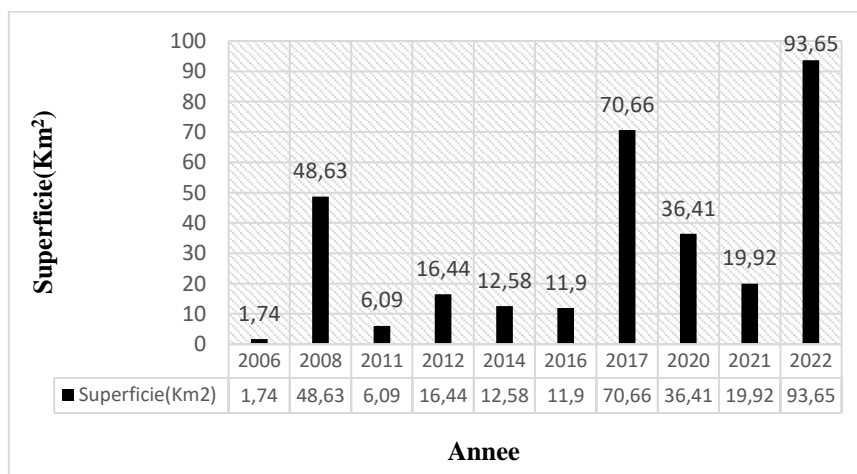


Figure 3: Fréquence annuelle des incendies du Parc National d'El-Kala (Périodes 2006-2022)

La figure 4 représente l'évolution de la Superficie : des tendances exceptionnelles de 2008 à 2022 du PNEK. Qui reflètent des variations significatives au fil des années.

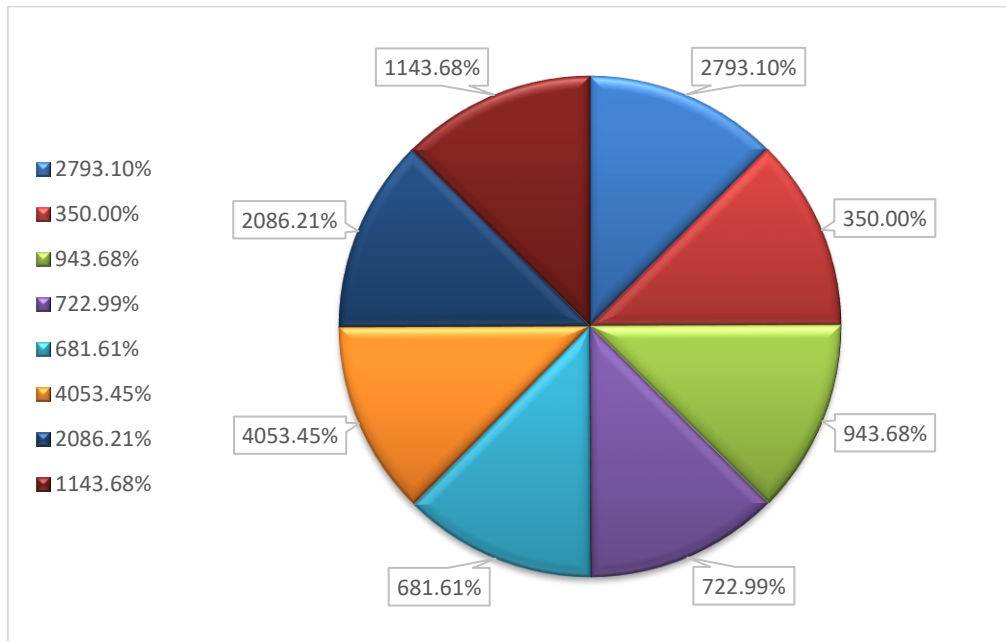


Figure 4: Évolution de la Superficie : des tendances exceptionnelles de 2008 à 2022"

- **Année 2012 (943.68%)** : Cette année a été marquée par une croissance très importante de la superficie incendiée, ce qui indique des défis sérieux en matière de lutte contre les incendies et de conservation des écosystèmes locaux.
- **Année 2014 (722.99%)** : Bien que la croissance en 2014 soit également élevée, elle est légèrement inférieure à celle de 2012. Cependant, cette croissance constante est préoccupante et peut nécessiter une attention particulière pour la protection des ressources naturelles.
- **Année 2016 (681.61%)** : La superficie incendiée continue à augmenter en 2016, ce qui suggère la persistance des défis liés aux incendies dans le parc d'El-Kala. Des mesures de prévention et de gestion des incendies pourraient être nécessaires.
- **Année 2017 (4053.45%)** : 2017 a connu une augmentation dramatique de la superficie incendiée, indiquant une année particulièrement difficile en termes de lutte contre les incendies. Cela souligne l'importance de renforcer les capacités de gestion des incendies dans la région.
- **Année 2020 (2086.21%)** : La superficie incendiée a continué à augmenter en 2020, bien que la croissance ait été légèrement plus lente que celle de 2017. Cette tendance suggère que la gestion des incendies reste un défi majeur.

- **Année 2021 (1143.68%)** : En 2021, la croissance de la superficie incendiée a été moins marquée.
- **Année 2022 (5381.61%)** : 2022 a enregistré une augmentation exceptionnelle de la superficie incendiée, ce qui soulève des préoccupations sérieuses quant à la capacité de prévention et de lutte contre les incendies dans le parc d'El-Kala.

### 1.6 Impact des feux de forêts sur l'écosystème forestier et le sol

- **Impact des feux de forêt sur l'écosystème forestier**

L'une des principales conséquences écologiques des incendies est l'accrue de nouveaux incendies au cours des années suivantes, à mesure que les arbres morts s'effondrent, créant des trous dans la forêt à travers lesquels la lumière du soleil dessèche la végétation, où le carburant brûle, s'accumule et devient vulnérable au feu. Les incendies répétés sont destructeurs car ils sont un facteur clé de la perte de biodiversité dans les écosystèmes des forêts tropicales humides. Les incendies sont souvent suivis d'une colonisation et d'une infestation par des insectes qui perturbent l'équilibre écologique (**Riano et al. ; 2001**).

- **Impact des feux de forêt sur le sol**

Les incendies de forêt ont un impact significatif sur le sol, à la fois à court et à long terme. Dans l'immédiat, la chaleur intense et les températures élevées causent la destruction de la couverture végétale et de la matière organique du sol, en particulier la couche organique en surface appelée horizon O. Cela entraîne la perte immédiate de nutriments organiques et de micro-organismes essentiels à la fertilité du sol. (**Armson, ;1977**)

De plus, les incendies de forêt peuvent rendre le sol hydrophobe, repoussant l'eau et entraînant des problèmes d'infiltration et de ruissellement. Cela augmente le risque d'érosion du sol, qui peut emporter la couche supérieure du sol, entraînant ainsi une perte de terre arable et la pollution des cours d'eau.

Sur le plan chimique, les incendies modifient la composition du sol en altérant le pH et la disponibilité des nutriments nécessaires à la croissance des plantes, rendant le sol moins propice à la régénération végétale après un incendie. (**Armson;1977**)

### 1.7 L'impact des feux de forêts sur le milieu marin

Les études menées sur ce sujet ont montré que les incendies de forêts qui se produisent dans la zone littorale peuvent modifier les caractéristiques physiques de l'habitat marin, contribuent à

la prolifération des algues et d'autres organismes qui consomment de l'oxygène. Ils contribuent également à réduire la qualité de l'eau. Par conséquent, les feux de forêt peuvent constituer une menace sur la vie marine.

- **Sédimentation**

L'augmentation de l'apport sédimentaire est probablement le facteur qui crée les plus grands dommages aux habitats pendant et après les interventions forestières. Les trois principales sources de sédimentation sont l'érosion de surface, les glissements de terrain et l'érosion des berges (**Hetherington ; 1987**).

- **Déversement de substances chimiques**

Les incendies de forêt peuvent entraîner la libération de substances chimiques nocives à l'environnement. (**ST-ONGE ; 2001**)

- **Nutriments**

La concentration des nutriments dans le milieu aquatique est très importante; en faible concentration les nutriments peuvent limiter la productivité primaire alors qu'en fortes concentrations, ils peuvent accélérer le phénomène d'eutrophisation (**Roberge ; 1996**).

Les feux de forêt et l'exploitation forestière peuvent altérer la chimie de l'eau des lacs et rivières suite au retrait du couvert végétal, l'assimilation des nutriments par la végétation du bassin versant est considérablement réduite (**Rosén et al. ;1996**) et la décomposition du sol est accélérée (**Hetherington ; 1987**). Finalement, une réduction de l'évapotranspiration entraîne une plus grande quantité d'eau à ruisseler à travers le sol. (**Hetherington ; 1987**).

- **Dégradation de l'habitat côtier**

Les incendies de forêt peuvent détruire la végétation côtière qui agit comme une barrière naturelle contre l'érosion et les tempêtes. En l'absence de cette végétation protectrice, les côtes peuvent être plus vulnérables à l'érosion, ce qui peut entraîner une perte d'habitat pour les espèces marines qui dépendent des zones côtières, telles que les herbiers marins et les mangroves. (**ST-ONGE ; 2001**)

- **Perturbation des communautés marines**

Les changements dans la qualité de l'eau, la disponibilité des ressources alimentaires et la destruction des habitats côtiers peuvent perturber les communautés marines. Cela peut entraîner

des déplacements d'espèces, une diminution de la biodiversité, des impacts sur les populations de poissons, les coraux et d'autres organismes marins, ainsi que des répercussions sur les activités de pêche et le tourisme côtier. (ST-ONGE ; 2001)

- **L'augmentation du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)**

L'augmentation du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) causée par les incendies de forêt peut avoir plusieurs impacts sur le milieu marin, notamment :

- Acidification de l'océan

Lorsque le CO<sub>2</sub> est libéré dans l'atmosphère par les incendies, une partie de ce CO<sub>2</sub> est absorbée par les océans, ce qui contribue à l'acidification de l'eau. L'acidification peut avoir des conséquences nocives sur les organismes marins, en particulier sur les coquillages, les coraux et d'autres organismes qui ont des coquilles ou des squelettes calcaires, car elle peut rendre plus difficile la formation et la maintenance de ces structures. (ST-ONGE ; 2001)

- Altération des températures de surface de l'océan

Les feux de forêt peuvent contribuer au changement climatique en libérant du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Les températures de surface de l'océan augmentent en réponse au changement climatique, ce qui peut avoir des conséquences sur les écosystèmes marins, y compris les récifs coralliens et les organismes qui dépendent de conditions thermiques spécifiques.

- Changements dans les régimes de précipitations

Les feux de forêt peuvent également altérer les régimes de précipitations, entraînant des changements du ruissellement des eaux douces dans les écosystèmes côtiers. Cela peut affecter la salinité et la qualité de l'eau dans les zones côtières, ce qui peut avoir des conséquences sur la vie marine qui dépend de ces conditions.

- Transport de polluants

Les feux de forêt peuvent libérer non seulement du CO<sub>2</sub>, mais aussi d'autres polluants atmosphériques, tels que les particules fines et les produits chimiques toxiques. Ces polluants peuvent être transportés par les vents et les précipitations vers les océans, où ils peuvent avoir des effets nocifs sur la vie aquatique.

- Impact sur la biodiversité marine

Les feux de forêt peuvent modifier les paysages terrestres, ce qui peut causer des modifications sur le ruissellement des eaux douces et le transport de nutriments vers les zones côtières. Ces variations peuvent influencer la biodiversité marine en favorisant la prolifération d'espèces spécifiques et en perturbant les écosystèmes marins existants. (ST-ONGE ; 2001)

### 1.8 Outils géomatiques

#### 1.8.1 Définition de La télédétection

La télédétection est la technique qui par l'acquisition d'images permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information pour ensuite mettre en application cette information (Centre canadien de télédétection (CCT) : Notions fondamentales de la télédétection ;1999)

#### 1.8.2 Spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique présente toutes les gammes d'ondes des petites longueurs d'ondes jusqu'aux plus grandes. Les ondes utilisées en télédétection sont le Visible qui va de 0,38 à 0,78  $\mu\text{m}$ , le proche infrarouge qui est le rayonnement solaire réfléchi par les surfaces terrestres. Centré sur environ 0,9  $\mu\text{m}$ , il est très utilisé pour l'étude de la végétation et la détection de l'eau.

Le rayonnement infrarouge, qui comprend le moyen infrarouge centré sur environ 3  $\mu\text{m}$  et l'infrarouge thermique émis par les surfaces terrestres de 8 à 12  $\mu\text{m}$ , joue un rôle essentiel dans divers domaines scientifiques. Le moyen infrarouge est utilisé pour détecter la présence d'eau dans les plantes, repérer la neige et la glace, ainsi que pour évaluer l'humidité du sol.(M Robin ;2002) En revanche, l'infrarouge thermique est largement employé en météorologie et en climatologie. Par ailleurs, le domaine des hyperfréquences englobe un ensemble d'ondes émises par des antennes et réfléchies par la surface terrestre (hyperfréquences actives) ou émises directement par les surfaces terrestres (hyperfréquences passives) (Kessar ; 2011)

#### 1.8.3 Notions de résolutions

**Résolution spatiale :** La résolution spatiale fait référence à la taille du plus petit objet pouvant être distingué dans une image, c'est également la capacité à discriminer deux objets voisins. Elle détermine l'échelle des documents cartographiques pouvant être produits. (Mahamat ; 2010)

**Résolution radiométrique:** La résolution radiométrique est la sensibilité d'un détecteur aux variations de l'intensité de l'énergie électromagnétique émise, réfléchie ou diffusée qui est détectée. C'est les Différents niveaux d'intensité qui peuvent être discriminés par le capteur dans une bande. (**Eugenio et al ;2013**) Et c'est La capacité du capteur à différencier de fines nuances dans l'énergie électromagnétique.

**Résolution spectrale:** C'est l'aptitude du capteur à distinguer des rayonnements électromagnétiques de fréquences différentes. Plus le capteur est sensible à des différences spectrales fines (intervalles de longueur d'onde étroite), plus la résolution spectrale du capteur est élevée. (**Esside ; 2012**).

**Résolution temporelle:** C'est la période nécessaire au satellite pour revenir au même endroit (Cycle orbital complet). (**Emran ; 2005**).

### 1.9 Imageries satellitaires

Les 50 années écoulées depuis le lancement du premier satellite ont vu progresser la télédétection spatiale allant de la production à petite échelle d'images à basse résolution spatiale à l'acquisition quotidienne de plus de 10 téraoctets de données accessibles à tous motivée en grande partie par les besoins de l'observation de la Terre (**Tatem et al. ;2008**).

Aujourd'hui, plus de 150 satellites d'observation de la terre sont en orbite l'offre satellitaire actuelle est devenue extrêmement riche avec une grande variété de capteurs qui fournissent des données à différentes résolutions spatiales (de 30 cm à plusieurs km), dans diverses bandes spectrales (optique réflectif, thermique et micro-ondes), avec différentes répétitivités (de l'heure au mois) (**Begue et al. ; 2016**)

Le nombre croissant de satellites d'observation de la Terre et la disponibilité des images permettent de réduire les coûts de données. Les bases de données en ligne gratuites et la distribution ouverte des images traitées permettent à tous de disposer de nombreux types de données (**Wulder et al. ;2016**). Bien que cette tendance soit la bienvenue, le choix d'un capteur satellite est étroitement lié aux besoins et aux moyens techniques et budgétaires dont on dispose pour acquérir et traiter les données, et chaque famille de capteurs à ses propres méthodes de traitement. (Voir annexes1).

#### 1.9.1 Sentinel 2 (S-2)

Sentinel-2 est un système de satellites d'observation de la Terre développé par l'Agence spatiale européenne (ESA) dans le cadre du programme Copernicus de l'Union européenne. Le système

## Chapitre 01 : Généralités

Sentinel-2 est conçu pour fournir des images multi spectrales à haute résolution de la surface terrestre pour une variété d'applications, telles que la surveillance de l'environnement, la gestion des ressources naturelles, la planification urbaine et l'agriculture. (ESA ; 2015)

Les caractéristiques principales des images sentinelle 2:

- ✓ Haute résolution spatiale : 10m-20m en fonction des bandes spectrales ;
- ✓ Grande couverture : toutes les terres, 290 km de fauchée ;
- ✓ Fréquence de revisite : 5 jours avec 2 satellites ;
- ✓ Richesse spectrale : 13 bandes spectrales ;
- ✓ Angles de prise de vue constants : pas d'effets directionnels ;
- ✓ Qualité des images excellente ;
- ✓ Données ouvertes et gratuites ;
- ✓ Produits "prêts à l'emploi" :
  - Mode 1C : ortho-rectifié sans correction atmosphérique ;
  - Mode 2A : ortho-rectifié avec correction atmosphérique ;
  - Mode 3A : synthèse mensuelle de réflectances de surface.

### 1.9.2 Le programme Copernicus Open Access Hub

Le Copernicus Open Access Hub (anciennement connu sous le nom de Sentinel Scientific Data Hub) offre un accès complet, gratuit et ouvert aux produits utilisateur Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 et Sentinel-5P, à partir de l'In-Orbite Commissioning Review (IOCR).

Depuis le 24 janvier 2023, un nouvel écosystème Copernicus Data Space a été lancé pour donner accès à toutes les données Sentinel avec de nouvelles fonctionnalités de visualisation et de traitement des données. (Copernicus;2023)

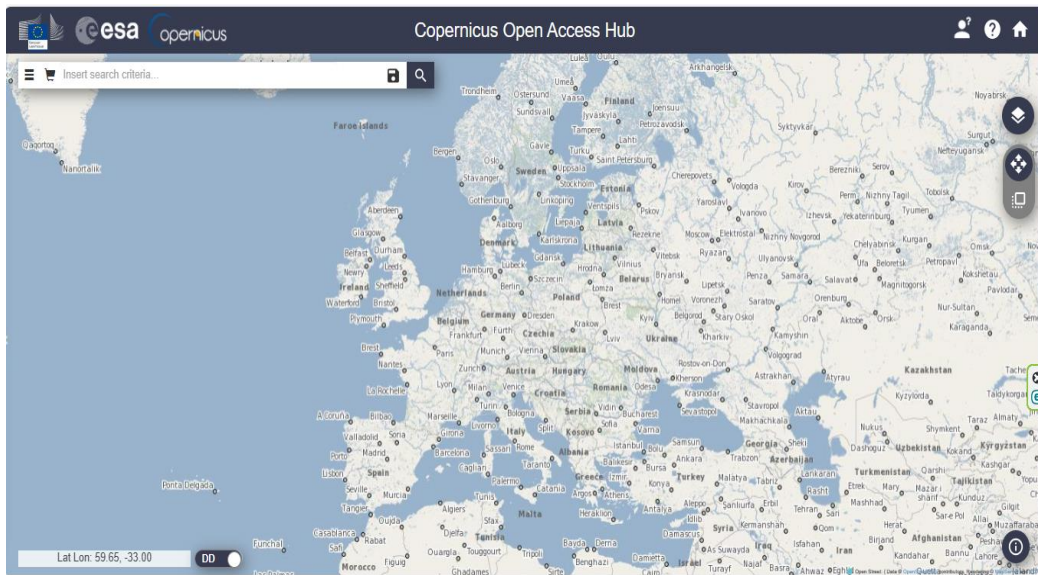


Figure 5: Le programme Copernicus Open Access Hub

## 1.10 Le système d'information sur les incendies pour la gestion des ressources (FIRMS)

Le système d'information sur les incendies pour la gestion des ressources (FIRMS) diffuse des données actives sur les incendies en temps quasi réel (TRN) du spectro radiomètre imageur à résolution modérée (MODIS) à bord des satellites Aqua et Terra et de la suite de radiomètres d'imagerie infrarouge visible (VIIRS) à bord du S-NPP et de la NOAA 20 (anciennement connu sous le nom de JPSS-1). À l'échelle mondiale, ces données sont disponibles dans les 3 heures suivant l'observation par satellite, mais pour les États-Unis et le Canada, les détections actives d'incendie sont disponibles en temps réel. (FIRMS; 2023)

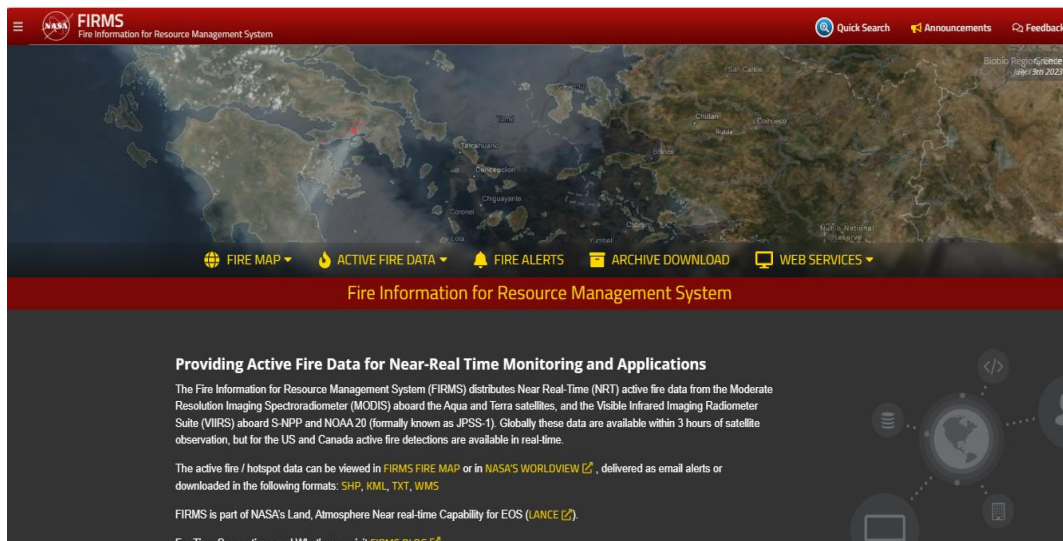


Figure 6: Le programme FIRMS

### 1.11 La télédétection et la gestion des feux

La télédétection fournit les données nécessaires pour la détection et la cartographie des zones exposées au feu, la surveillance et la modélisation du risque. Elle permet également la prédiction de la propagation ; direction du feu ainsi que l'alerte précoce, la coordination des efforts de lutte contre l'incendie et l'évaluation des dommages.

### 1.12 L'application de télédétection pour l'étude du milieu marin

En océanographie la télédétection offre une vision synoptique de vastes régions qu'il est impossible d'obtenir par les moyens traditionnels (bateaux) ; pour certaines études à petite échelle les données des satellites météorologiques sont largement utilisées en océanographie (températures de surface de l'océan) pour les études côtières, ce sont les satellites de télédétection terrestre, équipés de capteurs à haute résolution qui sont les plus utiles.

Des satellites spécialisés à vocation océanographique ont volé dans un passé récent (Nimbus, Seasat) ou volent depuis le début des années 90 (ERS-1 de l'Agence Spatiale Européenne, TOPEX-Poseidon). Les types de capteurs utilisés pour l'océanographie sont très variés. Les radiomètres utilisant le rayonnement visible analysent la couleur de l'océan, qui permet de mesurer la production biologique (plancton) et la turbidité; les radiomètres infrarouges ou microonde mesurent la température de surface de la mer. La répartition des températures ou des turbidités est un indice des courants océaniques. (**Aird; 1977**)

### 1.13 Système d'information géographique (SIG)

Un système d'information géographique (SIG) est un système qui permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. (**Laboratoire de cartographie appliqué; 2000**)

#### 1.13.1 Domaines d'application du SIG

Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés. Habert (2000), donne une liste de ces principales applications :

- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques)
- Marketing (localisation des clients, analyse du site)
- Planification urbaine (cadastre, voirie, réseaux assainissement)
- Protection civile (gestion et prévention des catastrophes)

- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires)
- Hydrologie
- Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture)
- Géologie (prospection minière)
- Biologie (études du déplacement des populations animales)
- Télécoms (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles). (**Laboratoire de cartographie appliqué; 2000**)

### 1.14 Caractéristiques majeures physiques, chimiques et de qualité générale de l'eau

Ces paramètres sont souvent regroupés sous le terme de paramètres physico-chimiques, la qualité générale de l'eau est influencée par des processus chimiques et biologiques, et altérée ou non par des apports anthropiques. (**Aminot et Kerouel. ; 2004**).

#### 1.14.1 Matières en suspension totales (MES)

La connaissance des teneurs en matière en suspension est importante pour l'étude des milieux aquatiques. Elles représentent la fraction de matières particulaires organique et inorganique entraînées passivement par les mouvements d'eaux et dont la taille serait supérieure à 0,5µm, (**Aminot et Chaussepied ; 1983**). Selon la nature des côtes et du fond marin, les matières en suspension peuvent être des sels minéraux précipités, des sédiments, des fragments minéraux, des squelettes planctoniques, ou encore des organismes vivants servant de nutriments aux organismes filtreurs tels que les moules et les bivalves (**Lefebvre et al ; 1993**).

D'après **Ivanoff A ; 1972** en plus des substances dissoutes, l'eau de mer contient des matières en suspension d'origines minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature biogénique, terrigène, éolienne et en fin météoriques.

L'impact des matières en suspension sur l'eau se traduit par la diminution de la transparence de l'eau et de ce fait la production primaire photosynthétique. D'autre part elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques, chimiques ou biologiques avec l'eau de mer (**Aminot et Chaussepied ;1983**). Par le phénomène d'adsorption-désorption de MES pour les espèces chimiques, elles peuvent être considérées comme des transporteurs importants des polluants, fertilisants, toxiques, biologiques (**Lacaze J.C ; 1996**)

#### 1.14.2 Turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. L'appréciation de

## Chapitre 01 : Généralités

l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité, à cette fin, il est recommandé d'utiliser un turbidimètre optique (**Rodier ; 2005**)

La mesure de la turbidité consiste à déterminer la dispersion et l'absorption de la lumière, il s'agit donc d'un paramètre lié à la présence des particules en suspension (**Aminot et Chaussepied ; 1983**)

Les eaux riches en matières en suspension essentiellement organiques dans lesquels la transmission lumineuse est limitée aux radiations jaunes et rouges sur une faible épaisseur de la couche d'eau, de même pour les eaux chargée en sédiments fins apparaissant opaques, de couleur jaune, beige ou marron.

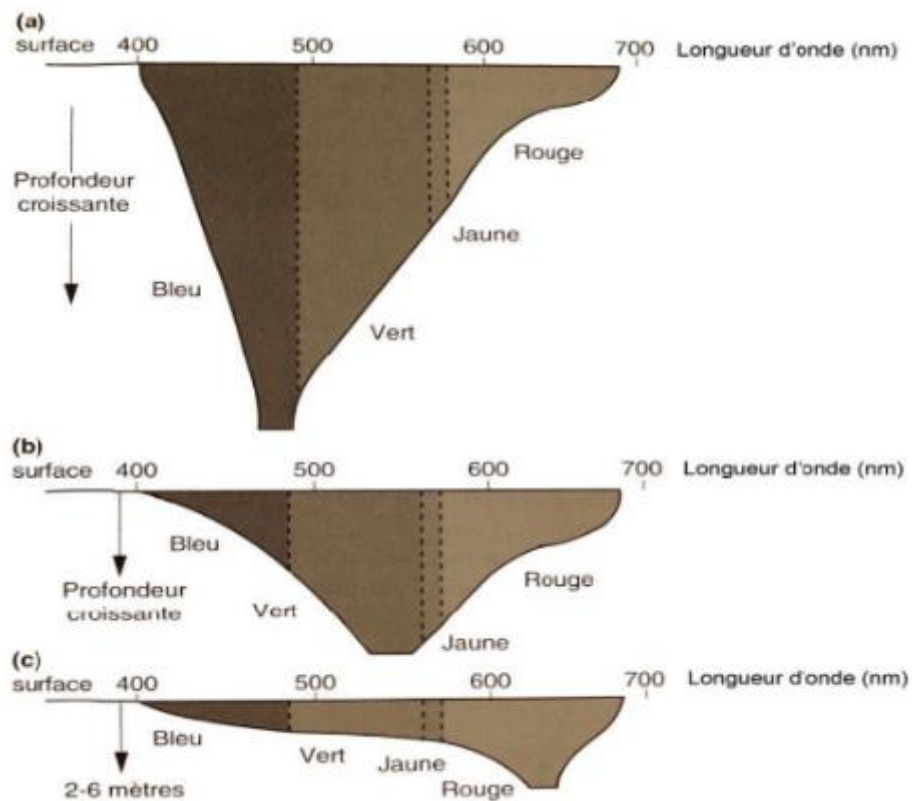


Figure 7: Transmission des différentes radiations solaires en fonction de leurs longueurs d'onde  $\lambda$  et de la profondeur dans trois types de milieux (**J Brusle ; 2004**)

a : eaux claires oligotrophes.

b : eaux méso- ou eutrophies en phytoplancton.

c : eaux des étangs et marécages riches en matières organiques et en suspension et eaux estuariennes chargées en sédiments.

### 1.14.3 La Chlorophylle

La chlorophylle est un composé chimique indispensable à la photosynthèse, sa présence dans tous les organismes végétaux, associée à l'énergie solaire, lui permet de synthétiser ses propres matières organiques carbonées à partir du carbone minéral.

Dans les milieux aquatiques, les algues possèdent une diversité de pigments dont les plus importants sont les chlorophylles-a, b, c1, c2 et d. La chlorophylle-a est le pigment photosynthétique principal du phytoplancton qui est considéré comme étant un bon indicateur de la santé de l'océan et de son niveau de productivité et de la biomasse phyto-planctonique (**Aminot et Chaussepied ; 1983**). La concentration de chlorophylle est utilisée pour l'estimation de la production primaire (**Paterson ; 1979**). La chlorophylle a est la molécule responsable de la production d'oxygène par les cellules végétales, tous les autres pigments qui peuvent être présents dans le chloroplaste comme la chlorophylle b, la chlorophylle c et les caroténoïdes ne font qu'absorber l'énergie et la transmettre à la chlorophylle a pour effectuer la photosynthèse (**Raven ; 2007**).

La molécule de la chlorophylle est constituée d'un macrocycle tétra pyrrole complexant union magnésium et d'un phytoplancton en chaîne latérale linéaire à 16 carbones (**Aminot et Keroual ; 2004**) sa formule globale est  $C_{55}H_{72}N_4O_5Mg$ , de masse molaire 893,5 g/mole (**Aminot et Keroual ; 2004**).

La mesure de la concentration de Chlorophylle a est donc utilisée pour estimer la biomasse phyto-planctonique dans la mesure où la synthèse organique d'origine végétale ne peut se faire qu'en passant par l'intermédiaire de ce type de chlorophylle.

# ***ZONE D'ÉTUDE***

## 2. Chapitre 02 : Présentation de la zone d'étude

### 2.1 Situation géographique

La zone d'étude concernée par notre travail est le Parc National d'El Kala (PNEK) situé à l'extrême Nord-est algérien, compris entre les latitudes **36°33' N et 36°58' N** et les longitudes **8°07' E et 8°41'56' E**, s'étend sur une superficie actuellement évaluée à environ **80.000 ha**; il est intégralement inclus dans la wilaya d'EL-TARF correspondant presque au tiers de la superficie globale de son territoire.

Il est limité :

- Au Nord, par la mer Méditerranée.
- Au Sud, par les contreforts des monts de la Medjerda.
- A l'Est, par la frontière Allégro-tunisienne.
- A l'Ouest, par l'extrémité de la plaine alluviale d'Annaba.

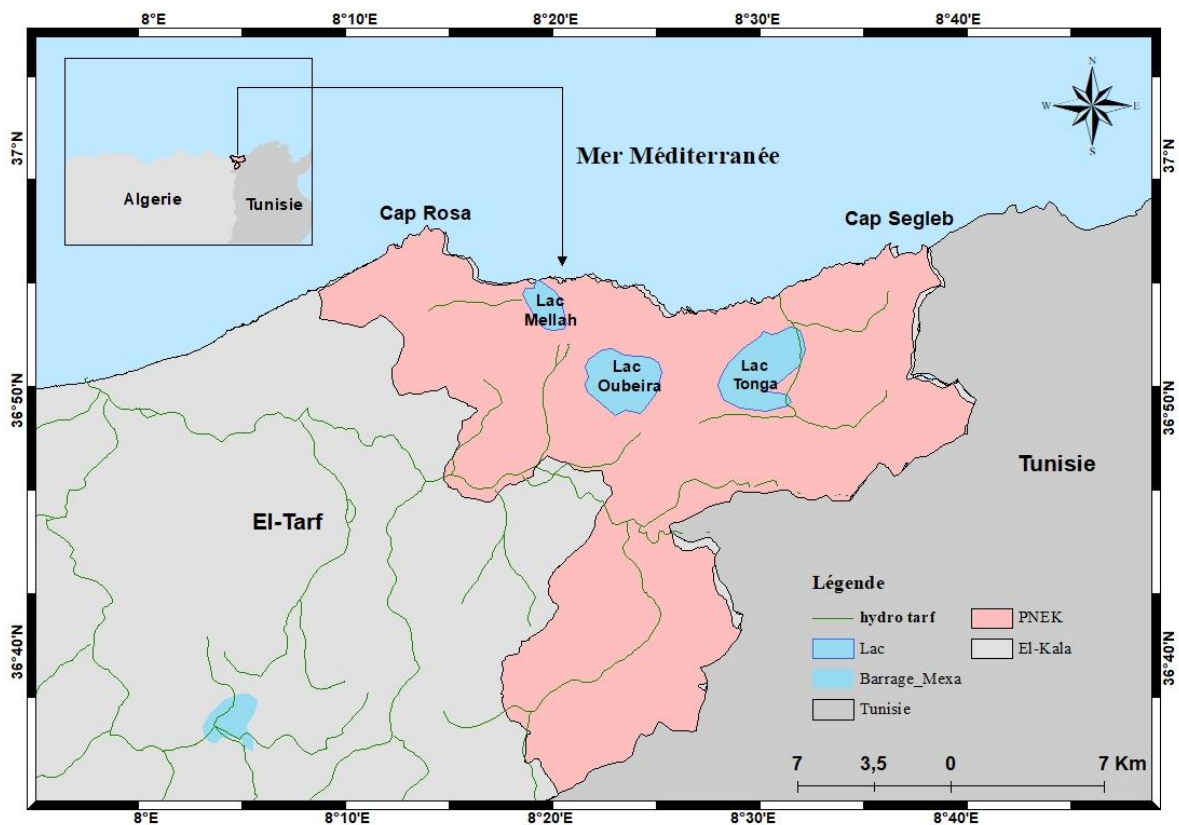


Figure 8 : Situation géographique de la zone d'étude du parc national d'El Kala

Administrativement les limites géographiques du parc englobent neuf communes dont six sont entièrement situées à l'intérieur de cette espace naturelle, il s'agit de ;

El-Aioun ; Souarekh ; Ramel ; Souk, El-Kala, Ain Assel et Bougous le parc n'occupe d'une petite partie de ces communes.

La région d'El-Kala présente une multitude de milieux naturels originaux tels que la zone marine s'étendant sur environ 40 Km (de Cap Rosa au Cap Segleb), un cordon dunaire stable et couvert d'une longueur de 40 Km, un complexe de zones humides principalement constitué de lacs, marais et tourbières ainsi qu'un paysage montagneux caractérisé par des chênaies pures ou mixtes.

## 2.2 Fiche descriptive

- **Date de création** 23 juillet 1983
- **Références de création** Décret présidentiel N° 83/462 relatif à la protection de l'environnement et l'arrêté ministériel N°005/CARM/129/BCCR/87 fixant le zonage du parc et le mode d'intervention
- **Flore** 1500 espèces dont 1404 identifiées
- **Faune** 339 espèces dont 953 identifiées
- **Superficie totale du parc** 76 438 Ha
- **Nombre de zones humides** 07 inscrites sur la liste RAMSAR d'importance internationale
- **Type de classement National Parc National** : Aire protégée
- **Principaux critères de classement National** Quatre (04) écosystèmes : forestier, marin, dunaire et lacustre
- **Type de classement International** Réserve de biosphère (17/09/1990)
- **Principaux critères de classement International** : Aire protégée répondant au 4ème critère de classement des Réserves de biosphère : forestier, marin, dunaire et lacustre ( **La Direction Générale des Forêts, Parc National El Kala** ).

## 2.3 Histoire

Tableau 1: Classification du Parc National d'El Kala.

Date	Evènement historique
1973	La première initiative sérieuse de Thomas J.P., Bougazelli N., et Etender M., biologistes qui, proposent le Parc national marin et terrestre d'El Kala. ( <b>Projet du parc national marin lacustre terrestre d'El-Kala Annaba ; Algérie</b> )
1975-1984	Observation et préoccupation assurée par le bureau de la conservation de la nature des forestiers d'Annaba, dont dépendait la wilaya d'El Tarf, ( <b>El Watan ; 2008</b> ).
1982 – 1983	Inscription deux sites lacustres de la région d'El Kala sur la liste Ramsar, relatives aux zones humides d'importances internationales (lacs Tonga et Oubeïra).
le 23 Juillet 1983	À l'initiative du ministère algérien de l'environnement et suite à une prise de conscience sur les richesses biologiques que recèle la région d'El Kala ; le site a reçu une protection légale avec sa désignation comme Parc National par le décret N° 83-462 relatif à la protection de l'environnement fixant le statut type des parcs nationaux et l'arrêté ministériel n°005 CAR.M/129 BCCR/87 fixant le zonage du parc
17 Décembre 1990	Le parc d'El-Kala est classé Réserve de la Biosphère dans le réseau des réserves du programme MAB (Man And Biosphère) de l'UNESCO
1990- 2009	D'autres sites du Parc ont fait l'objet du classement sur la liste Ramsar, il s'agit de : La tourbière du Lac Noir 04/06/03 ( <b>Ramsar ; 2016</b> ). Les aulnaies d'Ain Khiair 04/06/03 ( <b>Ramsar ; 2016</b> ). Réserve Intégrale du Lac El Mellah 12/12/04 ( <b>Ramsar ; 2016</b> ). Marais de Bourdim 18/12/09 ( <b>Ramsar ; 2016</b> ).

Durant le mois d'août 2022, plus de 10 000 ha (soit 1/8<sup>e</sup>) de la surface du parc ont brûlé à la suite de la canicule

## 2.4 Particularité de PNEK

Le Parc National d'El Kala, situé en Algérie sur la côte méditerranéenne, revêt une grande importance en raison de ses caractéristiques naturelles et de ses écosystèmes uniques. Le PNEK est un écosystème exceptionnellement diversifié et riche en biodiversité, jouant un rôle crucial dans la conservation de la nature et la préservation de l'environnement méditerranéen. Sa valeur écologique, culturelle et éducative en fait un lieu d'importance nationale et internationale.

. Voici quelques raisons pour lesquelles ce parc est important :

- **Biodiversité remarquable**

Le PNEK abrite une biodiversité exceptionnelle, notamment une grande variété d'espèces végétales, animales et marines. On y trouve des espèces rares et menacées, ce qui en fait un site crucial pour la conservation de la faune et de la flore.

- **Habitats variés**

Le parc englobe une diversité d'habitats, notamment des forêts, des zones humides, des lacs, des plages et des écosystèmes marins. Ces habitats variés soutiennent une grande diversité d'espèces et offrent des opportunités d'étude et de recherche importantes.

- **Protection des espèces**

Le PNEK joue un rôle essentiel dans la préservation des espèces menacées, notamment la gazelle de Cuvier, l'hippopotame, la tortue marine, et de nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs qui font halte dans la région.

- **Éducation et recherche**

Le parc offre un environnement idéal pour l'éducation environnementale, la recherche scientifique et l'étude de la biodiversité. Il peut servir de site d'apprentissage pour les étudiants et les chercheurs en écologie.

- **Régulation du climat et des ressources en eau**

Les écosystèmes du parc jouent un rôle dans la régulation du climat régional et la gestion des ressources en eau. Ils contribuent à la stabilisation des sols, à la purification de l'eau et au maintien d'un équilibre écologique.

- **Tourisme écologique**

Le parc attire les adeptes de la nature, les randonneurs et les touristes intéressés par l'observation de la faune et de la flore. Le tourisme écologique peut contribuer à la sensibilisation à la préservation et au développement économique de la région.

## **2.5 Les Caractéristiques du Parc National D'El Kala**

### **2.5.1 Hydrographie**

La région d'El Kala est un ensemble de plan d'eau composé de sources, nappes, d'Oueds et de lacs et a la particularité d'abriter le complexe de zones humides le plus important du Maghreb.

La configuration du terrain de la région d'El Kala détermine trois systèmes d'organisation hydrographiques (**Bentouili et Yassine ; 2007**)

- La partie Sud-Est est drainée par trois oueds : l'oued Bougous, Mellila et l'oued El Kebir le dernier constitue le collecteur.
- 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 (Bouaroug, Mellah, Reguibet, Boumerchen, Dai El-Graa...), ils se déversent pour la plupart dans les lacs Mellah et Oubeïra; les lacs constituent à eux seuls un réservoir hydrique important dont une partie (**Tableau N°2**) est classés d'importance internationale par la convention de Ramsar.

Tableau 2: Sites humides d'El Kala (Tarf- Algérie), inscrit sur la liste des zones humides d'importance internationale de la convention de Ramsar, (**Liste Ramsar ; 2016**).

Nom de la zone humide	Année d'inscription	Superficie (ha)	Type de zone humide	wilaya/ commune
Réserve Intégrale du Lac Tonga	04/11/1983	2,700	lac de type palustre <sup>5</sup> d'eau douce en communication avec la mer Méditerranée par un canal artificiel, le Canal Messida.	El Tarf
Réserve Intégrale du Lac Oubeïra	04/11/1983	3,160	Lac endoréique <sup>6</sup> d'eau douce d'origine naturelle	El Tarf
Réserve Naturelle du Lac des Oiseaux	22/03/1999	120	Lac d'eau douce	El Kala
Réserve Intégrale du Lac El Mellah	12/12/2004	2,257	Lagune de forme ovoïde, communiquant avec la mer par un chenal d'environ 900 m de long.	El Tarf

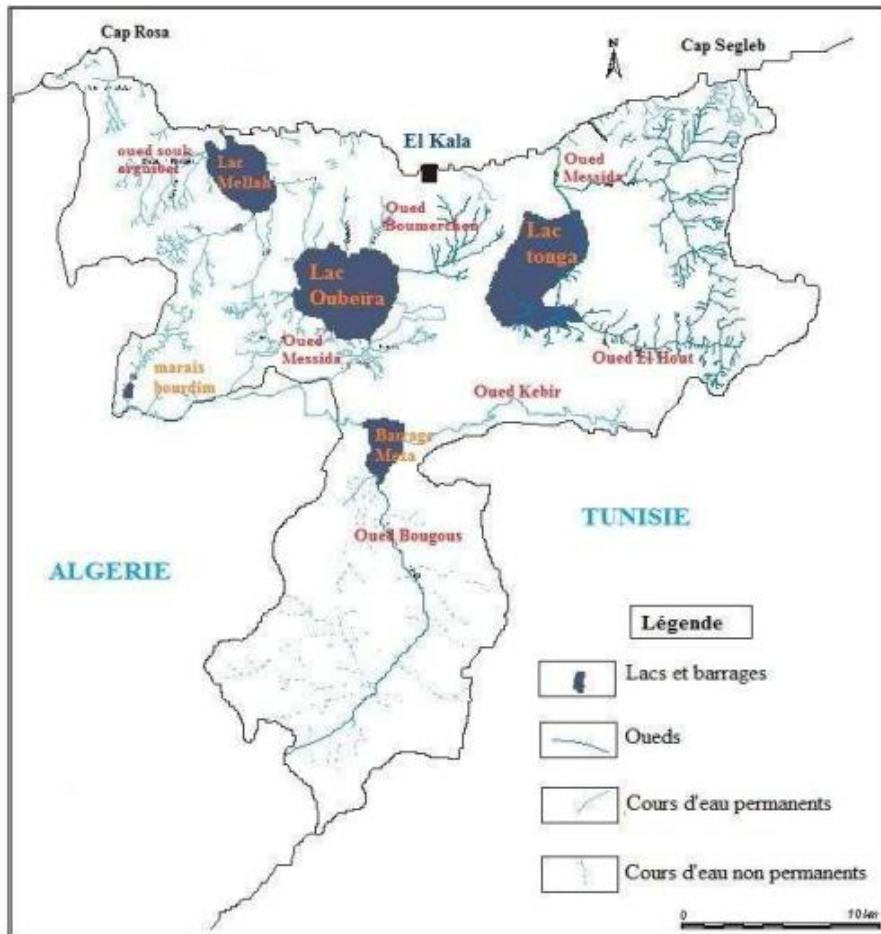


Figure 9: Représentation graphique du réseau hydrographique du Parc National D’El Kala (Bentouili et Yassine ; 2007)

### 2.5.2 Aperçu climatologique

D’une manière générale la région d’El-Kala est située dans le climat méditerranéen subhumide à hiver chaud avec des températures pouvant atteindre 50°C. Les températures les plus basses sont enregistrées en altitude durant l’hiver, avec 5 à 6 mois de gelée blanche par an.

Au niveau de la mer, les températures atteignent très rarement 0°C. Les mois les plus froids sont janvier et février tandis que juillet et août sont les plus chauds (ONM ; 2001)

### 2.5.3 La pluviométrie

La combinaison saisonnière de tous les phénomènes qui engendrent les précipitations (direction des flux dominants, instabilité de l’air, la position des fronts) détermine le régime annuel et l’abondance de celles-ci (Bouziid ; 2010).

Dans la région d'El-Kala les précipitations deviennent minimales voire insignifiantes avec des taux très faibles juillet 2.6mm, Août 4.5mm ; par contre la saison pluvieuse qui s'étale du mois d'octobre au mois de mars-mai connaît un régime pluviométrique qui se caractérise par des pluies abondantes, ce qui conforte que cette zone est humide (ONM ; 2001).

Le régime mensuel de cette saison pluvieuse est assez important, il est suivi d'une diminution presque régulière au printemps ou le temps s'adoucit et atteint par la suite quelques millimètres par mois pendant la répétition de la période estivale.

#### 2.5.4 La température

Les températures les plus basses sont naturellement enregistrées en altitude durant l'hiver, précisément durant les mois de Janvier et de Février (12° C en moyenne), alors que juillet et août représentent les mois les plus chauds (26° C en moyenne) (Ramsar ; 2002 a).

Le volume des précipitations varie de 717,2 mm à 944 mm par an, janvier étant le mois le plus pluvieux, ce volume considérable est dû à l'absence d'obstacles topographiques ainsi qu'à la proximité de la mer et des lacs environnants du complexe de zones humides d'El Kala (Ramsar ; 2002 a).

#### 2.5.5 Les vents

Les vents dominants, sont de Nord-Ouest, avec une vitesse moyenne variant de 3.3 à 4.8 m/s, ils apportent les précipitations les plus importants venus de l'atlantique. A l'opposé, le Sirocco souffle principalement en été, venant du Sud-Est, il assèche l'atmosphère et favorise avec les T° élevées, les incendies de forêts (Ramsar ; 2005).

#### 2.5.6 Richesse naturelle

Le parc national d'El-Kala déclaré réserve de la biosphère, la zone côtière marine d'El Kala au Nord-Est du pays présente la particularité de combiner, dans un étage bioclimatique humide, l'interface d'un écosystème forestier, lacustre et marin.

Le PNEK est constitué de plusieurs écosystèmes de haute valeur écologique qui lui attribuent une grande richesse spécifique. On distingue l'existence de cinq grands types d'habitats ; l'habitat forestier, les zones humides, l'habitat rupicole, l'habitat dunaire et l'habitat littoral.

Ces écosystèmes sont eux-mêmes composés de plusieurs habitats qui offrent autant de niches écologiques aux animaux et aux plantes.

La frange marine du PNEK riche en corail, en poissons et d`herbiers parsemée de plages dont les plus importantes sont : Cap Rosa (ZET), Messida (ZET) et la veille calle. Cet écosystème abrite presque le quart (24 %) de la diversité des poissons de la côte algérienne (**Grimes ; 2005**).

## 2.6 Composantes biotiques du PNEK

### 2.6.1 Patrimoine floristique

Riche d'environ 840 espèces, la flore se caractérise par un taux particulièrement élevé d'espèces endémiques, rares et très rares (**De Bélair; 1990**). Avec 231 espèces rares et très rares, appartenant à 62 familles et représentant plus du quart (27 %) de la flore du Parc, soit 15 % de la flore rare à l'échelle nationale, cette flore présente une valeur patrimoniale élevée. Les familles présentant une richesse spécifique élevée en espèces rares sont indiquées dans le tableau 3.

Les forêts représentent un peu plus de la moitié (57%) des 305 000 hectares que compte la superficie de la wilaya d'El Tarf (174 000 hectares). Ceci met en évidence l'étendue de la couverture végétale et la place qui revient au secteur, qui s'en charge de la protection de la nature.

Ce chiffre concerne toutes les formations végétales, aussi bien les forêts proprement dites que celles des pelouses qui bordent les zones humides ou couvrent les dunes littorales. Les chênes sont dominants. 2000 ha de chênes zéen couvrent les reliefs dans les secteurs au-delà de 800m d'altitude, le chêne-liège et sa forme dégradée, le maquis, se partagent équitablement quelques 130 000 ha. Les ripisylves, avec les peupliers, l'orme et le frêne, et les aulnaies se partagent aussi un peu plus de 3000 hectares.

En trouvée aussi

Posidonies: Les prairies de posidonies sont des écosystèmes marins importants dans la Méditerranée. Les posidonies sont des plantes marines qui jouent un rôle clé dans la filtration de l'eau, la stabilisation des fonds marins et la fourniture d'habitats pour de nombreuses espèces marines.

Algues: Divers types d'algues marines, notamment des algues rouges, brunes et vertes, peuvent être trouvés dans les eaux côtières d'El-Kala. Ces algues fournissent de la nourriture et de l'habitat à de nombreuses espèces marines.

Tableau 3: La richesse des familles représentant la flore du PNEK. (Benyacoub et al; 1998).

Famille	Nombre d'espèces
Apiacées	23
Fabacées	16
Astéracées	15
Poacées	15
Cypéracées	14
Brassicacées	12
Lamiacées	11
Caryophyllacées	10
Scrofulariacées	8
Orchidées	7
Onagracées	6

### 2.6.2 Patrimoine faunistique

La diversité des habits rencontrés au sein du parc a pour conséquence la présence d'une faune particulièrement riche et diversifiée. En effet, les principaux groupes systématiques y sont rencontrés, à savoir les mammifères, les oiseaux et les reptiles. Parmi ces différents groupes systématiques, ce sont incontestablement les oiseaux qui constituent la richesse faunistique la plus spectaculaire du parc. 189 espèces d'oiseaux, dont 21 rapaces, 61 espèces sont protégées par le décret présidentiel du 20 Août 1983 complété le 17 janvier 1995 (Benyacoub et al; 1998). Ce chiffre constitue presque la moitié (46,78%) du nombre total d'espèces aviennes que compte le pays soit 404 espèces.

Concernant les mammifères, leurs effectifs ne cessent de régresser suite à l'action humaine destructive. Ils sont représentés par 37 espèces : 14 d'entre elles sont protégées par la loi et constituent de ce fait un patrimoine réel à préserver. Parmi ces espèces, le cerf de Barbarie constitue le mammifère le plus précieux de la région. Ce dernier, relique des grands cervidés africains, se trouve confiné dans les subéraies qui représentent son habitat idéal. Pour éviter son extinction définitive et assurer son élevage continu, une réserve cynégétique a été installée au sein de la réserve de Brabtia du PNEK. Quant aux reptiles, 3 espèces protégées sont signalées: la tortue grecque qui fréquente surtout les zones voisines des cours d'eau, la tortue clemmyde observée près du lac noir et le caméléon commun.

Entrouvre aussi différente groupe taxonomique tel que poissons (Daurade, mérrou, thon, sardine, loup de mer, raie, requin) des crustacés (Crevettes, crabes) et céphalopodes (Calmar et poulpe) des cétacés.

# ***MATÉRIEL ET MÉTHODE***

### **3. Chapitre 03 : Matériels et méthodes**

Cette étude est divisée en deux parties principales. La première a été consacrée à l'identification et à l'estimation des superficies incendiées qui ont touché le PNEK durant l'été 2022. La seconde étape avait comme objectif l'évaluation de l'impact de ces incendies sur la qualité de l'eau et sur l'environnement marin côtier du parc. A cet effet, une étude comparative des paramètres de la qualité de l'eau a été menée en ciblant quelques paramètres mesurés par télédétection comme la chlorophylle, la matière totale en suspension et la turbidité en tant qu'indicateurs clés.

#### **Partie 01 Identification des zones incendiées**

##### **3.1 Matériels utilisés**

###### **3.1.1 Données utilisées**

Face aux nombreuses difficultés liées à la collecte des données in situ avant et après l'avènement des incendies, cette étude s'est basée uniquement sur l'analyse des données satellitaires. En outre, quelques données géo spatiales de type vecteur ont été utilisées pour la délimitation administrative de la zone d'étude. La description technique de ces données est comme suite.

- **Vecteur (Shape files)**

Les données vecteur nécessaires sont les Shape files de la wilaya d'El Tarf et de l'ensemble des unités administratives limitrophes au PNEK.

- **Raster**

Les données raster utilisées comprennent le plan numérique du PNEK (dans le format JPG) ainsi que les images satellitaires Sentinel-2 choisies aux dates avant et après les feux de l'été 2022. En effet, les images satellitaires ont été principalement choisies en fonction de leur disponibilité sur la base de données **Copernicus Open Access Hub** aux dates les plus proches de la période des incendies. Deux dates d'acquisition ont été retenues, à savoir le 11 et le 26 aout. Ces dernières répondent le mieux aux critères d'une exploitation optimale des images satellitaires telle que la faible couverture nuageuse. En outre, la visualisation, l'interprétation et l'analyse des images des capteurs satellitaires peuvent être difficiles car elles sont souvent exposées aux effets atmosphériques. Nous avons donc choisi des images au niveau L2.

Tableau 4:Données raster Sentinel-2 utilisées (Copernicus ; 2023)

N	Nom	Dates
1	S2B_MSIL2A_20220811T100559_N0400_R022_T32SMF_20220811T162101	11-08-2022
2	S2A_MSIL2A_20220826T100611_N0400_R022_T32SMF_20220826T162059	26-08-2022

### 3.1.2 Outils logiciel

Le traitement des images satellitaires requiert l'utilisation de logiciels spécialisés. Il existe plusieurs options sur le marché, certains logiciels étant sous licence privée avec un coût commercial, tandis que d'autres sont en open source et donc gratuits.

Dans cette partie nous avons choisi d'utiliser deux logiciels principaux :

- **SNAP** : logiciel de Télédétection, principalement pour l'exploitation des produits SENTINEL.
- **ArcGIS 10.4**: Est une suite de logiciels de traitement de l'information géographique (SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute). Il est composé de plusieurs modules, dont : ArcMap, ArcCatalog et Arctoolbox.

## 3.2 Méthodes

### 3.2.1 Préparation des limites du PNEK

- **Géo-référencement**

Pour géo-référencer la carte des limites du PNEK, quatre croisillons (points de référence) ont été sélectionnés sur le plan du PNEK et leurs coordonnées planes ont été relevées dans le référentiel géodésique Nord Sahara 1954 associé à la projection UTM 32. Une fois le géo-référencement effectué, une transformation de référentiel a été appliquée sur le plan pour passer au référentiel mondial WGS84 UTM zone 32, auquel sont associées les autres données.

- **Digitalisation**

L'étape de digitalisation consiste à transformer une image ou une carte géo-référencée en une couche de type vecteur. Cette étape est généralement manuelle et s'effectue à l'aide d'une souris

en appuyant directement sur l'écran à travers l'utilisation des outils de dessin (symbole, ligne, poly ligne, etc.). La digitalisation permet de représenter les informations sous forme de couches, dont le principe consiste à numériser le fichier par l'utilisation d'une table attributaire qui permet d'intégrer les données relative et les coordonnées des points. Cette étape est indispensable pour la création de données vectorielles utilisables dans les systèmes d'information géographique (SIG).

### 3.2.2 Calcul d'indices spectraux

L'organigramme suivant résume les principales étapes de la méthodologie adoptée (Figure 10).

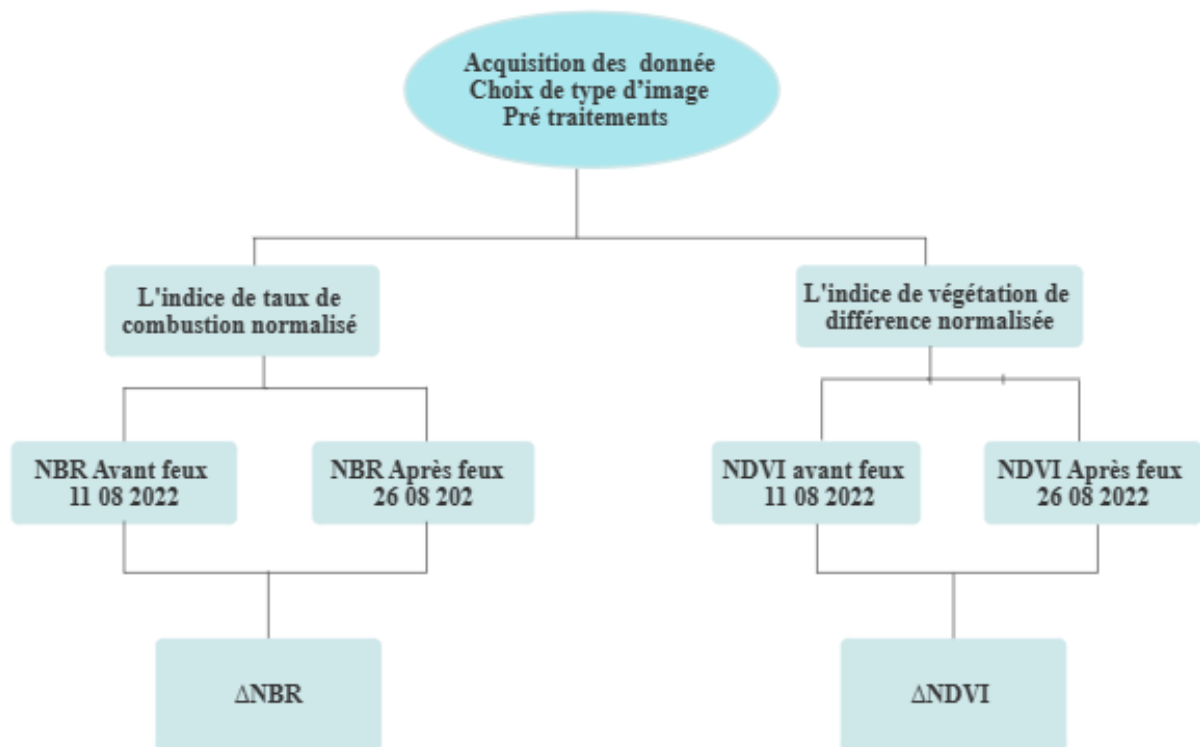


Figure 10: Organigramme représentatif des étapes de calcul des indices

#### 3.2.2.1 L'indice de taux de combustion normalisé (NBR)

Le taux de combustion normalisé (NBR) est un indice conçu pour mettre en évidence les zones brûlées dans les grandes zones d'incendie. La formule est similaire au NDVI, sauf que la formule combine l'utilisation des longueurs d'onde proche infrarouge (NIR) et infrarouge à ondes courtes (SWIR). (Keeley ; 2009)

L'indice NBR utilise le rapport entre les bandes NIR et SWIR, une valeur NBR élevée indique une végétation saine, tandis qu'une valeur faible indique un sol nu et des zones récemment brûlées. Les zones non brûlées sont normalement attribuées à des valeurs proches de zéro. (Keeley ; 2009)

La formule utilisée pour calculer le NBR est la suivante:

$$\text{NBR} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR}).$$

### 3.2.2.2 Sévérité des brûlages

La différence entre le NBR, pré-incendie et post-incendie, obtenu à partir des images est utilisée pour calculer le delta NBR (DNBR ou  $\Delta\text{NBR}$ ), qui peut ensuite être utilisé pour estimer la gravité des brûlages. Une valeur plus élevée de DNBR indique des dommages plus graves, tandis que les zones avec des valeurs DNBR négatives peuvent indiquer une repousse après un incendie. La formule utilisée pour calculer le DNBR est :

$$\Delta\text{NBR} = \text{NBR}_{\text{pré feux}} - \text{NBR}_{\text{post feux}}$$

L'United States Geological Survey (USGS) a proposé un tableau (tableau 3) de classification pour interpréter les degrés de sévérité. Il montre la classification de la sévérité des brûlages (**Keeley ; 2009**). Elle est considérée comme faible si le  $\Delta\text{NBR}$  est compris entre 0,1 et 0,269, faiblement modérée lorsque  $\Delta\text{NBR}$  est entre 0,27 et 0,439, hautement modérée si le  $\Delta\text{NBR}$  oscille entre 0,44 et 0,659, et hautement sévère si le  $\Delta\text{NBR}$  est compris entre 0,66 et 1,3.

Tableau 5: Degrés de sévérité obtenus en calculant le  $\Delta\text{NBR}$ , proposés par l'USGS

Degré de gravité	DNBR plage(mise à l'échelle par 10)	DNBR gamme (pas d'escalade)
Améliorer la repousse, hauteur (après incendies)	-500 a -251	-0,500 a -0,251
Améliorer repousse, faible(après le tir)	-250 a -101	-0,250 a -0,101
Non brûlé	-100 a +99	-0,1003 a +0,99
Faible gravité	+270 a +439	+0,100 a 0,269
Gravité modérée à faible	+440 a 659	+0,270 a + 0,439
Gravité moyenne à élevée	+440a +659	+0,440 a + 0,65
Gravité élevée	+440 a 1300	+0,660 a + 1,300

Les données et les cartes sur la gravité des brûlures peuvent aider à élaborer des plans de réhabilitation et de restauration d'urgence - après l'incendie. Ils peuvent être utilisés pour

estimer non seulement la gravité des brûlures du sol, mais aussi la probabilité d'impacts futurs en aval dus aux inondations, aux glissements de terrain et à l'érosion du sol. (Keeley ; 2009)

### 3.2.2.3 L'indice de végétation de différence normalisée (NDVI)

L'indice de végétation de différence normalisée (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) permet de générer une image montrant la couverture végétale, appelée biomasse relative. Cet indice tire parti du contraste des caractéristiques de deux canaux d'un jeu de données raster multi spectral : l'absorption de pigments chlorophylliens dans le canal du rouge et la réflectivité élevée des matières végétales dans le canal du PIR (Rouse et al. ; 1974).

La formule de calcul est :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR-Rouge}) / (\text{PIR}+\text{R})$$

Le calcul du  $\Delta\text{NDVI}$  qui met en évidence le changement du couvert végétal entre les deux dates se fait comme suite :

$$\Delta\text{NDVI} = \text{NDVI}_{\text{Avant feux}} - \text{NDVI}_{\text{Après feux}}$$

### 3.2.3 Cartes d'occupation du sol pour l'année 2021 et 2022

Le territoire de la wilaya d'El Tarf a été subdivisé en 5 grandes classes d'occupation du sol :

- La végétation ;
- L'agriculture ;
- Les plans d'eau ;
- Le sable ;
- Le bâti.

La carte d'occupation du sol est un outil indispensable à la projection territoriale, la gestion des ressources naturelles, le suivi des changements environnementaux et, la prévention des risques naturels, l'analyse des habitats et de la biodiversité. Elle fournit des informations précieuses qui aident à la prise de décision éclairée dans le domaine de l'aménagement du territoire et de la protection de l'environnement.

Le but de la réalisation de la carte d'occupation du sol et de déterminée les différentes variations causées par les incendies sur les différentes classes du sol du PNEK.

- **Source des données**

L'opération de vectorisation des couches vectorielles, représentant chaque classe, a été réalisée à l'aide du Arcmap10.4, les données de l'ensemble sont tirées gratuitement à l'aide de la base des données Sentinel 2 Land Cover Explorer (<https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/>) deux fichiers de forme Vecteur (Shape files) obtenus de l'année 2021 et 2022 du PNEK.



Figure 11: le programme sentinelle 2 land cover explorer

### Parite2 : Évaluation des variations de la qualité de l'eau de mer de la côte

L'objectif de cette partie est de déterminer les variations de la qualité de l'eau de mer de la côte du parc en s'appuyant sur la chlorophylle, la matière totale en suspension et la turbidité en tant qu'indicateurs clés du changement après le passage des incendies. A cet effet, nous avons choisi l'été 2023 comme date de référence où il n'y a pas eu d'incendies dans le parc, et avons ainsi comparé les paramètres de la qualité de l'eau de l'année de référence avec ceux des étés des années 2021 et 2022 marquées par d'importantes incendies.

#### Données utilisées

- **Vecteur (Shape files)**

Les données « vecteur » utilisées dans cette partie sont :

Les limites du PNEK issues du géo-référencement et de la digitalisation du plan numérique du parc.

La couche géo-spatiale contenant la localisation de huit stations en mer et près de la côte.

- **Raster**

## Chapitre 03: Matériels et méthodes

Pour cette mission, notre choix s'est porté sur la mission S-2 mode L1C de l'année 2021, 2022, et 2023. Les données de l'ensemble proviennent d'images satellitaires S-2 capturées avant et après les incendies dans le PNEK au cours des années 2021-2022 et de l'année de référence. Pour chaque année, nous avons sélectionné deux images à savoir le 12 juillet 2021 avant les incendies et le 16 août 2021 après les incendies. Pour l'année 2022, nous avons choisi le 11 août comme date avant les incendies et le 10 septembre date après les incendies.

Ces images ont été obtenues à partir de la base de données Copernicus Open Access Hub.

Tableau 6: Données raster Sentinel-2 modes 1c utilisées (**Copernicus ; 2023**)

N	Nom	Dates
1	S2B_MSIL1C_20180713T101029_N0206_R022_T32SMF_20180713T135922.SAFE	13 07 2018
2	S2A_MSIL1C_20180817T101021_N0206_R022_T32SMF_20180817T141018.SAFE	17 08 2018
3	S2B_MSIL1C_20180911T101019_N0206_R022_T32SMF_20180911T154541.SAFE	11 09 2018
4	S2A_MSIL1C_20210712T101031_N0301_R022_T32SMF_20210712T122647.SAFE	12 07 2021
5	S2B_MSIL1C_20210816T100559_N0500_R022_T32SMF_20230213T060849.SAFE	16 08 2021
6	S2B_MSIL1C_20220811T100559_N0400_R022_T32SMF_20220811T153441	11 08 2022
7	S2B_MSIL1C_20220910T100559_N0400_R022_T32SMF_20220910T121748	10 09 2022

### 3.1 Outils logiciel

- **Google Earth Pro**

Google Earth Pro offre la possibilité d'afficher des images satellites de très haute résolution sur une échelle mondiale, avec une archive qui couvre près de deux décennies. De plus, il met à disposition des outils d'édition permettant la création d'entités géographiques vectorielles telles

que des points, des lignes et des polygones. Ces entités peuvent être sauvegardées au format KML ou exportées sous forme de fichiers Shape file.

- **SNAP**

En vue de la démarche envisagée, nous avons utilisé le logiciel SNAP pour le traitement d'images, le logiciel ArcGIS pour la représentation cartographique des résultats et l'Excel pour l'analyse statistique.

### 3.2 Méthode

Afin d'estimer les paramètres de la qualité de l'eau, nous avons opté pour l'application de l'algorithme C2RCC, implémenté dans SNAP. L'analyse comparative des résultats permettra de détecter la présence ou pas de fluctuations importantes des paramètres de la qualité de l'eau par rapport à la référence.

#### 3.2.1 Couleur côtière régionale de cas 2 (C2RCC)

C2RCC est un processeur pour la correction atmosphérique et la récupération des constituants de l'eau à partir d'images satellitaires optiques acquises par une variété de capteurs. Les bases algorithmiques du C2RCC ont été posées par Schiller et Doerffer (1999) qui a été le pionnier d'une méthodologie pour aborder le problème de la correction atmosphérique et de la récupération dans l'eau au moyen de techniques d'apprentissage automatique. Ils ont formé des réseaux de neurones artificiels avec des spectres représentatifs générés par la modélisation par transfert radiatif. Les réseaux ont d'abord été mis en œuvre dans le processeur régional Case-2 pour des eaux intérieures spécifiques et génériques, qui plus tard a évolué pour devenir le processeur C2RCC (**Brockmann et al. ; 2016**).

Les paramètres d'entrée de l'algorithme sont : des mesures de la réflectance de la lumière dans différentes bandes spectrales, des données sur les caractéristiques optiques de l'eau (la concentration de particules en suspension, la couleur de l'eau), des données sur les conditions atmosphériques comme la teneur en aérosols et la quantité de vapeur d'eau, ainsi que des données sur la géométrie d'observation, telles que l'angle d'incidence du soleil et l'angle de vue du capteur.

Les paramètres de sortie sont la concentration de Chl-a dans l'eau, qui est un indicateur important de la biomasse et de la productivité des écosystèmes marins, ainsi que des données sur la qualité de l'eau, telles que la turbidité et la concentration en matières en suspension.

### Chapitre 03: Matériels et méthodes

Une fois les images téléchargées, nous avons effectué un prétraitement sur les quatre images qui comprend le ré-échantillonnage et l'extraction spatiale des données. Il s'en est suivi l'application de l'algorithme C2RCC. L'étape suivante est le choix de huit stations côtières (voir tableau en annexe) de façon à couvrir l'embouchure du canal d'Oued Messida.

Après avoir sélectionné les sept stations proches de la sortie du canal d'Oued Messida à l'aide de Google Earth Pro, nous avons converti le fichier au format KML en un fichier au format SHP en utilisant le logiciel ArcMap.

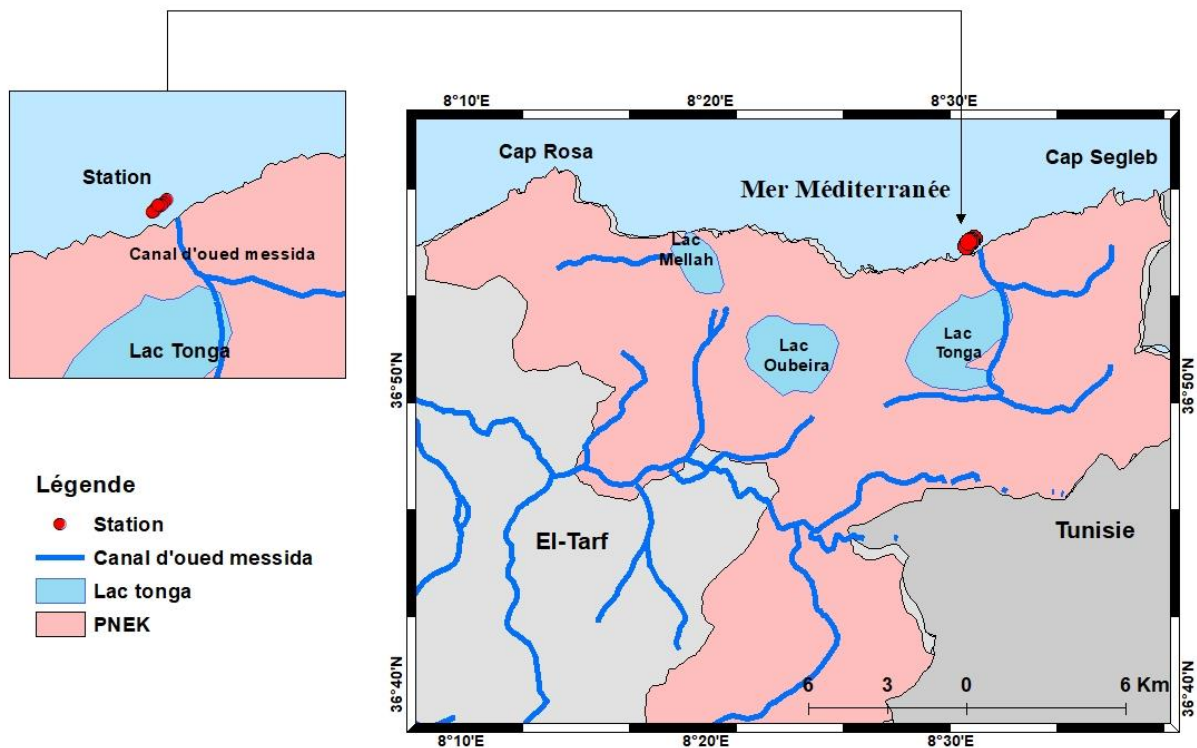


Figure 12: Carte géographique du littoral du PNEK et les stations choisies pour l'étude.

*Résultats ET*  
*Discussions*

#### 4. Chapitre 04 : Résultats et discussions

Les résultats obtenus et leur discussion sont présentés dans ce qui suit en commençant par la quantification des zones incendiées en 2022 suivi de l'évaluation de l'impact sur le milieu marin.

##### 4.1 Identification des zones incendiées

La figure 13 représente une composition colorée du PNEK à deux dates différentes, pré-incendies (Figure 13a) et post incendies de l'été 2022 (Figure 13b). La carte 13a (pré-incendies) montre une harmonie dans le paysage avec une bonne couverture végétale, apparaissant dans un vert vif, à l'intérieur du PNEK. Cependant, la carte à 13b(post-incendies) montre clairement l'apparition de surfaces rouge qui indiquent les zones incendiées.

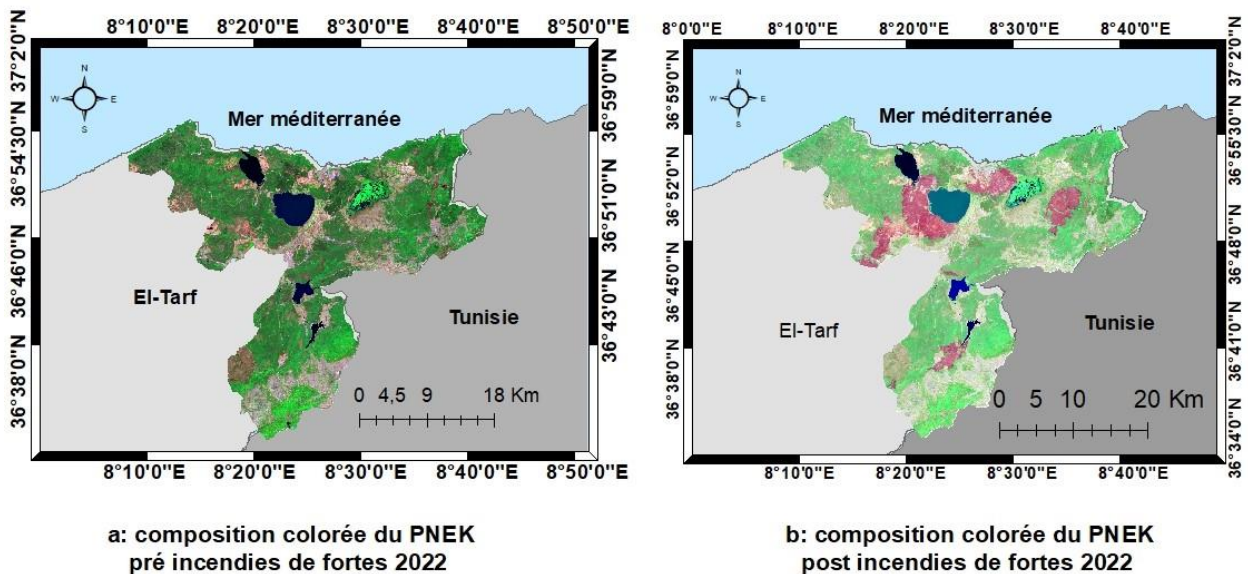


Figure 13: Composition colorée de PNEK, pré-incendie et post-incendie de l'été 2022

##### 4.1.1 Carte de Sévérité des brûlages (2022)

La figure 14 représente la carte de le NBR pré-incendies (Figure 14a) et le NBR post-incendies de l'été 2022 (Figure 14b) à partir du 11 aout 2022. L'indice DNBR de l'été 2022 (figure 14c),

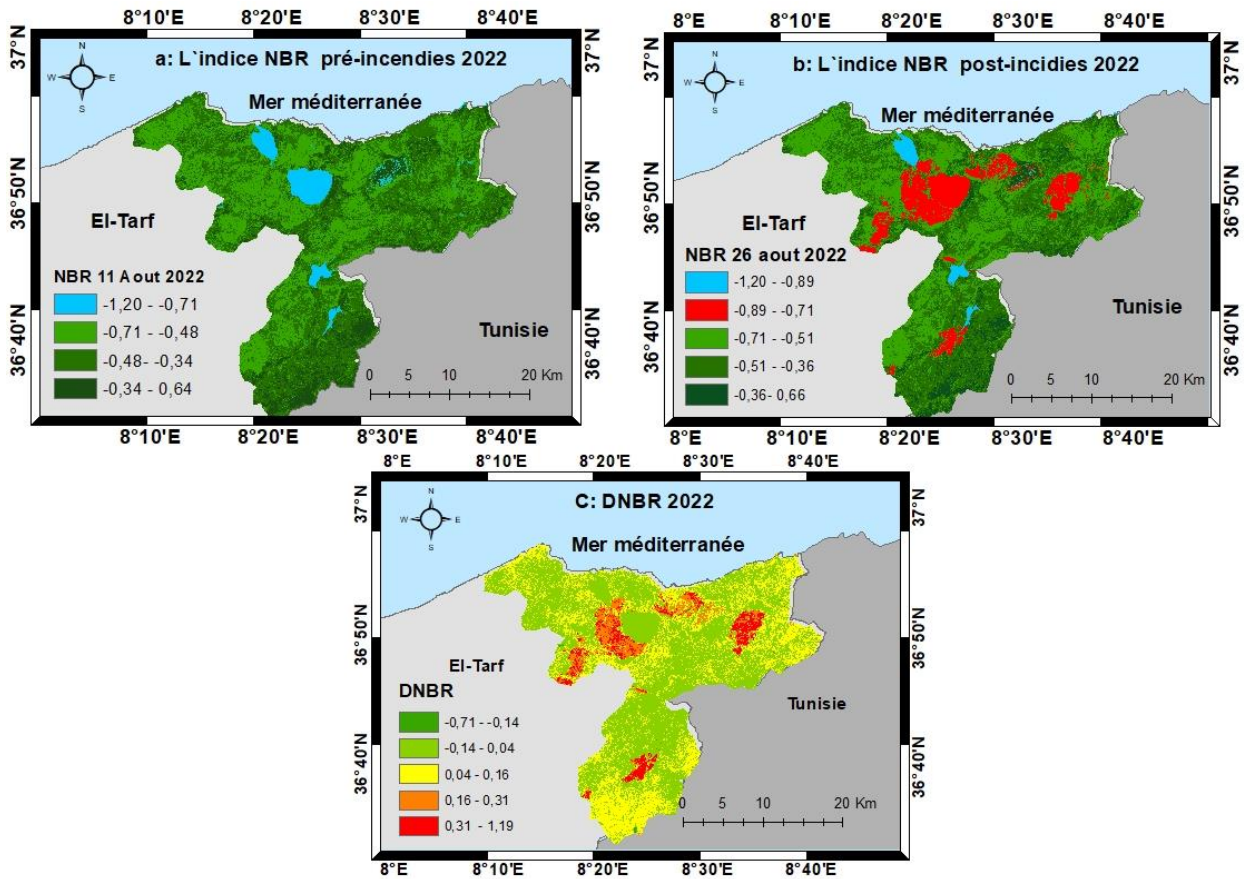


Figure 14: carte de la sévérité des brûlages des incendies des fortes de 2022

Après avoir calculer l'indice NBR pré-post incendies nous avons obtenu une valeur de  $\Delta NBR$  de 0,9, ce qui signifie hautement sévère, qui indique des dommages remarquables au niveau de parc.

La superficie brule par les incendie de l'été de 2022 est de **85,06 Km<sup>2</sup>** qui indique une dégradation de la couverture végétale du PNEK

#### 4.1.2 Carte de l'indice NDVI (2022)

En suivant la même méthode mentionnée précédemment pour le traitement de l'indice NBR, nous avons travaillé avec deux dates différentes : le 11 Aout 2022 (Figure 15a), représentant la période antérieure à l'incendie, et le 26Aout2022 (représentant la date postérieure à l'incendie (Figure 15b); ensuite nous avons utilisé les fonctionnalités du logiciel ArcMap 10.4. Le logiciel a généré un résultat sous forme de carte de l'indice NDVI (Figure 15c) pour l'incendie de 2022, comme illustré ci-dessous:

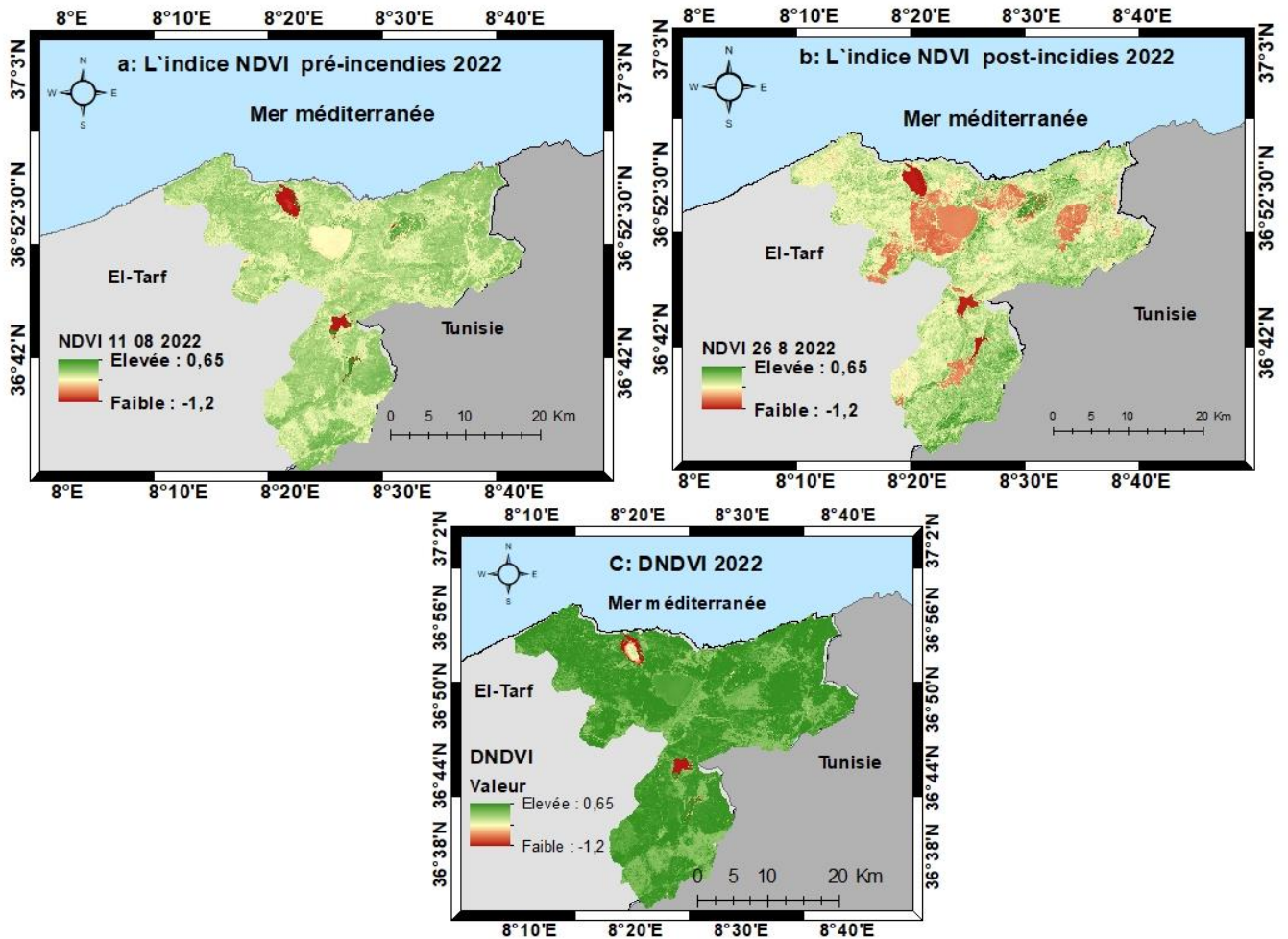


Figure 15: Carte de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) du PNEK 2022.

Après avoir calculé l'indice NDVI avant et l'indice NDVI après, nous avons observé que le delta NDVI était compris entre -0,67 et -0,99. Cette plage de valeurs indique une réduction significative de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), ce qui entraîne des impacts substantiels sur la biomasse végétale, la biomasse animale et la composition du sol.

#### 4.1.3 Carte d'occupation du sol pour l'année 2021 et 2022

La figure 16 représente l'occupation du PNEK à deux années différentes, l'année 2021 (figure 16a) et 2022 (Figure 16b). La carte en haut montre une harmonie dans le paysage avec une bonne couverture végétale. Cependant, la carte en bas montre clairement une diminution de la couverture végétale et des différentes classes de l'occupation.

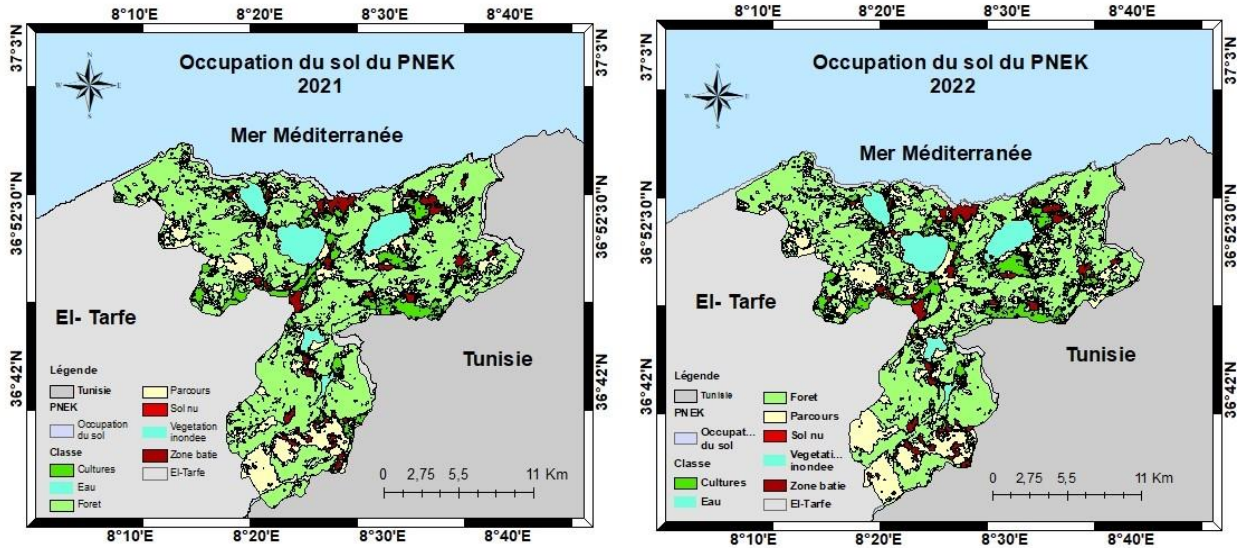


Figure 16 : Carte d'occupation du sol du PNEK 2021-2022

La résolution des images satellites utilisées permet de détecter les changements dans les trois catégories d'information (forêt, cultures et parcours), dont les résultats sont présentés sous forme de deux cartes pour les années 2021 et 2022. Après avoir créé des cartes d'occupation des sols à l'aide du logiciel ArcMap 10.4.1, nous avons constaté ce qui suit :

- La couverture végétale de la forêt a diminué au cours de la période entre 2021 et 2022 en raison des incendies qui ont ravagé plus de 10 000 hectares.
- Cette diminution est associée à une réduction de la superficie des cultures en 2022 par rapport à 2021.
- En revanche, nous avons observé une augmentation des surfaces de parcours en 2022 par rapport à 2021.
- Les classe de sol nu, d'eau et de zones bâties n'ont subi aucun changement significatif entre les deux années.

#### 4.2 Parite2 : Évaluation des variations de la qualité de l'eau de mer sur la côte du Parc: Analyse des impacts des années 2021 et 2022

Après avoir exposé en détail la méthode utilisée pour appliquer l'algorithme de C2RCC, nous passons maintenant à la discussion des résultats issus par l'algorithme c2rcc de la chlorophylle ; la matière totale en suspension et la turbidité comme indicateur clé.

Ces résultats ont été soumis à un traitement statistique à l'aide de Microsoft Office Excel. L'objectif de cette section et est d'identifier les variations de la qualité de l'eau de mer après les

incidents survenus en 2021-2022, en mettant en avant la chlorophylle; la matière totale en suspension et la turbidité en tant qu'indicateurs clés.

## 4.2 Analyse des Impacts de l'année 2021

### 4.2.1 Chlorophylle-a

La figure 17 montre la variation de la Chl-a de la cote du PNEK de l'année 2021 ainsi que 2018 l'année de référence (sans incendies) a deux data différentes pour chaque année: avant les incendies de l'été 2021 (Figure 17a) et après les incendies (Figure 17b), ainsi que les estimations des concentrations de Chl-a en 2018, année de référence (sans incendies) (Figure 17c et 17d). La carte 17a dépeint une harmonie de couleurs, affichant des teintes entre le vert et le jaune. En revanche, la carte 17b à met en évidence clairement les variations de la composition colorent qui indique des variation significatif concentrations de Chl-a, qui reflètent les impacts des incendies sur l'environnement marin.

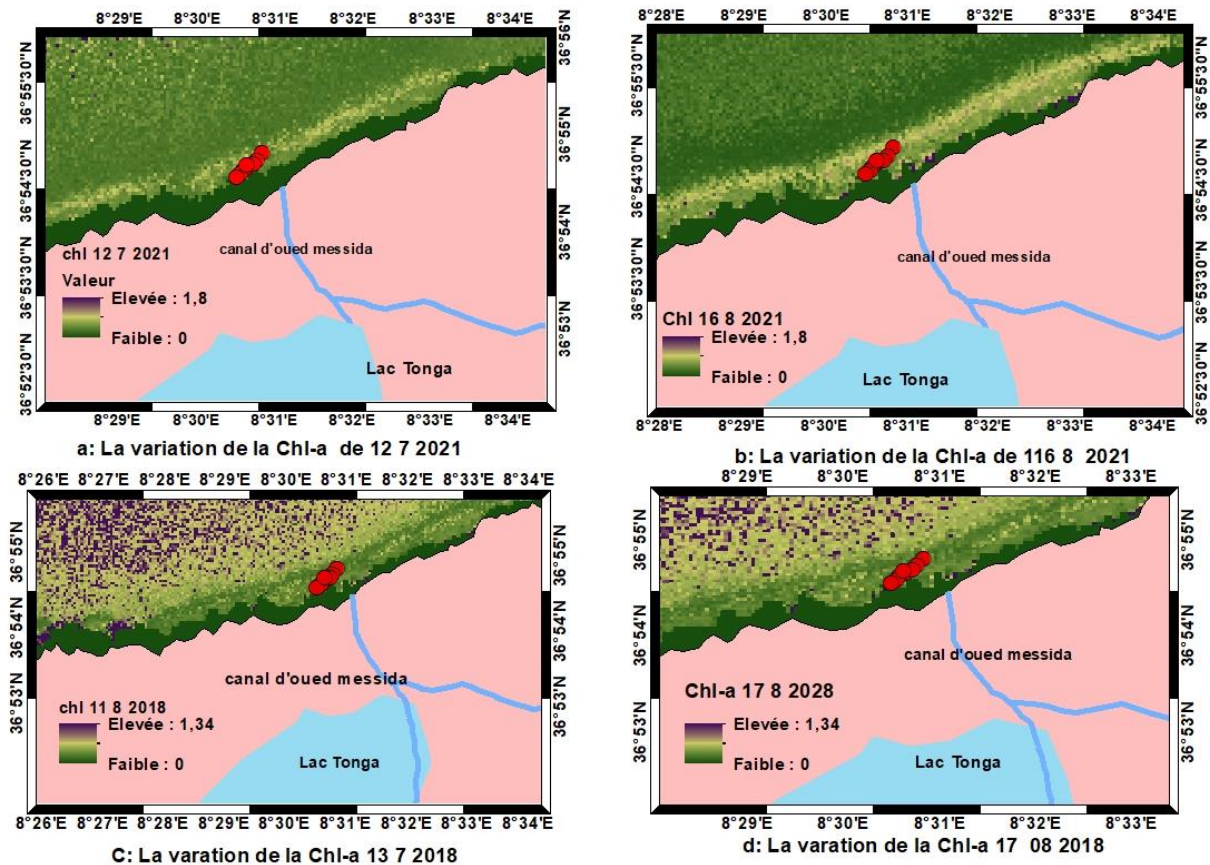


Figure 17 : Analyse visuelle des changements de concentration de Chl-a avant et après les incendies de 2021, en comparaison avec l'année de référence 2018, à l'aide de couleurs.

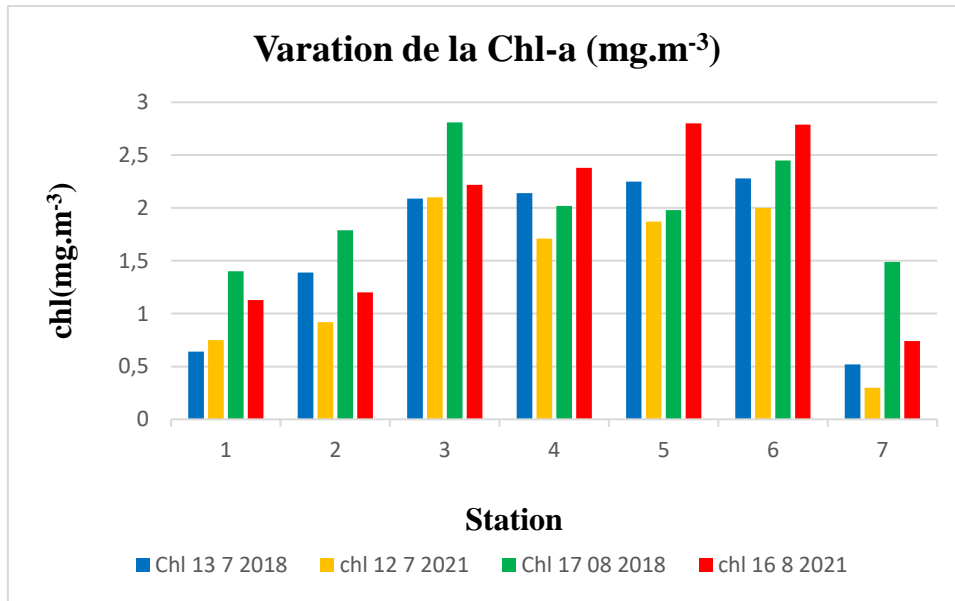


Figure 18: Variation des concentrations de la chlorophylle avant-après les incendies de l'année 2021 comparaitre par l'année de référence 2018.

La figure 18 montre les concentrations de Chl-a (en mg.m<sup>-3</sup>) avant (orange) et après (rouge) le déclenchement des feux de forêts de l'été 2021 au niveau des sept (07) stations (1-7) le long des côtes du PNEK. Nous remarquons qu'avant les feux, le 12/07/2021, les concentrations de Chl-a variaient entre 0,25 mg.m<sup>-3</sup> et 2 mg.m<sup>-3</sup> alors qu'après les feux, le 16/08/2021, l'intervalle est passé à environ (0,6-2,75) mg.m<sup>-3</sup>. Aussi, au niveau de chaque station, les estimations des concentrations de Chl-a après les feux sont supérieures à celles avant les feux. Néanmoins, les estimations des concentrations de Chl-a en 2018, année de référence (sans feux), aux mêmes dates (jours et mois) de l'année 2021 où il y a eu des feux de forêts montrent trois aspects. Dans les stations 4, 5 et 6, les mesures sont presque les mêmes alors que dans les stations 1 et 2, les estimations à la date après (vert) sont supérieures à celles avant (bleu). Exceptionnellement, la station 7 montre une concentration à la date après (17/08/2018) qui est presque 3 fois plus grande que celle mesurée avant (le 13/07/2018).

#### 4.2.2 La MES

La figure 19 montre la variation de la MES de la cote du PNEK de l'année 2021 ainsi que 2018 l'année de référence (sans incendies) a deux data différentes pour chaque année: avant (Figure 19a) et après le déclenchement des feux (Figure 19b) de l'été de 2021, ainsi que les estimations des concentrations de MES en 2018, année de référence (sans incendies) (Figure 19c et 19d). La carte 19a afficher palette de couleurs harmonieuses, affichant des teintes entre le vert au rouge. En contraste, la carte 19b à met en évidence clairement les variations de la composition

colorent qui indique des variation significatif concentrations de la MES, qui explique les effets des incendies sur l'environnement marin.

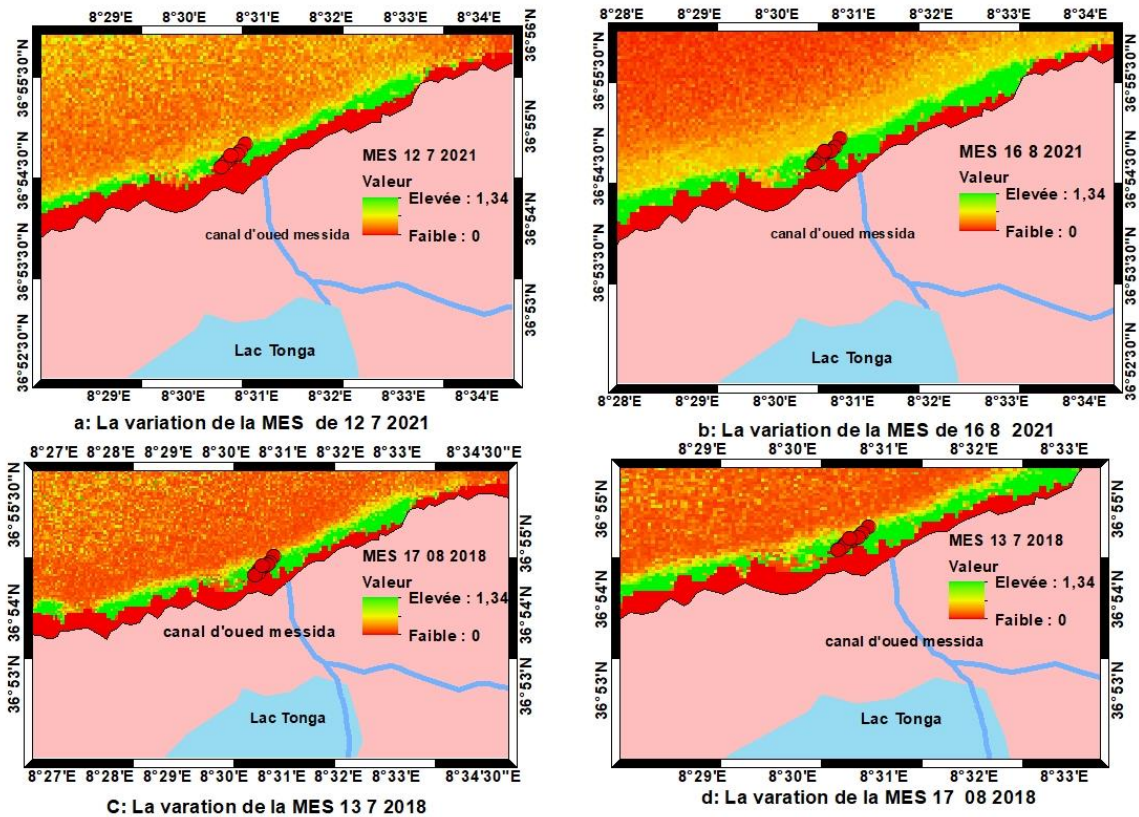


Figure 19: Analyse visuelle des changements de concentration de MES avant et après les incendies de 2021, en comparaison avec l'année de référence 2018.

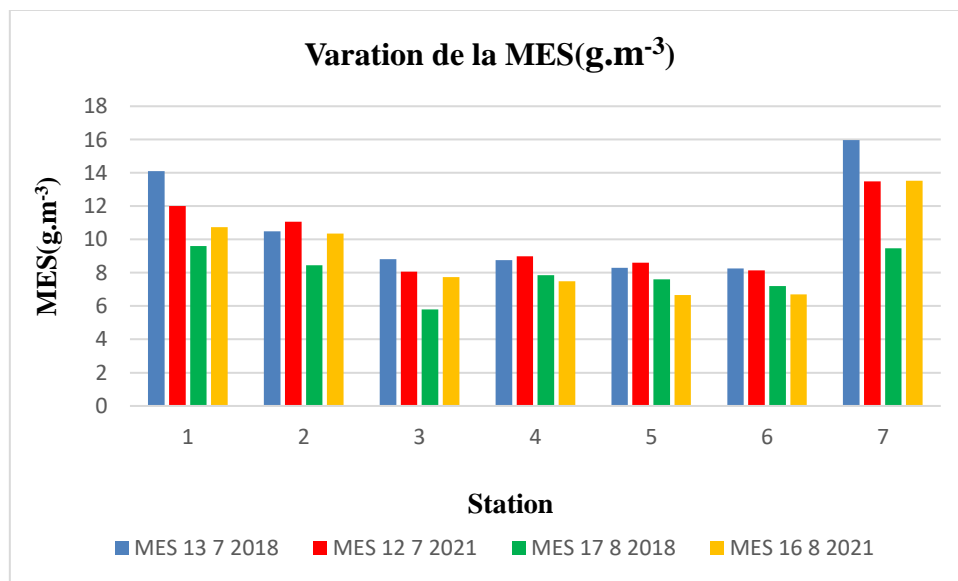


Figure 20: Variation des concentrations de la MES avant-après les incendies de l'année 2021 comparaitre par l'année de référence 2018.

La figure 20 montre les concentrations de MES (en. g.m-3) avant (rouge) et après (orange) le déclenchement des feux de forêts de l'été 2021 au niveau des sept (07) stations (1-7) le long des côtes du PNEK. Nous remarquons qu'avant les feux, le 12/07/2021, les concentrations de la MES variaient entre 8,06 g.m-3 et 13,49 g.m-3 alors qu'après les feux, le 16/08/2021, l'intervalle est passé à environ (6,66-13,53) g.m-3. Aussi, au niveau de chaque station, les estimations des concentrations de la MES après les feux sont inférieures à celles avant les feux. Néanmoins, les estimations des concentrations de MES en 2018, année de référence (sans feux), aux mêmes dates (jours et mois) de l'année 2021 où il y' a eu des feux de forêts montrent trois aspects. Dans les stations 4, 5 et 6, les mesures sont presque les mêmes alors que dans les stations 1 et 2, les estimations à la date après (orange) sont inférieures à celles avant (rouge). Exceptionnellement, la station 7 montre une concentration à la date après (17/08/2018) qui est presque 3 fois plus grande que celle mesurée avant (le 13/07/2018).

### **4.2.3 TURB**

La figure 21 montre la variation de la turbidité de la cote du PNEK de l'année 2021 ainsi que 2018 l'année de référence (sans incendies) a deux data différentes pour chaque année: avant (Figure 21a) et après le passage des feux (Figure 21b) de l'été de 2021, ainsi que les estimations des concentrations turbidité (TURB) en 2018, année de référence (sans incendies) (Figure 21c et 21d). La carte 21a affiche palette de couleurs harmonieuses, affichant des tentes entre le bleu et le vert. En contraste, la carte 21b met en évidence clairement les variations de la composition colorent qui indique des variations significatives de la concentration de la TURB qui explique l'effet de passage des incendies de l'été de 2021 sur le parc

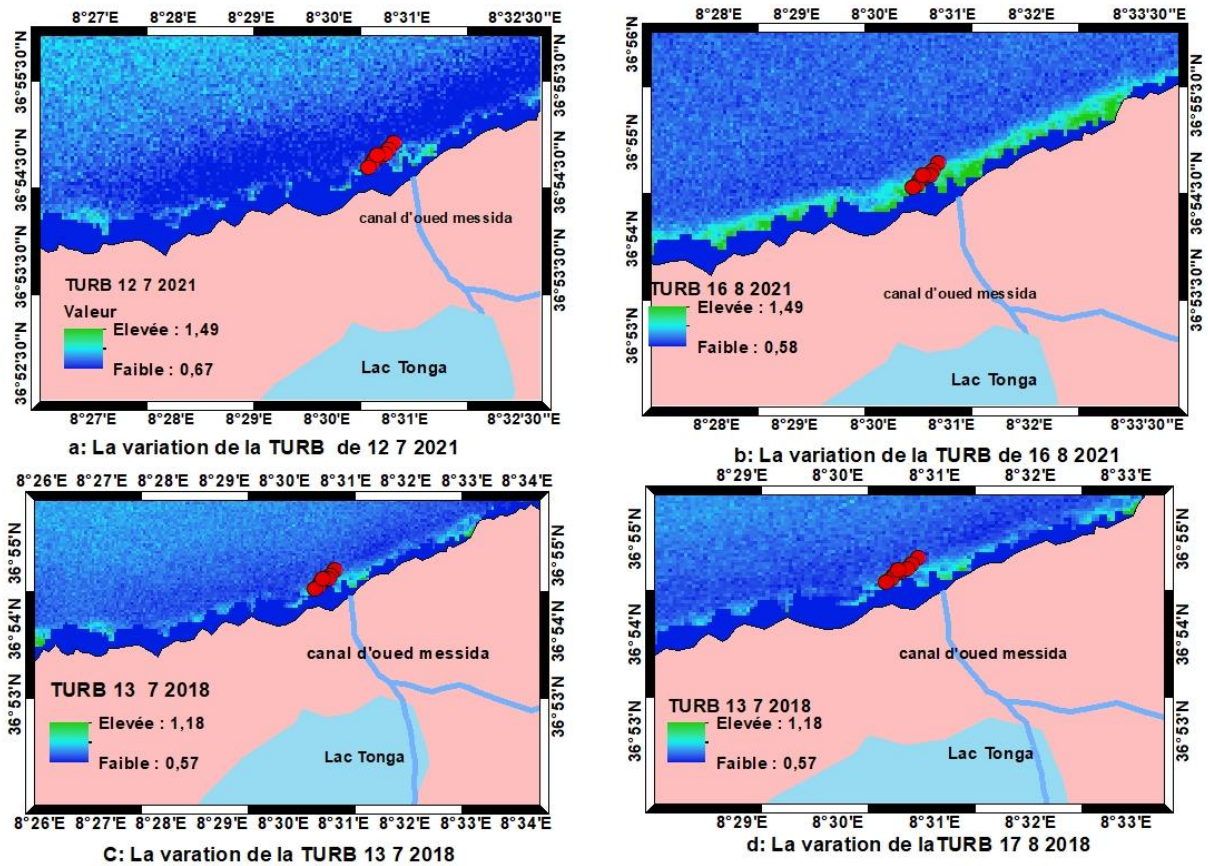


Figure 21: Analyse visuelle des changements de concentration de TURB avant et après les incendies de 2021, en comparaison avec l'année de référence 2018, à l'aide de couleurs.

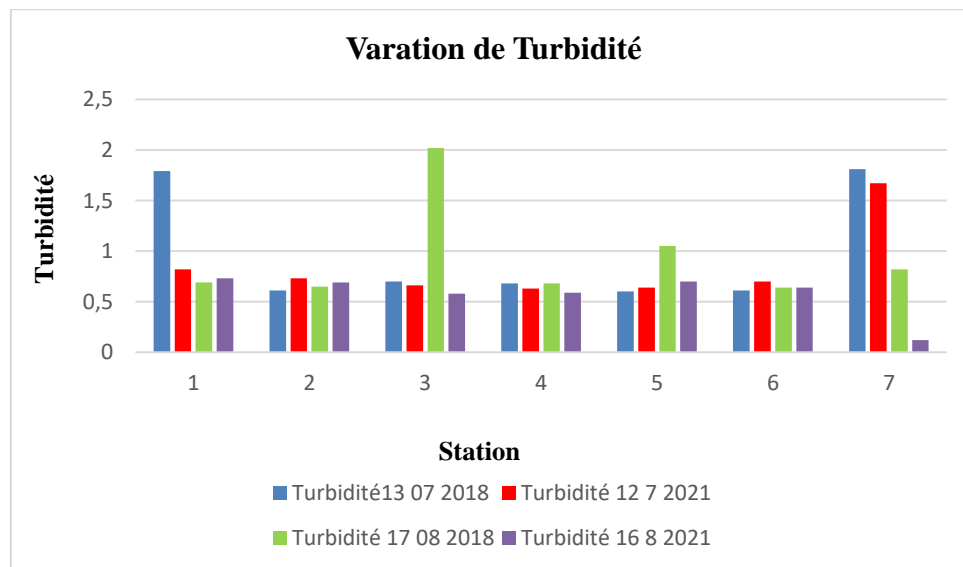


Figure 22: Variation des concentrations de la turbidité avant-après les incendies de l'année 2021 comparaitre par l'année de référence 2018

La figure 22 montre les concentrations de TURB (NTU) (avant bleu) et après (violet) le déclenchement des feux de forêts de l'été 2021 au niveau des sept (07) stations (1-7) le long des côtes du PNEK. Nous remarquons qu'avant les feux, le 12/07/2021, la TURB variaient entre 0,63 NTU et 1,67 NTU, alors qu'après les feux, le 16/08/2021, l'intervalle est passé à environ (0,12-0,73) NTU. Aussi, au niveau de chaque station, les estimations des concentrations de la TURB après les feux sont inférieures à celles avant les feux. Néanmoins, les estimations des concentrations de TURB en 2018, année de référence (sans feux), aux mêmes dates (jours et mois) de l'année 2021 où il y a eu des feux de forêts montrent trois aspects. Dans les stations 4, 5 et 6, les mesures sont presque les mêmes alors que dans les stations 1 et 2, les estimations à la date après (violet) sont inférieures à celles avant (rouge). Exceptionnellement, la station 7 montre une concentration à la date après (16/08/2021) qui est de presque démultipliée 1/2 de la valeur mesurée avant (le 12/07/2021).

### **4.3 Analyse des Impacts des Années 2022**

#### **4.3.1 Chlorophylle-a**

La figure 23 montre la variation de la Chl-a de la cote du PNEK de l'année 2022 ainsi que 2018 l'année de référence (sans incendies) a deux data différentes pour chaque année: avant les incendies de l'été 2022 (Figure 23a) et après les incendies (Figure 23b), ainsi que les estimations des concentrations de Chl-a en 2018, année de référence (sans incendies) (Figure 23c et 23d). La carte 23b dépeint une harmonie de couleurs, affichant des teintes entre le vert et le violet. En revanche, la carte 23b à met en évidence clairement les variations de la composition coloré qui indique des variations significatives de la Chl-a, qui reflètent les impacts des incendies de l'été 2022 sur l'environnement marin de parc.

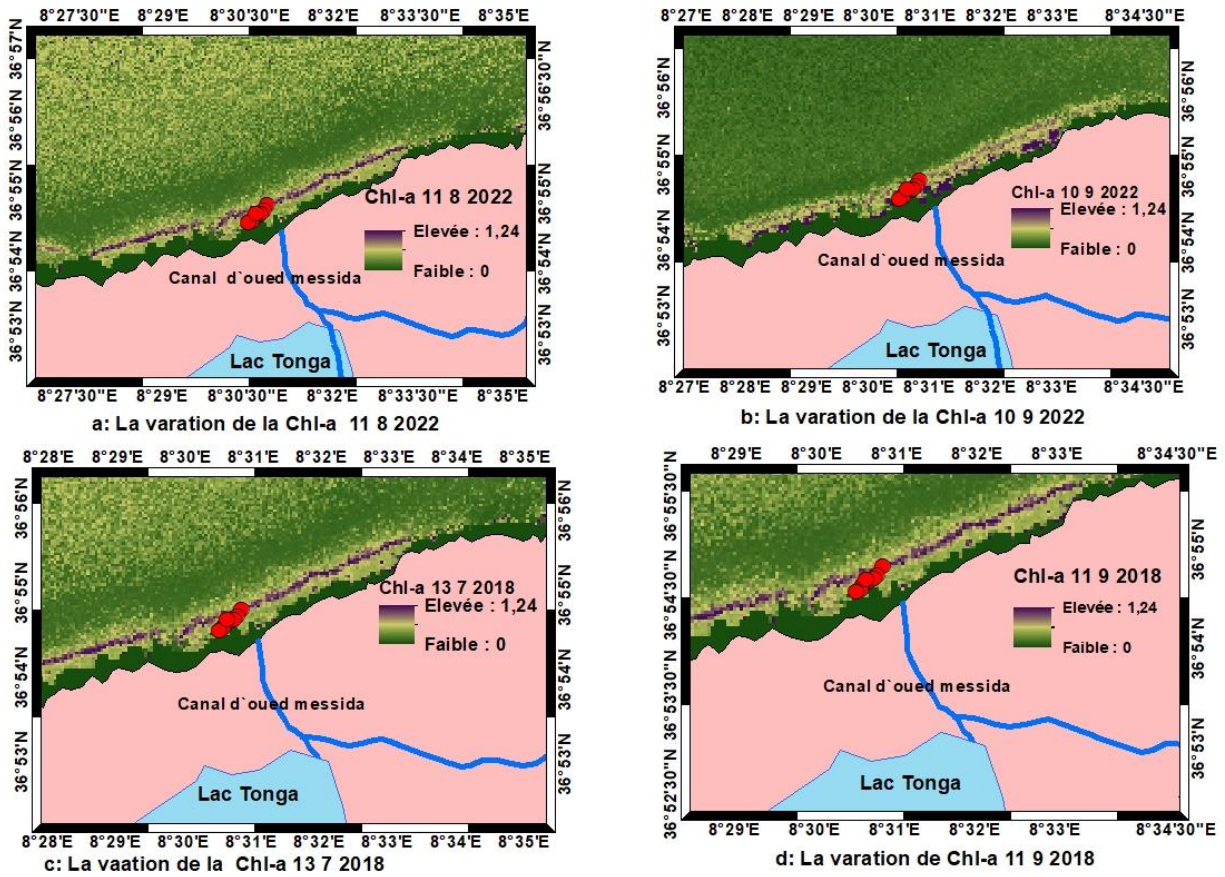


Figure 23: Analyse visuelle des changements de concentration de Chl-a avant et après les incendies de 2022, en comparaison avec l'année de référence 2018

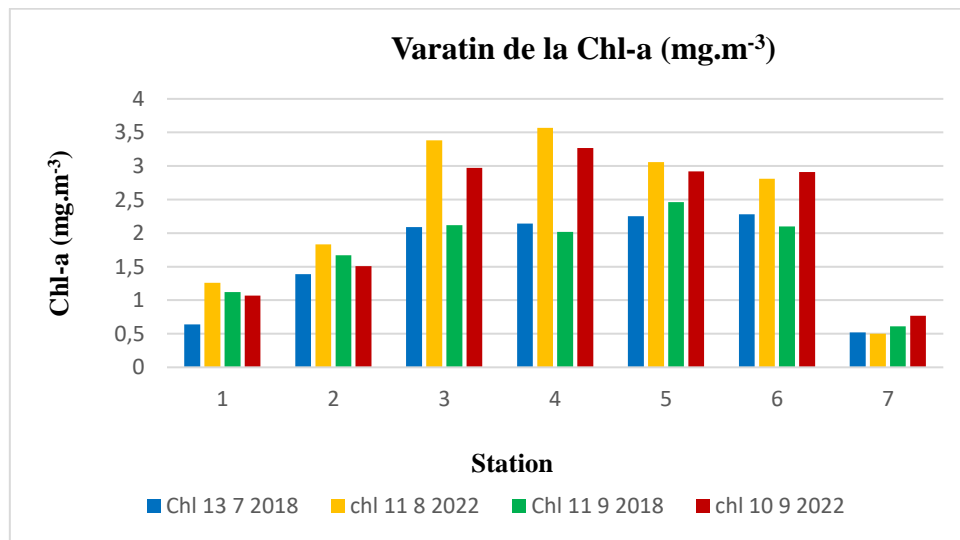


Figure 24: Variation des concentrations de la chl-a avant-après les incendies de l'année 2022 comparaitre par l'année de référence 2018.

La figure 24 montre les concentrations de Chl-a (en mg.m<sup>-3</sup>) avant (orange) et après (rouge) le déclenchement des feux de forêts de l'été 2022 au niveau des sept (07) stations (1-7) le long

des côtes du PNEK. Nous remarquons qu'avant les feux, le 11/08/2022, les concentrations de Chl-a variaient entre 0,5 mg.m-3 et 3,57 mg.m-3 alors qu'après les feux, le 10/09/2022, l'intervalle est passé à environ (0,77-3,57) mg.m-3. Aussi, au niveau de chaque station, les estimations des concentrations de Chl-a après les feux sont supérieures à celles avant les feux. Néanmoins, les estimations des concentrations de Chl-a en 2018, année de référence (sans feux), aux mêmes dates (jours et mois) de l'année 2022 où il y' a eu des feux de forêts montrent trois aspects. Dans les stations 4, 5 et 6, les mesures sont presque les mêmes alors que dans les stations 1 et 2, les estimations à la date après (marron) sont supérieures à celles avant (bleu). Exceptionnellement, la station 7 montre une concentration à la date après (10/09/2022) qui a augmenté de 0,52 à 0,77 que celle mesurée avant (le 11/08/2022).

### **4.3.2 La MES**

La figure 25 montre la variation de la MES de la cote du PNEK de l'année 2022 ainsi que 2018 l'année de référence (sans incendies) a deux data différentes pour chaque année: avant (Figure 25a) et après le déclenchement des feux (Figure 25b) de l'été de 2022, ainsi que les estimations des concentrations de MES en 2018, année de référence (sans incendies) (Figure 25c et 25d). La carte 25a affiche palette de couleurs harmonieuses, affichant des teintes entre le vert vif, bleu et marrons. En contraste, la carte 25b met en évidence clairement les variations de la composition colorée qui indique des variations significatives des concentrations de la MES, qui explique les effets des incendies sur l'environnement marin.

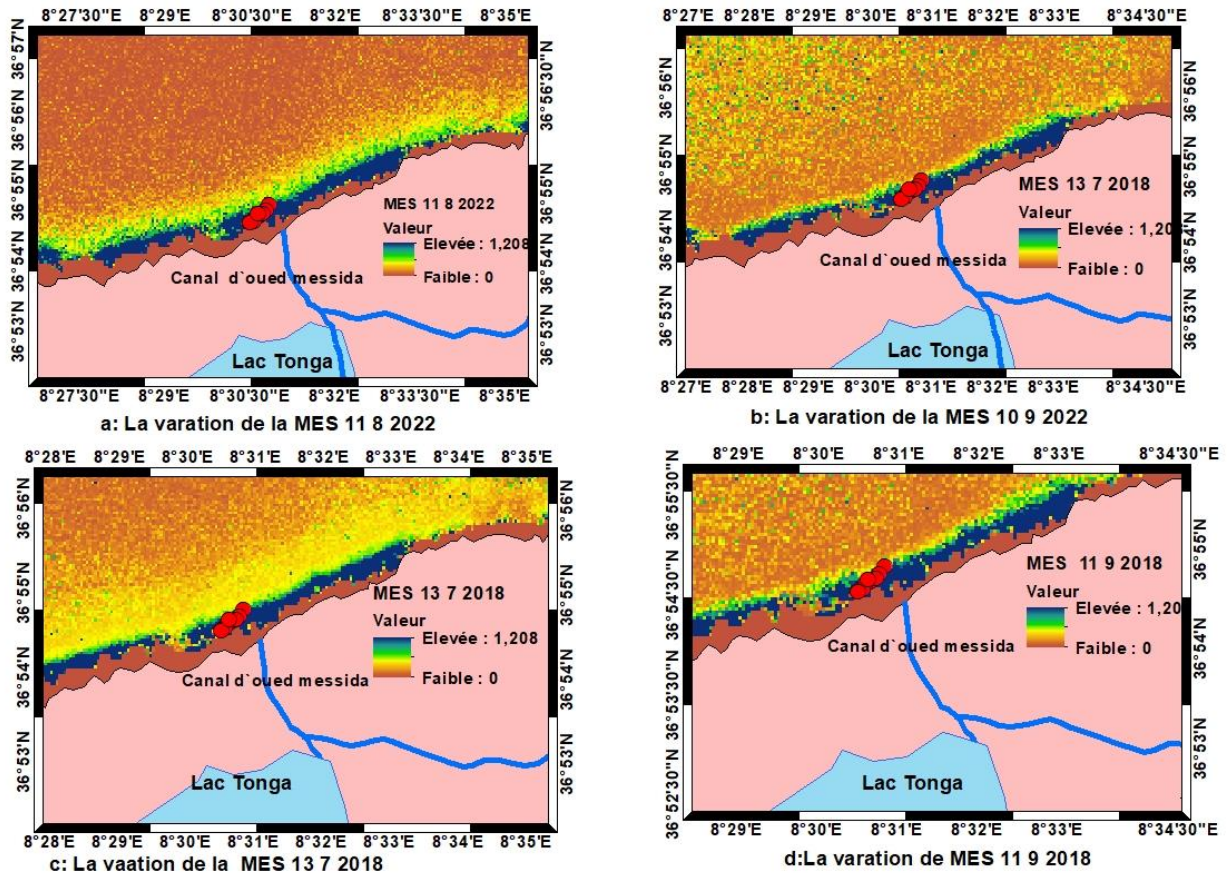


Figure 25: Analyse visuelle des changements de concentration de MES avant et après les incendies de 2022, en comparaison avec l'année de référence 2018

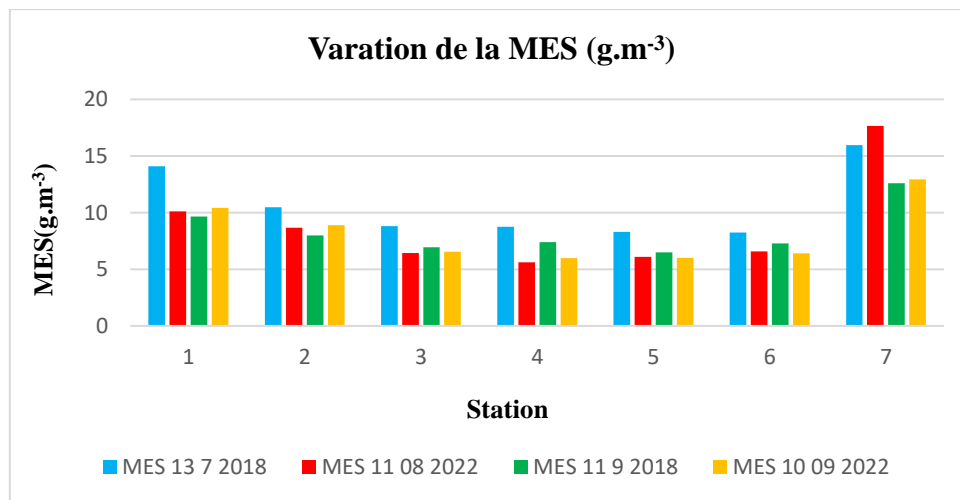


Figure 26: Variation des concentrations de la MES avant-après les incendies de l'année 2022 comparaitre par l'année de référence 2018.

La figure 26 montre les concentrations de MES en (g.m<sup>-3</sup>) avant (rouge) et après (orange) le déclenchement des feux de forêts de l'été 2022 au niveau des sept (07) stations (1-7) le long

des côtes du PNEK. Nous remarquons qu'avant les feux, le 11/08/2022, les concentrations de la MES variaient entre 6,11 g.m<sup>-3</sup> et 17,65 g.m<sup>-3</sup> alors qu'après les feux, le 10/09/2022, l'intervalle est passé à environ (5,97-12,94) g.m<sup>-3</sup>. Aussi, au niveau de chaque station, les estimations des concentrations de la MES après les feux sont inférieures à celles avant les feux. Néanmoins, les estimations des concentrations de MES en 2018, année de référence (sans feux), aux mêmes dates (jours et mois) de l'année 2022 où il y a eu des feux de forêts montrent trois aspects. Dans les stations 4, 5 et 6, les mesures sont presque les mêmes alors que dans les stations 1 et 2, les estimations à la date après (orange) sont inférieures à celles avant (rouge). Exceptionnellement, la station 7 montre une concentration à la date après (11/08/2022) qui de 12,59 g.m<sup>-3</sup> qui est plus petite que celle mesurée avant (le 10/09/2022).

### **4.3.3 La TURB**

La figure 27 montre la variation de la turbidité de la cote du PNEK de l'année 2022 ainsi que 2018 l'année de référence (sans incendies) a deux data différentes pour chaque année: avant (Figure 27a) et après le passage des feux (Figure 27b) de l'été de 2022, ainsi que les estimations dès la variation de la turbidité (TURB) en 2018, année de référence (sans incendies) (Figure 27c et 27d). La carte 27a affiche palette de couleurs harmonieuses, affichant des tentes entre le bleu et le vert. En contraste, la carte 27b met en évidence clairement les variations de la composition colorent qui indique des variations significatives de la concentration de la TURB qui explique l'effet de passage des incendies de l'été de 2022 sur le parc.

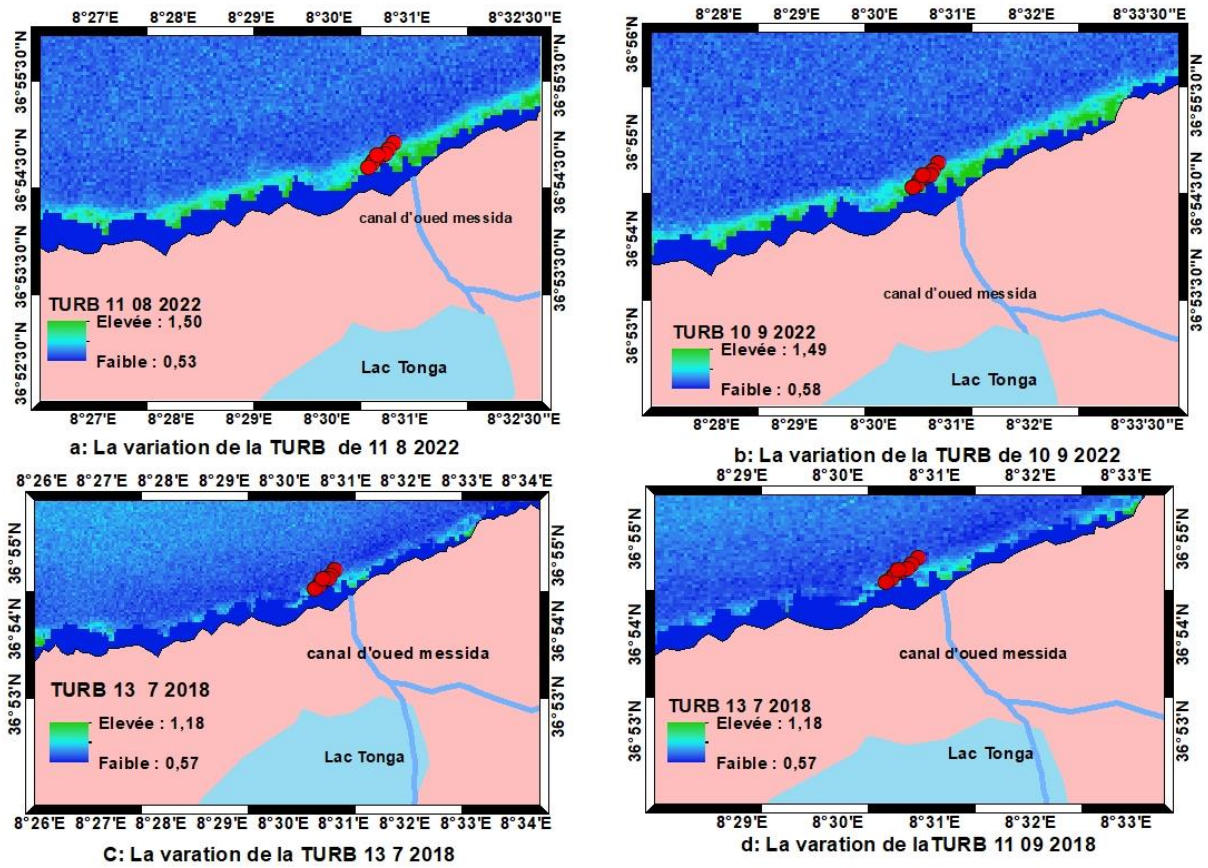


Figure 27: Analyse visuelle des changements de concentration de TURB avant et après les incendies de 2022, en comparaison avec l'année de référence 2018.

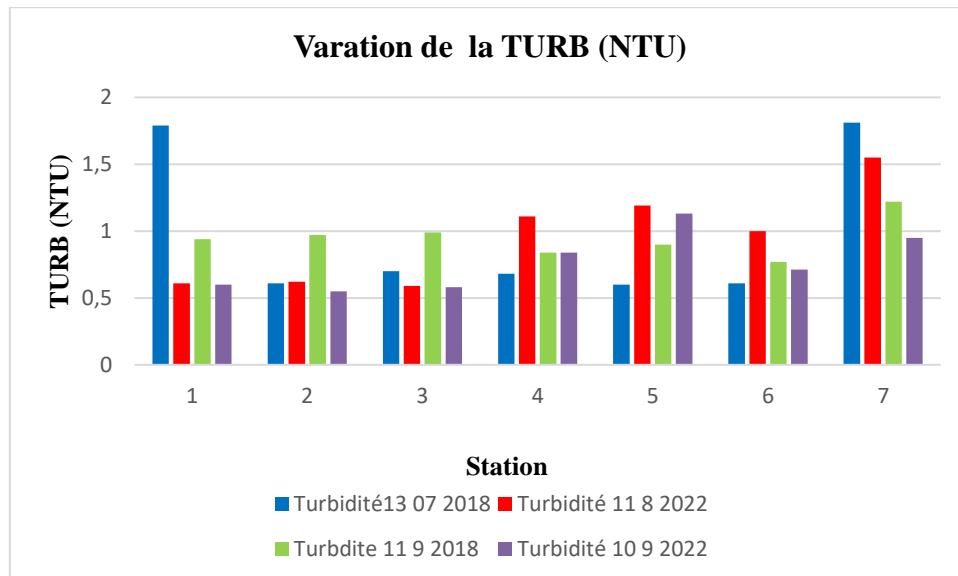


Figure 28: Variation des concentrations de la turbidité avant-après les incendies de l'année 2022 comparaitre par l'année de référence 2018.

La figure 28 montre les concentrations de TURB (NTU) (avant bleu) et après (violet) le déclenchement des feux de forêts de l'été 2022 au niveau des sept (07) stations (1-7) le long des côtes du PNEK. Nous remarquons qu'avant les feux, le 11/08/2022, les concentrations de la TURB variaient entre 0,59 NTU et 1,55 NTU, alors qu'après les feux, le 10/09/2022, l'intervalle est passé à environ (0,55-0,95) NTU. Aussi, au niveau de chaque station, les estimations des concentrations de la TURB après les feux sont inférieures à celles avant les feux. Néanmoins, les estimations des concentrations de TURB en 2018, année de référence (sans feux), aux mêmes dates (jours et mois) de l'année 2022 où il y' a eu des feux de forêts montrent trois aspects. Dans les stations 4, 5 et 6, une diminution significative est remarquée dans les stations 1 et 2, les estimations à la date après (violet) sont inférieures à celles avant (rouge). Alors qu'à la station 7 montre une concentration à la date après (10/09/2022) qui est presque ½ fois plus grande que celle mesurée avant (le 11/08/2022).

### 4.4 Implications écologiques

#### 4.4.1 La chlorophylle-a

L'augmentation de la concentration de chlorophylle-a (Chl-a) dans les écosystèmes aquatiques peut avoir plusieurs effets sur l'environnement, certains d'entre eux pouvant être nuisibles. Les conséquences écologiques de l'augmentation de la Chl-a sont:

- **Détérioration de la qualité de l'eau**

L'augmentation des niveaux de Chl-a est souvent le signe d'une eutrophisation accrue, c'est-à-dire d'un apport excessif de nutriments, tels que l'azote et le phosphore, dans les écosystèmes aquatiques. Cela peut entraîner une détérioration de la qualité de l'eau, rendant l'eau trouble et moins appropriée pour la consommation humaine et la vie aquatique. Les incendies de forêt peuvent contribuer à cette eutrophisation en augmentant la charge de nutriments dans les cours d'eau qui se déversent dans les zones côtières. Cela peut entraîner la formation de blooms algaux, qui peuvent avoir des conséquences négatives sur la qualité de l'eau et la biodiversité marine.

- **Prolifération d'algues et de phytoplancton**

La Chl-a est un pigment présent dans les algues et le phytoplancton, qui sont à la base de la chaîne alimentaire aquatique. Une augmentation de la Chl-a peut favoriser la prolifération excessive de ces organismes, créant ce que l'on appelle des "**efflorescences algales**". Certaines

de ces espèces peuvent produire des toxines nocives pour la faune, la flore et même la santé humaine.

- **Appauvrissement en oxygène:**

Les efflorescences algales peuvent entraîner une consommation excessive d'oxygène dans l'eau, en particulier lorsqu'elles meurent et se décomposent. Cela peut entraîner des zones mortes, où l'oxygène devient insuffisant pour soutenir la vie marine, ce qui nuit à la faune et à la flore locales.

- **Perturbation des écosystèmes**

Les niveaux élevés de Chl-a peuvent perturber les écosystèmes aquatiques en modifiant la disponibilité de la nourriture pour la faune. Certains organismes peuvent proliférer, tandis que d'autres peuvent souffrir de la rareté de leur source de nourriture.

- **Effets sur la pêche**

L'augmentation de la Chl-a peut avoir un impact sur les stocks de poissons. Elle peut favoriser la croissance de certaines espèces de poissons, tandis que d'autres peuvent être affectées négativement en raison de la diminution de la visibilité et de la qualité de l'eau.

- **Altération de l'esthétique**

Les **efflorescences** algales peuvent rendre les plans d'eau peu attrayants en les couvrant d'une couche de mousse ou d'algues, ce qui peut nuire au tourisme et à la valeur esthétique des zones aquatiques.

- **Impacts sur la santé humaine**

Dans certaines situations, les efflorescences algales peuvent produire des toxines qui rendent l'eau non potable et dangereuse pour la santé humaine si elle est ingérée ou en contact avec la peau.

### **4.4.2 La MES**

La variation des niveaux de MES peuvent avoir plusieurs implications écologiques, une réduction de la concentration de MES peut contribuer à une meilleure clarté de l'eau ce qui est bénéfique pour les organismes marins qui dépendent de la vision pour se nourrir et éviter les prédateurs. De plus, cela peut favoriser la croissance des plantes aquatiques en permettant une meilleure pénétration de la lumière solaire.

- **Diminution des niveaux de MES**

Globalement, on observe une diminution des niveaux de MES après les incendies par rapport aux niveaux avant les incendies. Cette diminution peut être due à plusieurs facteurs, notamment la réduction de la matière organique, de la végétation et des sols lavés par les pluies torrentielles provoquées par les incendies.

- **Impact sur la qualité de l'eau**

Une diminution des niveaux de MES peut indiquer une amélioration de la qualité de l'eau dans la région après les incendies. Cependant, il est important de noter que la qualité de l'eau dépend de nombreux autres paramètres, et ces données ne fournissent qu'une indication partielle.

- **Effets sur les écosystèmes aquatiques**

Les niveaux de MES sont importants pour les écosystèmes aquatiques, car ils peuvent affecter la disponibilité de la lumière, la qualité de l'habitat et la chaîne alimentaire. Une diminution des niveaux de MES peut avoir des répercussions sur les organismes aquatiques, mais une analyse plus approfondie serait nécessaire pour évaluer ces impacts.

- **Réduction de la matière organique**

Les incendies de forêt brûlent la matière organique présente dans la végétation, ce qui réduit la quantité de matière organique susceptible de se retrouver dans les cours d'eau. Moins de matière organique signifie moins de particules en suspension.

### **4.4.3 La turbidité**

- **Impact sur la Chaîne Alimentaire**

Les changements dans la turbidité peuvent affecter la chaîne alimentaire marine. Une eau plus claire peut influencer la distribution des proies et des prédateurs, ce qui peut à son tour affecter la dynamique des populations marines.

- **Réduction de la Sédimentation**

Une diminution de la turbidité peut également causer une réduction des apports de sédiments dans l'eau. Cela peut prévenir l'ensablement des fonds marins et maintenir des conditions

- **Diminution de la qualité de l'eau**

Les blooms algaux résultant de l'eutrophisation peuvent réduire la clarté de l'eau en bloquant la pénétration de la lumière solaire. Cela peut affecter la croissance des plantes aquatiques et réduire la disponibilité de la lumière pour les organismes photosynthétiques dans les

écosystèmes marins côtiers. Optimales pour les organismes benthiques, tels que les mollusques et les crustacés.

- **Désoxygénation de l'eau**

Lorsque les blooms algaux meurent et se décomposent, cela peut entraîner une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau, créant ainsi des zones mortes ou des zones à faible teneur en oxygène. Ces conditions sont préjudiciables à de nombreuses espèces marines, car elles ont du mal à survivre dans des eaux pauvres en oxygène.

- **Amélioration de l'Habitat Marin**

La réduction de la turbidité après les incendies indique une amélioration de la clarté de l'eau dans la zone côtière. Cela peut avoir un effet positif sur les habitats marins en particulier les récifs coralliens et les herbiers marins. Une bonne pénétration de la lumière solaire peut favoriser la photosynthèse des organismes marins et la croissance des plantes aquatiques, contribuant ainsi à la biodiversité marine

# ***CONCLUSION***

## 5. Conclusion

Cette étude avait pour principal objectif d'évaluer l'impact des incendies de forêt sur le PNEK dans la wilaya d'El Tarf en comparant les conditions avant et après les incendies. Cette étude a comme objectif spécifique l'exploration de l'impact des incendies sur l'environnement marin. L'utilisation d'indices NBR et NDVI a permis d'identifier les zones incendiées, pour atteindre l'objectif principal de notre étude. L'estimation de quelques paramètres physicochimiques de la qualité de l'eau, tels que la chlorophylle, la matière en suspension totale et la turbidité, suite aux incendies de l'année 2021, 2022 et 2018 année de référence (sans feux), permis d'évaluer la variation de l'état de la mer avant et après le déclenchement des feux.

Cet exercice a tout d'abord montré l'importance des données Sentinel-2 et leur fiabilité dans ce type d'étude. La disponibilité de la base des données Copernicus Open Access Hub est une véritable chance. Google Earth Pro a été aussi d'une grande aide dans la matérialisation des stations de mesure en mer. En outre, l'algorithme c2rcc a été un outil efficace dans l'extraction des paramètres de la qualité de l'eau au niveau des 7 stations proches de la sortie du canal d'Oued Messida de lac Tonga.

Nos résultats ont mis en lumière plusieurs constatations significatives. Tout d'abord, l'indice NBR pré-post incendies a révélé un  $\Delta$ NBR de 0,9, indiquant une sévérité élevée et des dommages notables au sein du parc. Ceci suggère une perturbation significative de l'environnement causée par les incendies de l'été 2022.

De plus, l'évaluation de l'indice NDVI avant et après l'incendie a révélé un delta NDVI variant entre -0,67 et -0,99. Cette plage de valeurs témoigne d'une réduction significative de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), traduisant des impacts substantiels sur la biomasse végétale, la biomasse animale et la composition du sol.

Pour les paramètres clés (Chl-a; MES; TURB), nous avons observé les variations suivantes :

- **Pour l'année 2021**

12.07.2021: Les données montrent une valeur de Chl-a allant de 0,30 à 2,10 mg/m<sup>3</sup>, une concentration de MES de 6,43 à 13,53 g/m<sup>3</sup> et une TURB allant de 0,12 à 1,67. Ces variations suggèrent des conditions aquatiques variables d'une station à l'autre.

16.08.2021 : À cette date, nous observons une augmentation générale de la Chl-a, la MES et une diminution de la TURB par rapport au 12.07.2021. Cela peut être probablement en raison

de la croissance de la biomasse phyto-planctonique qui représente des variations signifie par a pour l'année de référence (2018)

- **Pour l'année 2022**

11.08.2022: Les données montrent une augmentation de la concentration de Chl-a par rapport à l'année précédente, ainsi qu'une diminution de la TURB. Cela peut être le résultat de l'impact des incendies de forêt de l'année 2021 sur l'écosystème, avec une possible augmentation des nutriments dans l'eau.

10.09.2022: Les données montrent des valeurs variables de Chl-a et de MES, avec des valeurs plus élevées que celles de l'année précédente. La TURB a également augmenté par rapport à l'année précédente.

En conclusion, pour l'année 2022, nous avons relevé les tendances suivantes :

- En août 2022, une augmentation de la concentration de Chl-a a été notée par rapport à l'année précédente, associée à une diminution de la TURB. Cette évolution peut être liée à l'impact des incendies de forêt de 2021 sur l'écosystème, entraînant potentiellement une augmentation de MES dans l'eau.
- En septembre 2022, des valeurs variables de la Chl-a et de MES ont été enregistrées, avec des valeurs plus élevées par rapport à l'année précédente (2021) et de même par a pour l'année de référence (2018). La turbidité a également augmenté, indiquant une possible récupération de l'écosystème après les incendies.

En conclusion, notre étude est marquée par des variations significatives des paramètres de qualité de l'eau entre les années 2021 et 2022, suggérant un impact des incendies de forêt sur l'environnement aquatique. Les augmentations de la Chl-a et de la MES pourraient indiquer des modifications dans la composition de l'eau et la réponse de l'écosystème aux incendies. Il est indispensable de continuer à surveiller ces paramètres pour évaluer l'évolution de l'écosystème au fil du temps et mettre en œuvre des mesures de conservation adaptées.

Notre étude fournit des informations importantes sur l'impact des incendies de forêt de 2021-2022 sur l'écosystème marin du PNEK. Pour garantir la préservation à long terme de cet réserve naturel précieux, il est nécessaire de prendre des mesures continues de suivi, de conservation et de sensibilisation, tout en favorisant la collaboration interdisciplinaire pour une gestion durable de la région.

Quelques perspectives d'avenir au terme de ce travail de recherche peuvent être énoncées :

1. **Surveillance continue** : Il est important de continuer à surveiller de manière régulière les paramètres de qualité de l'eau, tels que la chlorophylle, la matière en suspension totale et la turbidité, afin de comprendre l'évolution de l'écosystème marin du Parc National d'El-Kala. Cette évaluation permettra de suivre la récupération de l'écosystème après les incendies et de définir toute tendance à long terme.
2. **Mesures de conservation adaptées** : Les résultats de notre étude indiquent des impacts significatifs des incendies de forêt sur l'environnement aquatique du PNEK. Par conséquent, il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures de conservation appropriées pour restaurer et protéger l'écosystème marin. Cela peut inclure la régulation des activités humaines, la réduction de la pollution et la mise en place de zones protégées.
3. **Suivi des effets des incendies** : Étant donné que notre étude a révélé des dommages remarquables causés par les incendies de forêt de 2021-2022, il est important de continuer à surveiller les effets à long terme de ces incendies sur la biodiversité marine, la qualité de l'eau et la santé globale de l'écosystème.
4. **Éducation et sensibilisation** : Informer et sensibiliser le public aux conséquences des incendies de forêt sur l'environnement marin est crucial.
5. **Collaboration interdisciplinaire** : Collaborer avec d'autres chercheurs et experts dans des domaines tels que la gestion des incendies de forêt et la gestion de l'eau peut aider à obtenir une compréhension plus complète des interactions complexes entre les incendies de forêt et l'environnement marin.

***RÉFÉRENCES***  
***BIBLIOGRAPHIQUE***

**-A-**

**AIRD.W. J; (1977).** Remote sensing: airborne mission planning. Ottawa, Department of Fisheries and Environmental Protection Service, Environmental Impact Control Directorate. p.94

**AMINOT, CHAUSSEPIED; (1983).** Manuel des analyses chimique en milieu marin. France: Centre National pour l'Exploitation des Océans CNEXO. p. 395

**AMINOT.A, KEROUEL.R ;(2004).** Hydrologie des écosystèmes marins: paramètres et analyses. France : Editions Quae.p.335

**ARFA A.M.T, BENDERRADJI.M.E.H. et ALATOU.D ;(2009).** Analyse des bilans des incendies de forêt et leur impact économique en Algérie entre 1985-2006. Revue New Médit Vol. VIII-n. 1/2009. C.I.H.E.A.M. IAM, Bari, Italy. p.p.46-51.

**ARFA.A, MOHAMED.T ;(2019).** Application du SIG et de la télédétection pour un outil cartographique d'aide à la gestion des feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf. Thèse de doctorat. Ecologie et Environnement. Frères mentouri constantine. p.p. 33-37

**ARMSON.K. ;(1977).** Fire and soil. (Forest soil: properties and process. University of Toronto.p.381.

**-B-**

**BEGUE.A et al; (2016).** Observation spatiale pour l'agriculture en Afrique: potentiels ET défis. NOTES TECHNIQUES

**BELHADJ. M, SMARA.Y;(2006).** Application du SIG et de la télédétection dans la gestion des feux de forêts en Algérie. Vol. 12, n p.1

**BENTOUIL.I, Med.Y ;(2007).** Inventaire et qualité des eaux des sources du parc national d'El Kala (Nord Est algérien). Thèse de magister. Hydrologie. Annaba : Université Badji Mokhtar (Faculté des sciences de la Terre). p.p.15-104

**BENYACOUB. S, LOUANCHI .M, BABA AHMED.R, ET AL;(1998).** Plan directeur de gestion du Parc National d'El-Kala et du complexe de zones humides (Wilaya d'El-Tarf). p.300

**BRAHMIA.Z ;(2002).** Rôle fonctionnel du lac Oubeïra et du lac El Mellah (parc national d'El-Kala) pour les oiseaux marins. Thèse de magister. Physiologie et Biologie des organismes marins. Annaba : Université Badji Mokhtar (Faculté des sciences de la Terre). p.15

**BROCKMANN. C, DOERFFER, ROLAND et al (2016).** Evolution du réseau neuronal C2RCC pour Sentinel 2 et 3 pour la récupération de produits de couleur océanique dans des eaux optiquement complexes normales et extrêmes. Symposium Planète vivante, Actes de la conférence qui s'est tenue du 9 au 13 mai 2016 à Prague, République tchèque. Edité par L. Ouwehand. ESA-SP Volume 740, ISBN: 978-92-9221-305-3. p.54.

## *Reference bibliographique*

**BOUZIDIA ; (2007).** La Méditerranée et les espèces pyrophiles. La Pensée de Midi, (20), 60-67.p.60.

### **-C-**

**Centre canadien de télédétection ;(1999).** Notions fondamentales de télédétection: Cours tutoriels de télédétections

**Copernicus; (2015).** Copernicus Open Access Hub [en ligne]. Consulte le 10 avril 2023 disponible sur le web : Open Access Hub (copernicus.eu)

**Copernicus; (2023).** Copernicus Open Access Hub en ligne, consulte le 17 mars 2023 disponible sur le web : Open Access Hub (copernicus.eu)

### **-D-**

**DE BELAIR.G, YAHL.N, VELA E et AL; (2012).** Identifying Important Plants Areas (Key Biodiversity Areas for Plants) in northern Algeria. Journal of Threatened Taxa. 4(8). pp. 2753–2765.

**DGF ;(2005).** Direction générales des forêts: DGF

**Direction Générale des Forêts ; (2023.).** La Direction Générale des Forêts [en ligne]. Consulté le 31 mars 2023. Disponible sur : <http://www.dgf.org.dz/>.

### **-E-**

**EMRAN. A ;(2005).** Données Landsat mises à disposition pour le développement GIS approach to the men/nature interaction.p.102

**ESA; (2015)** European Space Agenc : ESA

**ESSIDE.H ;(2012).** Modélisation spatio-temporelle à base de modèles de Markov EUGENIO.F; JAVIER. M; MARQUES. F; ULPGC & UPC; (2013). Manuel de Télédétection

Spatiale TELECAN. Iles des Canaries: Universités des îles Canaries - Université du Maroc – Université de la Mauritanie - Université du Sénégal - Université du Cap-Vert.

### **-F-**

**FIRMS ;(2023)** Le système d'information sur les incendies pour la gestion des ressources. [En ligne]. [Consulte le 10 mars 2023]. Disponible sur le web: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/>

### **-G-**

**GRIMES.S ;(2005).** Plan de gestion de l'aire marine du parc national d'El Kala (Wilaya d'El Tarf), faisabilité d'une extension marine du parc national d'El Kala – Algérie. Rapport de Synthèse. Algérie: MATE

### **-H-**

**HETHERINGTON.E. D; (1987).** The importance of forests in the hydrological regime. Canadian Aquatic Resources, M.C. Healey ET R.R. Wallace (éd.). p.p.179-211

## *Reference bibliographique*

### **-I-**

**IVANOFF A. I;(1972).** Paramètres physico-chimiques des eaux de mer. Librairie Vuibert.

### **-J-**

**JBRUSLE.Q;(2004).** Les poissons et leur environnement : écophysiologie et comportements

### **-K-**

**KEELEY. J. E ;(2009).** Intensité du feu, gravité de l'incendie et gravité des brûlures : un bref examen et une utilisation suggérée. International Journal of Wild land Fire, 18(1). pp.116-126.

**KESSAR.R ;(2011).** The structure of blocks with a Klein four-defect group. Environnement. Algérie. p.80

### **-L-**

**Laboratoire de cartographie appliqué ;(2000).** Notions fondamentale de système d'information géographique : Cours tutoriels de système d'information géographique

**LACAZE J.C. L; (1996).** La pollution des mers. France : DOMINOS Flammarion.

**LEFEBVRE et al; (1993).** Circuits eau de mer traitements et matériaux. TECHNIP, Chambre L'environnement et de la faune du Québec. Direction des écosystèmes aquatiques. p.68

### **-M-**

**M ROBIN; (2002).** Étude des risques côtiers sous l'angle de la géomatique/Coastal hazards: a

**MAHAMAT.Y. A ;(2010).** La fusion d'images radar et optique en vue d'une mise à jour l'urbain. Informatique, France: UNIVERSITE BLAISE PASCAL - Clermont-Ferrand II

**MEDDOUR.S ;(2008).** Contribution à l'étude des feux de forêt en Algérie : approche statistique exploratoire et socio-économique dans la wilaya de Tizi-Ouzou, mémoire. Magister; Dép. Foresterie et protection de la nature.I.N.A. p. 275

**Meddour.S.O. O; Meddour. R. Derridj A;(2008).** Les feux de forêts en Algérie sur le temps long (1876-2007). Les Notes d'analyse du CIHEAM, n° 39. P : 11

**Ministère de l'Environnement et des Forêts ;(2008).** Fiche signalétique du parc national d'El Kala [PDF]. <https://www.mef.gov.dz/parcs-nationaux/el-kala/fiche-signalétique-el-kala.pdf>

### **-N-**

**National Geographic Society ;(2019).** Récupéré sur <https://www.nationalgeographic.org/>

### **-O-**

**OLDACHE.E.H ;(2003).** Impact des incendies sur la biodiversité, Recueil des communicationsdel'atelierN°2« Menaces pesant sur la diversité biologique » MATE GEF/PNUD, ProjetALG97/G31. pp. 69-78

**ONM ;(2001).** Office National de La Métrologie. Algérie: ONM

## *Reference bibliographique*

### **-P-**

**PATERSON.E E; (1979).** Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. p. 425

**Pickrell. J; (2020).** Australie: les feux de forêt auront de graves conséquences sur les réserves d'eau potable. [En ligne]. [Consulte le 30 mars 2023]. Disponible sur le site web : Australie : les feux de forêt auront de graves conséquences sur les réserves d'eau potable | National Geographic

### **-Q-**

**QUEZEL.P; (1985).** Definition of the Mediterranean region and origin of its flora. In C. GomezCampo, ed., Plant conservation in the Mediterranean area. Dordrecht, the Netherlands, W. Junk

### **-R-**

**RAVEN ;(2007).** Biologie végétale Paris: De Boeck. p.190

**RAMSAR. (2016).** Liste des Sites Ramsar.

**RIANO.D et al; (2001).** Assessment of vegetation regeneration after fire throughm ultitemporal analysis of AVIRIS images in Santa Monica Mountains. RemoteSensing of Environment. p.p.60-79

**ROBERGE.J; (1996).** Impacts de l'exploitation forestière sur le milieu hydrique. Ministère de l'environnement et de la faune du Québec. Direction des écosystèmes aquatiques.p.68

**RODIER.J; (2005).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Paris: 6e édition.p.20

**ROSEN.K, ARONSON.J.A. et ERIKSSON.H.M. ;(1996).** Effects of clear-cutting on streamwater quality in forest catchments in central Sweden. Forest Ecology and Management p.p.237-244.

**ROUSE.J. W, HAAS, R.H. SCHELL, J.A., DEERING, D.W; (1974).** Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.

**ROWE.J. S; (1973).** The ecological results of periodicfireignited by lightning and man in the borealforest of NorthAmerica, Vol. 3. p.p. 444-464

### **-S-**

**SADKI. S ; (2008).** Le parc national d'El Kala : Riche, beau, fragile et menace de disparition. El Watan

**SCARASCIA-MUGNOZZA.G; (2000).** Forests of the Mediterranean region: gaps in Knowledge and research needs. Forest Ecology and Management. p.p.97–109.

**Schiller, Helmut; Doerffer et Roland ; (1999).** Neural network for emulation of an inverse model operational derivation of Case II water properties from MERIS data, International Journal of Remote Sensing, 20:9, 1735-1746, <https://doi.org/10.1080/014311699212443>

## *Reference bibliographique*

Société française de photogrammétrie et télédétection ;(1989) [www.cartographie.ird.fr/publi/documents/sig1.pdf](http://www.cartographie.ird.fr/publi/documents/sig1.pdf) syndicale de la recherche et de la production du gaz naturel, Comité des techniciens, p. 222

**ST-ONGE.J; (2001).** Impact des coupes forestières et des feux de forêt sur les communautés de poissons des lacs du bouclier laurentien. Mémoire de magister. Sciences de l'environnement. L'université du Québec à Trois-Rivières. p.p.6-11

**Système d'information sur les incendies FIRMS;(2023).** [En ligne]. [Consulte le 20 mai 2023] disponible sur le web: NASA | LANCE | ENTREPRISES

**-T-**

**TATAR.H ;(2012).** Production forestière, exploitation et valorisation en Algérie. Revue Forestière Française, 33(4). pp. 361-368.

**TATEM.A. J; GOETZ.S J ; HAY.S I; (2008).** Fifty years of earth observation satellites:

Views from above have lead to countless advances on the ground in both scientific knowledge and daily life. American Scientist. p.390

**TOUSSAINT.J;(2021).** Les feux de forêt ont provoqué une prolifération sans précédent d'algues marines. [En ligne]. [Consulte le 25 mars 2023]. Disponible sur le site web: Les feux de forêt ont provoqué une prolifération sans précédent d'algues marines (ouest-france.fr)

**-W-**

**WULDER.M. A; et al;(2016).** The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. Remote Sensing of Environment. p.p. 271-283.

**Site web :**

<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>

<https://scihub.copernicus.eu/>

<http://www.dgf.org.dz/>

<https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/>

<https://www.nationalgeographic.fr/environnement/2020/01/australie-les-feux-de-foret-auront-de-graves-consequences-sur-les-reserves-deau-potable>

[Guide Pratique sur l'Algérie \(algerie-monde.com\)](#)

***ANNEXES***

**Annexe 1 :**

Tableau 1: Caractéristique de quelque satellites d'observation de la terre (MANKOUR et ACHOUR ; 2022)

Catégorie	Satellite	Bande	Résolution spatiale	Etendu	Répétitivité	
Haute Résolution Spatiale - Multi Spectrale	Landsat 8	Pan	15 m	170km x 185 km	16 jours	
		B, V, R, PIR, MIR, IRT	30 m	170km x 185 km		
		IRT	60 m	60 km		
	Landsat 7	Pan	15 m		60 Km	26 jours
		B, V, R, PIR, MIR	30 m			
		IRT	60 m			
	SENTINEL 2	B, V, R, PIR	10m		60 Km	26 jours
		R, PIR, MIR	20 m			
		aérosols vapeur d'eau cirrus	60m			
		V, R, PIR, MIR	2,8 m			
		Bande 3-7 (0,54µm - 2,15µm)	500m			
		Bande 8-36 (0,405µm - 14,38µm)	1 km			
	Radar à synthèse d'ouverture (SAR)	Sentinelle 1 (Bande C)	Stripmap	5 m	80 km	Avec 2 satellites: 3jours à 1jours selon la latitude

Tableau 1 : Les superficies des surfaces brûlées de 2006 jusqu'à 2022 (firms,2023)

Année	Superficie(Km <sup>2</sup> )
2006	1,74
2008	48,63
2011	6,09
2012	16,44
2014	12,58
2016	11,9
2017	70,66
2020	36,41
2021	19,92
2022	93,65

Tableau : coordonnées géographiques des sept stations

Station	Latitude	Longitude
1	36.913326	8.513571
2	36.912012	8.512411
3	36.911288	8.511705
4	36.910814	8.510535
5	36.910195	8.509445
6	36.909537	8.508945
7	36.909062	8.508112

Tableau : Les concentrations de la Chlorophylle, la matière totale en suspension et la turbidité capter par le satellite S-2 dans nos stations au littoral de PNEK pré-post incendies de 2021-2022.

Data	Station	Chl(mg.m <sup>-3</sup> )	MES(g.m <sup>-3</sup> )	Turbidité
12.07.2021	1	0,75	12,01	0,82
	2	0,92	11,06	0,73
	3	2,10	8,06	0,66
	4	1,71	8,98	0,63
	5	1,87	8,60	0,64
	6	2	8,15	0,70
	7	0,30	13,49	1,67
	8	1,54	9,27	0,69
	1	1,13	10,73	0,73
	2	1,20	10,35	0,69

<b>16.08.2021</b>	3	2,22	7,74	0,58
	4	2,38	7,49	0,59
	5	2,80	6,66	0,70
	6	2,79	6,71	0,64
	7	0,74	13,53	0,12
	8	1,85	8,73	0,61
<b>11.08.2022</b>	1	1,26	10,10	0,61
	2	1,83	8,67	0,62
	3	3,38	6,43	0,59
	4	3,57	5,61	1,11
	5	3,06	6,11	1,19
	6	2,81	6,58	1
	7	0,50	17,65	1,55
	8	2,48	7,66	0,58
<b>10.09.2022</b>	1	1,07	10,42	0,64
	2	1,51	8,9	0,55
	3	2,97	6,54	0,60
	4	3,27	5,97	0,84
	5	2,92	6,01	1,13
	6	2,91	6,40	0,711
	7	0,77	12,94	0,95
	8	1,92	8,30	0,54

