

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة مولاي الطاهر، سعيدة
Université MOULAY Tahar, Saida



N° d'Ordre

كلية العلوم
Faculté des Sciences
قسم البيولوجيا
Département de Biologie
Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master
En Sciences biologiques
Spécialité : Protection et Gestion des écosystèmes
Thème

Utilisation de Google Earth Engine pour une analyse critique de base de donnée des incendies de forêt de wilaya de Sidi bel Abbes

Présenté par :

- Mlle : BOUKHOLKHAL IKRAM
- Mr : FEDLAOUI ABDELKARIM

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Président	Mr. NASRALLAH YAHIA	Pr Université UMTS
Examineur	Mr. SI TAYEB TAYEB	Pr Université UMTS
Rapporteur	Mr. MEDERBAL Mohammed Touati	MAA Université UMTS

Année universitaire 2022/2023

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة مولاي الطاهر، سعيدة
Université MOULAY Tahar, Saida



N° d'Ordre

كلية العلوم
Faculté des Sciences
قسم البيولوجيا
Département de Biologie
Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master
En Sciences biologiques
Spécialité : Protection et Gestion des écosystèmes
Thème

Utilisation de Google Earth Engine pour une analyse critique de base de donnée des incendies de forêt de wilaya de Sidi bel Abbes

Présenté par :

- Mlle : BOUKHOLKHAL IKRAM
- Mr : FEDLAOUI ABDELKARIM

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Président	Mr. NASRALLAH YAHIA	Pr Université UMTS
Examineur	Mr. SI TAYEB TAYEB	Pr Université UMTS
Rapporteur	Mr. MEDERBAL Mohammed Touati	MAA Université UMTS

Année universitaire 2022/2023

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes que j'aime Et en particulier...

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, Leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de

Mes études.

- **A mes chères sœurs :**

INES, DOUAA, RABIA, HANANE, RABAB et HANAE.

- **A mes chers frères :**

ABDELKADER, MOHAMED, NOUREDINE et TAHER.

- **A tous mes amis et en particulier :**

SABRINE, NORRI. KB, SAMIRA, CHAIMA, NASSRO.M, NOURIA et HAKMI MOHAMED.

- **Mon grand-père, mon oncle et sa femme, ma tante et Dr. Tebbal**

A tous mes enseignants.

ET la promotion de M II (ECO)

2022-2023

A Toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier DIEU le tout puissant qui m'a guidé tout au long de ma vie, qui m'a donné le courage et la patience pour traverser tous les moments difficiles et qui m'a donné la force d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, je tiens à remercier mon encadreur Mr MOHAMED TOUATI MEDERBAL. Je voudrais également lui témoigner ma gratitude pour sa grande disponibilité, son orientation, sa patience et ses encouragements tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous les professeurs qui m'ont enseigné et qui par leurs compétences m'ont soutenu dans la poursuite de mes études.

En fin, je tiens à remercier toute personne a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.

.

Liste des abréviations

Une abréviation est une forme plus courte d'un mot ou d'un groupe de mots qui est créée en supprimant certaines lettres. Le mots écrit en gras est une abréviation :

ASTER: Advanced spacborne thermal emission and reflection radiometer

BA: Burned Area

BAMS: Burned Area Mapping

BAMT : Burned Area Mapping Tools

BDG : La base de données géographique.

C.F.SBA : Conservation des Forêts de la Wilaya de Sidi Bel Abbas.

DGF : Direction Générale des Forêts.

ESRI: Environmental Systems Research Institute.

FAO: Food and Agriculture Organization.

GEE: Google Earth Engine.

GPS: Global Positioning System.

h: Heure.

Ha: Hectare.

Km: kilomètre.

NBR: narmalizedburn ration

NDVI : indice de végétation normalisé

PIR : proche infra rouge

SIG : système d'information géographique

T : Température network.

TOA (Top of Atmosphere).

VA : zones de validation

°C : degré Celsius

% : pourcentage

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classes des pentes de la Wilaya de Sidi Bel Abbes.....	20
Tableau 2 : Les oueds importants.....	24
Tableau 3 : Pluviométrie moyenne par zone géographique.....	28
Tableau 4 : La répartition générale des terres de la Wilaya de Sidi Bel Abbes.....	29
Tableau 5 : La répartition de la superficie forestière de la Wilaya de Sidi Bel Abbes par formation.....	31
Tableau 6 : La répartition de la superficie forestière de la Wilaya de Sidi Bel Abbes par essence.....	32
Tableau 7 : Description des images Landsat 7.....	37
Tableau 8 : Description des images Landsat 8.....	38
Tableau 9 : Bandes sélectionnées pour les outils BAMT, en fonction du satellite et du capteur.....	46
Tableau 10 : Comparaison des statistiques DGF au résultats BAMT de wilaya de Sidi Bel Abbes durant la période (2000-2020).....	60

Liste des figures

Figure 1 : Principales formations d'Algérie forestières (DGF 2000).....	6
Figure 2 : Evolution annuelle des superficies parcourues par le feu en Algérie (1876- 1962).....	8
Figure 3 : Evolution annuelle des nombres d'incendies en Algérie (période 1876-1915).....	9
Figure 4 : Evolution annuelle des superficies parcourues par le feu (1963-2014).....	11
Figure 5 : Evolution annuelle des nombres d'incendies en Algérie (1979-2014).....	12
Figure 6 : la carte de Situation géographique de la Wilaya de Sidi Bel Abbes.....	18
Figure 7 : la carte Organisation administrative et forestière de la wilaya de SIDI Bel Abbes	19
Figure 8 : la carte Topographie de la wilaya de SIDI BEL ABBES	22
Figure 9 : la carte des bassins versant de la wilaya de Sidi Bel Abbes.....	23
Figure 10 : la carte de réseau hydrographique de la wilaya de SIDI Bel Abbes.....	25
Figure 11 : Taux des différentes terres de la Wilaya de Sidi Bel Abbes	30
Figure 12 : Taux des formations forestières dans la Wilaya de Sidi Bel Abbes	31
Figure 13 : Taux des essences forestières existantes dans la Wilaya de Sidi Bel Abbes	33
Figure 14: Taux d'espace boisé par circonscription au niveau de la Wilaya de Sidi Bel Abbes.....	33
Figure 15 : imagerie satellitaires sous Google Earth Engine.....	40
Figure 16 : Editeur de Code JavaScript de Google Earth Engin.....	40
Figure 17 : Organigramme du travail.	41
Figure 18 : formatage des données statistique des incendies.....	42
Figure 19 : de Zone d'échantillonnage dans une région montagneuse	45

Figure 20 : La couche région manuel à utiliser lorsque la région doit être définie manuellement en tant que polygone48

Figure 21 : Les couches à utiliser pour définir les polygones d'entraînement. 50

Figure 22 : Zone d'échantillonnage, avec des données Landsat.51

Figure 23 : La carte de synthèse des incendies des forets au niveau de la Wilaya de Sidi Bel Abbas 59

Figure 24 : Les données corrigées (BAMT- DGF) la superficie brûlée à la période.....61

Figure 25 : les taux mensuels des incendies dans la Wilaya de Sidi Bel Abbas64

Résumé

Le projet de fin d'étude consiste en une analyse critique des enregistrements des incendies de forêt dans la wilaya de Sidi Bel Abbès au cours des vingt dernières années (2000-2020). L'objectif est d'évaluer la qualité des données fournies par la Direction Générale des Forêts (DGF) en utilisant des techniques telles que les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection.

Pour mener à bien cette étude, nous avons un code java permettant de cartographier les zones incendiées à partir d'images multispectrales Landsat, grâce à la plateforme Google Earth Engine. Les résultats obtenus ont révélé des différences significatives dans l'estimation des surfaces incendiées, pouvant atteindre jusqu'à 400%.

En conclusion, il est essentiel d'évaluer de manière approfondie la qualité des données utilisées pour reconstruire l'historique des incendies à partir des statistiques nationales. Cela permettra d'éviter des conclusions erronées et d'améliorer la crédibilité des données, afin qu'elles puissent être plus largement utilisées dans l'analyse comparative des modèles d'incendie et l'étude de la météo des incendies.

Ce projet de fin d'étude contribue également à l'analyse du régime de feu sous-représenté sur la limite sud du bassin méditerranéen, en fournissant des informations précieuses sur les incendies de forêt dans la région de Sidi Bel Abbès.

Mots clés : feux de forêt, risque majeur, modélisation, analyse de changement, spatiotemporel, GEE.

Abstract

The final project consists of a critical analysis of forest fire records in the province of Sidi Bel Abbes over the past twenty years (2000-2020). The objective is to evaluate the quality of the data provided by the General Directorate of Forests (DGF) using techniques such as Geographic Information Systems (GIS) and remote sensing.

To successfully conduct this study, we have a Java code that allows mapping of the burned areas using multispectral images from Landsat, through the Google Earth Engine platform. The obtained results revealed significant differences in estimating the burned surfaces, with discrepancies reaching up to 400%.

In conclusion, it is crucial to thoroughly assess the quality of the data used to reconstruct the fire history based on national statistics. This will help avoid erroneous conclusions and enhance the credibility of the data, allowing for broader utilization in comparative analysis of fire models and the study of fire weather.

Furthermore, this final project contributes to the analysis of the underrepresented fire regime on the southern boundary of the Mediterranean basin by providing valuable information on forest fires in the **Sidi Bel Abbes** region

Key words: forest fires, major risk, modeling, change analysis, spatiotemporal, GEE.

ملخص

المشروع التخرج يتكون من تحليل نقدي لتسجيلات حرائق الغابات في ولاية سيدي بلعباس على مدى العشرين سنة الماضية (2000-2020). الهدف هو تقييم جودة البيانات المقدمة من قبل المديرية العامة للغابات باستخدام تقنيات مثل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.

لإتمام هذه الدراسة، لدينا code Java يتيح رسم خرائط للمناطق المحترقة باستخدام صور متعددة الطيف من الأقمار الصناعية Landsat، باستخدام منصة Google Earth Engine. أظهرت النتائج الحصول على اختلافات كبيرة في تقدير مساحات الحرائق، تصل إلى 400%.

في الختام، من الضروري تقييم جودة البيانات المستخدمة في إعادة بناء سجلات الحرائق من الإحصاءات الوطنية بشكل متعمق. هذا سيسمح بتجنب استنتاجات خاطئة وتحسين مصداقية البيانات، لكي يتمكنوا من استخدامها على نطاق أوسع في التحليل المقارن لنماذج الحرائق ودراسة الظروف الجوية للحرائق.

يساهم هذا المشروع التخرج أيضاً في تحليل نظام الحرائق المنقوص في الحافة الجنوبية لحوض البحر الأبيض المتوسط، من خلال توفير معلومات قيمة حول حرائق الغابات في منطقة سيدي بلعباس.

الكلمات المفتاحية: حرائق الغابات، المخاطر الكبرى، النمذجة، تحليل التغيير، الزماني والمكاني، الخادم السحابي. (GEE)

Table des matières

CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE DES FEUX DE FORETS EN ALGERIE	6
I.1. Généralités sur Les incendies de foret	5
I.1.1. Feux de forêts en Algérie	5
I.1.1. Les forêts en Algérie	6
I.1.1. Historique des incendies de forêts en Algérie	6
I.1.2. Evolution annuelle des nombres de feux et des superficies parcourues par les incendies en Algérie (période 1876-2014)	7
I.1.2.1. Période coloniale 1876-1962	7
I.1.2.1. La période de l'Algérie indépendante 1963-2014	9
I.1.3. Facteurs de causes et d'aggravation des incendies de forêts	12
I.1.3.1. Paramètre naturel	13
I.1.3.2. Paramètre anthropique	14
III.1. Situation géographique de la Wilaya de Sidi Bel Abbés	17
III.2. Description du milieu physique	20
III.2.1. Topographie et relief	20
III.2.2. Hydrographie	23
III.2.3. Géographie et pédologie	25
III.2.3.1. Géographie	25
III.2.3.2. Pédologie	26
III.3. Climat	27
III.3.1. Etage bioclimatique	27
III.3.1.1. Pluviométrie	27
III.3.2. Humidité relative de l'air	28
III.3.3. Températures	28
III.3.4. Vent	29
III.4. Répartition générale des terres	29
III.5. Présentation du milieu forestier	30
III.5.1. Répartition de la superficie forestière par type de formations	31
III.5.2. Répartition de la superficie forestière par essence	32
III.5.3. Répartition de la superficie forestière par circonscriptions	33

III.1.Objectif du travail:.....	36
III.2 .Matériels utilisés:.....	36
III.2.1.Données des incendies de forêt.....	36
III.2.2. Données de télédétection.....	36
III.2.3.Logiciels utilisés :	38
III.3. Approche méthodologique	40
III.3.1 Organigramme du travail.....	40
III.3.2. Mise en forme des Statistiques de la DGF.....	42
III.3.3. Exportation des résultats sous ArcGIS.....	42
III.3.4.Code GEE de cartographie BAMT.....	43
III.3.4.1 Données d'entrées :	44
III.3.4.2 Outil de cartographie BA.....	47
III.3.4.2.1 Paramètres initiaux	47
III.3.4.2.2 Premières couches.....	49
III.3.4.2.3 Détection BA.....	50
III.3.4.2.3 Exportation des résultats.....	52
IV.1. Comparaison des statistiques DGF aux résultats BAMT de wilaya de sidi bel Abbes.....	60
IV.2. 1 Analyse interannuelle des incendies des forets de la wilaya de Sidi bel Abbas (2000-2020).....	61
IV.2 Analyse intra annuelle des incendies de forets de la wilaya de sidi bel Abbas (2000-2022).....	64
Conclusion.....	67

INTRODUCTION

Introduction

La forêt méditerranéenne est un écosystème d'une beauté et d'une richesse exceptionnelles. Il mérite d'être préservé et protégé, car il joue un rôle essentiel dans la régulation du climat, la conservation de la biodiversité et la fourniture de services écosystémiques indispensables à notre bien-être.

D'après les statistiques de la DGF données en 2018, Les forêts algériennes couvrent environ 4,15 millions d'hectares, ce qui représente environ 1% de la superficie totale du pays. Malheureusement, ce précieux patrimoine forestier est confronté à de nombreux défis, tels que la déforestation, les incendies, le surpâturage et l'urbanisation croissante. Ces facteurs menacent la biodiversité et les services écosystémiques fournis par les forêts. Mais le facteur le plus redoutable de la forêt planétaire, méditerranéenne et algérienne sont les incendies. En effet, des fréquences annuelles de 378 à 1388 feux causants une perte de 41258 à 34596 Ha ont été enregistrés respectivement durant les périodes (1876-1962) et (1963-2007) (MEDDOUR SAHAR et al., 2008).

La Wilaya de Sidi Bel Abbes est l'une des wilayas algériennes les plus touchées par les feux de forêt. La conservation des forêts de la wilaya utilise généralement des méthodes classiques pour établir les statistiques des incendies de forêt. Les méthodes classiques peuvent inclure la collecte manuelle des données, l'estimation visuelle des surfaces brûlées et le comptage des incidents signalés. Cependant, elles peuvent présenter certaines limitations qui pourraient affecter la fiabilité des statistiques.

La télédétection et les SIG sont des outils précieux pour la cartographie des incendies de forêt, permettant de collecter, traiter et analyser les données spatiales. Grâce à des capteurs embarqués sur des satellites, avions ou drones, la télédétection fournit des images et des données en temps réel pour détecter les feux. Les SIG intègrent ces informations avec d'autres données géographiques, créant ainsi des cartes détaillées, des modèles de propagation et des cartes d'évacuation. Comparés aux méthodes traditionnelles, ces outils

offrent une couverture étendue, une rapidité, une surveillance en temps réel, une analyse avancée et une visualisation améliorée.

Google Earth Engine est une plateforme ouverte largement utilisée pour la cartographie et l'analyse des zones incendiées. En tant que plateforme, elle offre un accès à une vaste collection de données satellitaires provenant de différentes sources, telles que Landsat, Sentinel, MODIS, etc. Ces données sont prétraitées et prêtes à être utilisées, facilitant ainsi leur exploitation pour la cartographie des zones incendiées.

Dans ce contexte, notre projet de fin d'étude vise à réaliser une analyse critique des données statistiques sur les incendies de forêt enregistrés par la conservation des forêts dans la wilaya de Sidi bel Abbas entre 2000 et 2020. Afin d'accomplir cette tâche, nous utiliserons Google Earth Engine pour le traitement des images multi-spectrales provenant de Landsat, permettant ainsi de créer une base de données géographique. En exploitant les fonctionnalités avancées des Systèmes d'Information Géographique (SIG), nous serons en mesure de mener une analyse approfondie.

Notre travail est structuré en quatre chapitres :

- ✓ Dans le premier chapitre, on essaye d'exposer d'une manière générale une présentation sur les forêts Algériennes et la problématique des feux qui les impactent ;
- ✓ Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude, dans laquelle nous avons fait la description des forêts de la wilaya de Sidi Bel Abbas et une synthèse climatique des paramètres météorologiques.
- ✓ Le troisième chapitre présente la description de la méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail ;
- ✓ Le quatrième et le dernier chapitre représentent l'interprétation et la discussion des résultats obtenus.

CHAPITRE I. FEUX DE FORETS EN ALGERIE

I.1. Généralités sur Les incendies de forêt

Les feux de forêts sont des incendies qui se développent et se propagent en forêts, bois, maquis ou garrigues. Plusieurs facteurs sont à l'origine de ces incendies de forêts : le vent, l'ensoleillement, l'hygrométrie, le bilan hydrique, ... etc.

Les forêts méditerranéennes tendent à être organisées par niveau altitude ou étages successifs de végétation (**Quezel et Médail, 2003**). Le massif des Aurès représente un modèle typique de forêts méditerranéennes (**Miara, 2011**). En effet, du fait de sa diversité géographique et topographique, le territoire des Aurès est vulnérable aux impacts climatiques que conduisent à des feux forêts majeurs (**Miara et al, 2013**). C'est pour cette raison que cette zone est retenue comme terrain d'étude et dont sa description et présentation fera l'objet de ce chapitre.

La présentation de la zone des Aurès est, logiquement, précédée par le contexte de notre recherche qui sera détaillée ci-après.

I.1.1. Feux de forêts en Algérie

En Algérie comme dans les pays méditerranéens, le patrimoine forestier continue de dégradation (**DGF, 2012**): sa composition floristique est très inflammable, et son climat estival chaud et sec favorise le déclenchement des incendies et l'activité humaine de la végétation locale croissante des populations.

En effet, l'Algérie qui couvre une superficie de **2 381 742 km²**, représente un couvert forestier global qui est de **4,1** millions d'hectares ; soit un taux de boisement de **1,7 %** et de **16,4%** pour le nord de l'Algérie (**Hadef, 2010; Meddour et Bouisset, 2013**). Le Nord de l'Algérie où les conditions climatiques et de milieu permettent le développement de la forêt, couvre **250 000 km²** (**10%** de la surface totale), l'autre superficie (**90%**) est occupée par le Sahara (**Hadef, 2010**).

La région des Aurès représente la limite écologique la plus sèche de la région du cèdre avec une légère diminution de la pluviométrie (**Chenouf, 2014**).

I.1.1. Les forêts en Algérie

La superficie des forêts algériennes est estimée à **4,7** millions d'hectares de forêts et de maquis, ce qui représente un taux de boisement d'à peine **11%**, en ne considérant que le nord du pays. Le patrimoine forestier est ainsi dominé par les maquis, dont la superficie est estimée à **1,8** millions d'hectares, qui représentent **45 %** de la superficie forestière et arborée totale, alors que les forêts naturelles, au sens strict, n'occupent que **32 %**. Les superficies reboisées représentent quant à elles **972 800 Ha**, soit **23 %** (**Figure 1**).

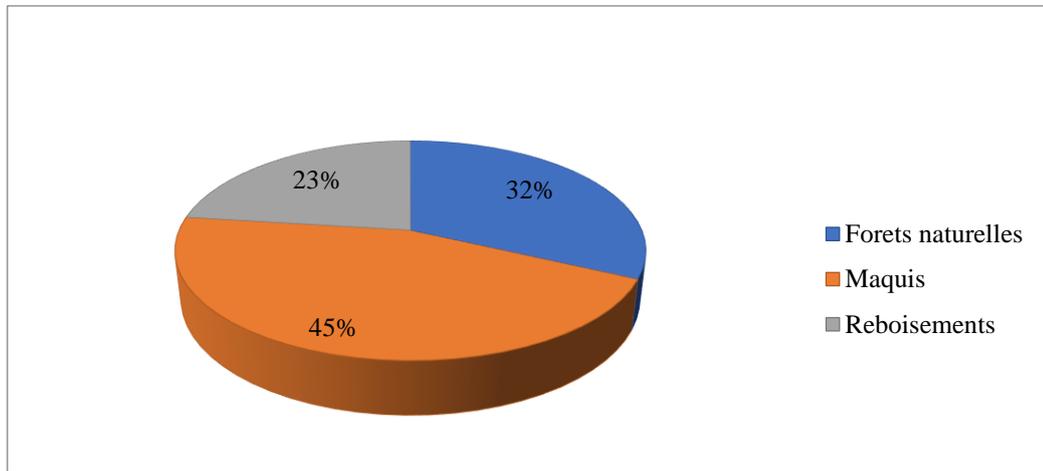


Figure 1 : Principales formations d'Algérie forestières (DGF 2000)

I.1.1. Historique des incendies de forêts en Algérie

Les incendies de forêt et les espaces naturels constituent le désastre le plus dangereux, les conséquences sur le milieu naturel sont beaucoup plus graves, car elles aboutissent à des pertes forestières immédiates. En Algérie, les gestionnaires forestiers sont confrontés à une tendance générale l'augmentation des superficies brûlées et de la gravité des incendies.

L'analyse des statistiques des feux de forêts en Algérie permettra de retracer leur historique sur une très longue période continue de **139 ans (1876 à 2014)**. En effet, l'Algérie est l'un des rares pays qui dispose de statistiques sur les feux de forêts sur une période assez importante (**Meddour-Sahar et al., 2008**). Les principales sources de

données utilisées sont celles de **Grim (1989)** in **Megrerouche (2006)**, **Kebir & Abbas, (2011)** (pour la période : **2001-2014**). Leur recueil permettra de reconstituer cette série chronologique comportant deux étapes historiques de notre pays.

Dans l'analyse qui suit, nous aborderons aussi bien l'évolution annuelle du nombre de feux que celle des superficies parcourues annuellement par les incendies, on la partageant en deux périodes de durée différente : la période coloniale (**1876-1962**) et celle de l'Algérie indépendante (**1963-2014**). Cette analyse nous permettra de mieux comprendre l'évolution temporelle des feux de forêt en Algérie et de déceler les tendances générales de cette évolution, et à déterminer si les feux se détériorent ou non. Pour la wilaya de Sidi Bel Abbès, la seule source de données utilisée couvre une période de **30 ans (1985-2014)** et est la direction générale des forêts.

Toutefois, il est important d'exercer une prudence lors de l'interprétation des longues séries statistiques comme le soulignent **Alexandian & Esnault (1998)**, en effet, le contexte forestier a pu évoluer de manière significative, des événements politiques ont également pu affecter le pays, entraînant des et modification dans la manière de comptabiliser les feux de forêts.

Dans le cas de l'Algérie, après une si longue période (**139 ans**), il est important de reconnaître que systèmes de collecte de l'information ont effectivement évolué, ces évolutions sont survenues après la guerre d'indépendance, marquant un tournât dans histoire de pays, ainsi qu'après la promulgation de la loi portant « Régime Général des Forêts en Algérie » en **1984**, De plus, il convient de prendre en compte fiabilité des données recueillies durant la « décennie noire » d'instabilité politique qu'a traversé notre pays (**années 1990**).

I.1.2. Evolution annuelle des nombres de feux et des superficies parcourues par les incendies en Algérie (période 1876-2014)

I.1.2.1. Période coloniale 1876-1962

Les surfaces incendiées

Marc (1930), à l'occasion du centenaire de la colonisation, réaffirmée en **1830**, il existe un assez beau domaine forestier, estimé à **5 millions d'hectares**. L'exploitation des forêts lors de la conquête coloniale pour la construction des bases, des forteresses

et l'approvisionnement des militaires associés à la surexploitation du bois, principalement pendant la seconde guerre mondiale, a entraîné la perte de plus d'un million d'hectares de forêt. **Boudy (1955)** estime qu'entre **1863** et **1865**, d'environ **200.000 ha** ont été brûlés.

La période coloniale a eu un impact dévastateur sur notre patrimoine forestier. Sur une période de **87 ans (1876-1962)**, environ **3 506 942 ha** de forêt ont été parcourue par le feu, soit une moyenne de **41 258 ha/an**. Pendant ce temps, le feu a mis en danger que les surfaces incendiées relevées durant cette période correspondent bien à la réalité notre patrimoine forestier, et malheureusement, dans certains cas, ces incendies se sont répétées de manière excessive, entraînant des dégâts qui ont atteint des proportions des désastreuses. Les statistiques algériennes sur Les incendies révèlent une triste réalité, avec des incendies catastrophiques engloutissant plus de **100 000 ha/an (voire de 150 000 à 200 000 ha)** voire la (**Figure 2**). Ces incendies des grandes ampleurs dramatiques ont coïncidé en général pondant des périodes de troubles, tels que des insurrections, période de guerre, durant la guerre de libération (**1954-1961**) environ **645 414 ha** ont été détruits en raison de la politique de la terre brûlée. Entre **1956 à 1958**, pendant « années de braises » une superficie totale de **435 646 ha** été dévastée par le feu, avec un maximum absolu de **204 220 ha en 1956**. De nombreux massifs forestiers ont été brûlés à plusieurs reprises tels que les Ouarsenis, Djurdjura, et d'autres on estime qu'environ et **220 000 ha** de forêts ont été brules au napalm rien qu'aux Aurès (**Sari, 1976**). Cependant, **Grim (1989)** estime qu'il reste à prouver.

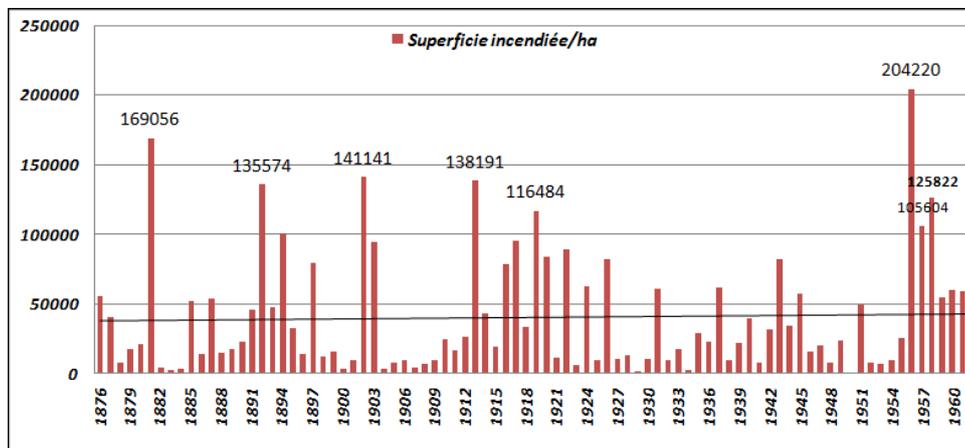


Figure 2 : Evolution annuelle des superficies parcourues par le feu en Algérie

La fréquence des feux

Pour la période coloniale, les données de comptage des incendies sont disponibles pour la période **1876-1915**, (soit sur **40 ans**) (**Figure 3**), où on a enregistré un total de **11 135** feux, soit une moyenne de **278** incendies/an. Cette moyenne annuelle a été dépassée pendant une dizaine d'années, par exemple lors des années successives **1885 à 1889, 1891 à 1893**. Cependant, la fréquence annuelle des incendies la plus élevée s'est manifestée à huit reprises plus tard, particulièrement en **1902 (475 feux)**, **1903 (388 feux)**, **1910 (482 feux)** et en **1913**, avec une valeur record de **696** feux. De toute évidence, il y a eu une augmentation marquée annuelle des incendies au cours de cette période (comme le montre la courbe de tendance sur la (**Figure 3**)).

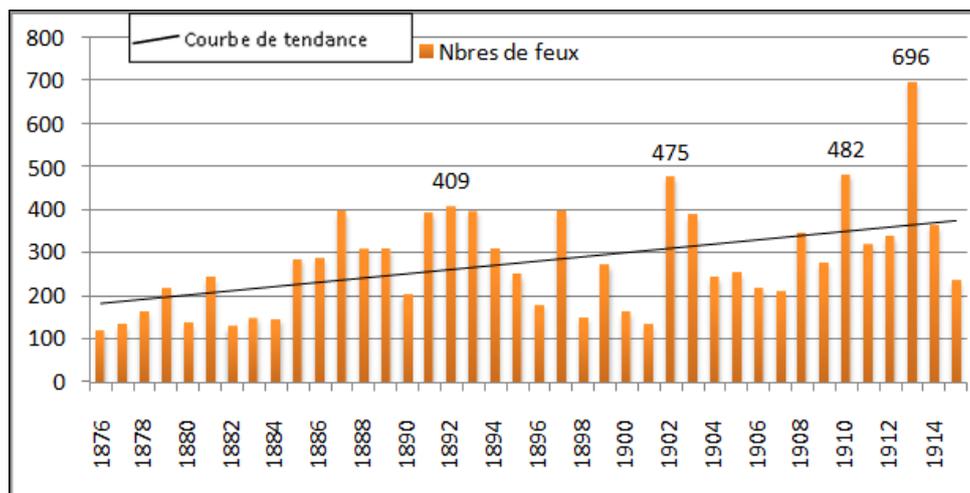


Figure 3 : Evolution annuelle des nombres d'incendies en Algérie (période 1876-1915).

I.1.2.1. La période de l'Algérie indépendante 1963-2014

Les surfaces incendiées

Grâce à l'action humaine, la dégradation des forêts algériennes et la réduction des zones forestières ont persisté jusqu'à ce jour.

En effet, la superficie totale du domaine forestier algérien actuel est inférieure à **2 500 000 ha** dont **1,8** millions d'hectares fortement dégradés. Cependant, il convient de noter que grâce aux opérations de reboisement mises en place après

l'indépendance, les formations forestières couvrent actuellement **4,1 millions d'hectares (FOSA, 2000)**.

Après l'indépendance, la forêt algérienne n'a pas été épargnée par les incendies de forêt. En effet, la superficie forestière totale incendiée durant la période **1963-2014 (52 ans)** est évaluée à **1 797 491 ha**, le feu a donc détruit en moyenne **34 567 ha/ans**. Cependant, la superficie brûlée fluctue d'une année à une autre. Après l'indépendance, les forêts algériennes ont ainsi connu un calme relative, puisque les superficies brûlées ont diminué par rapport à la période coloniale, où la moyenne annuelle était, rappelons-le, de **41 258 ha** (soit **16 %** de moins). Toutefois, on reste certainement loin des incendies catastrophiques de **100 000 à 150 000 ha** de la période coloniale. Essence Cependant, l'Algérie a vécu deux années catastrophiques, pour ne pas dire infernales. Celles-ci marqueront toujours l'histoire des incendies de forêts de mon pays, en **1983** et **1994**, **221 367 ha** et **271 598 ha** étaient respectivement, deux records absolus dépassant largement celui de **1956 (204 220 ha)**. Ces deux années, à elles seules, totalisent **492 965 ha**, soit un taux de **27,43 %** sur le total de la chronologie actuelle (**52 ans**).

De telles surfaces brûlées « exceptionnelles » peuvent être dues, du moins en grande partie, à des conditions climatiques très favorables au déclenchement et à la propagation du feu (sécheresse persistante depuis plusieurs années consécutives, épisodes venteux, canicules). En effet, selon **Kacha (1990)**, l'Algérie a connu 6 années de sécheresse dans les années **1980**, où le déficit hydrique a atteint un niveau critique évalué à moins **25 %** du volume annuel en moyenne. Pour sa part, **Ait Mouhoub (1998)** note également que la sécheresse était très prononcée en Algérie dans les années **1980**, où le déficit pluviométrique variait entre **15** et **26 %** selon les régions (Centre, Est et Ouest).

Quant à l'année critique **1994**, la xéricité (C'est à dire l'ensemble des paramètres qui déterminent un milieu caractérisé par une aridité persistante et une végétation adaptée à la sécheresse) climatique peut expliquer naturellement les incendies catastrophiques qui ont marqué notre pays et d'autres régions méditerranéennes, comme par exemple l'Espagne (**Velez, 1995**). Pour **Ramade (1997)**, les désordres politiques, comme en Algérie, sont « depuis **1992** à l'origine de plusieurs incendies ayant ravagé de vastes forêts, en particulier en Kabylie ».

Meddour-Sahar et al. (2013) analyse de bilan des incendies des forêts en Algérienne de **1980 à 2012**. Ces auteurs ont conclu que la lourdeur du bilan témoigne d'une incapacité à agir sur les causes de départs de feux.

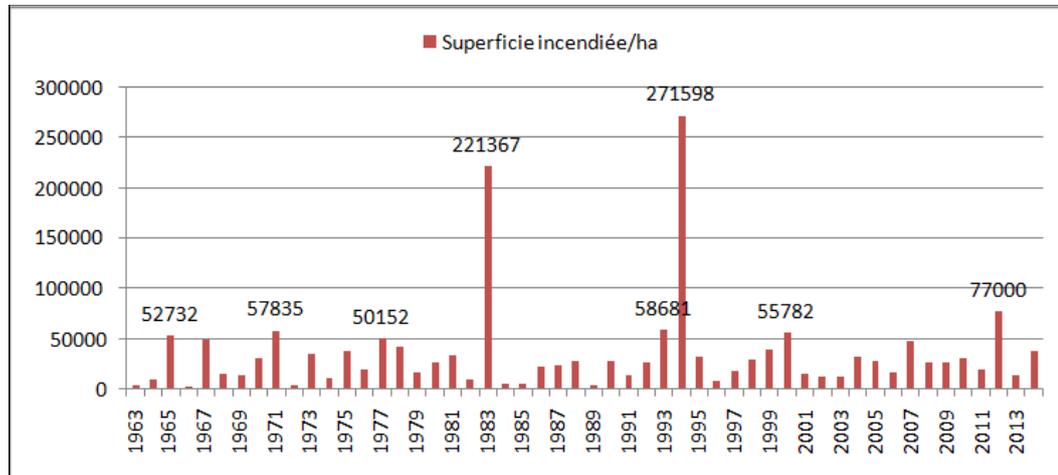


Figure 4 : Evolution annuelle des superficies parcourues par le feu (1963-2014)

La fréquence des feux

Pendant la période indépendante de l'Algérie, les données sur la fréquence des incendies sont disponibles depuis **1979**, il dure **36 ans (Figure 5)**, qui enregistré de **61 498 feux**, avec une moyenne de **1708 feux/an**. Par rapport à la période coloniale (**1876-1915**), cela représente **6.14** fois plus élevé. De plus, **17** années ont largement dépassé cette moyenne annuelle, telles que les années **1992** et **1993** où la fréquence des incendies a atteint des sommets vertigineux dépassant les **2 000 feux/an**, plus spécialement en **1994** avec un record de **2 392 feux**. Des fréquences annuelles des feux très élevées se sont encore présentées plus tard et pendant les années allant de **1997** à **2000** et de **2004** à **2009** (avec de **1400** à plus de **2 000 incendies/an**). Des fréquences annuelles encore plus dramatiques ont été notées pour la période allant de **2010** à **2014** (plus de **2 500** à **5 000 incendies/an**). Sans aucun doute, La tendance générale pour cette période est sans équivoque : une hausse exponentielle de la fréquence annuelle des feux (comme l'illustre bien la courbe de tendance sur la (**Figure 5**)). C'est le résultat de plusieurs petits incendies consommant très peu de surface.

Sinon, par rapport à la période coloniale, comment expliquer la baisse des zones de brûlure et l'augmentation significative de la fréquence des incendies. Cette situation pourrait s'expliquer par la réduction du couvert forestier et probablement par l'efficacité des interventions des services de lutte contre les incendies.

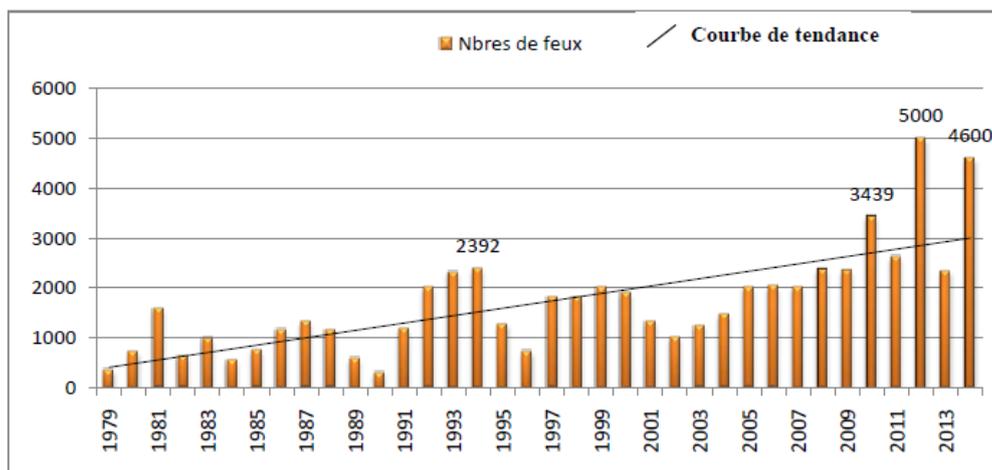


Figure 5 : Evolution annuelle des nombres d'incendies en Algérie (1979-2014)

I.1.3. Facteurs de causes et d'aggravation des incendies de forêts

L'incendie de forêt est « une combustion qui se développe sans contrôle, dans le temps et dans l'espace » (**Trabaud, 1989 ; Gérard, 2001**).

Pour rappel, le mot forêt signifie, en plus des forêts au sens strict, l'ensemble des formations sub-forestières qui sont les garrigues, maquis, ... etc. Dans les autres cas, on parle d'incendie de forêts de l'espace rural et périurbain lorsque l'incendie concerne une surface minimale d'un hectare dans (**Hassas, 2005**) : les boisements linéaires des feux d'herbes, d'autres feux agricoles, des dépôts d'ordures, ... etc.

Les incendies de forêt dépendent de facteurs naturels déterminants tels que (**Gérard, 2001**) : les combustibles végétaux, les conditions climatiques, la topographie et surtout la présence de facteurs anthropiques et/ou socio-économiques. Selon **Meddour (2014)**, ce sont ces facteurs qui déterminent en grande partie le déclenchement et la propagation des incendies.

Les forêts sont menacées par deux paramètres : le premier est naturel tandis que le second est anthropique.

I.1.3.1. Paramètre naturel

Les facteurs déterminants d'un incendie de forêts dépendent de paramètres naturels parmi lesquels figurent : les caractéristiques de la végétation, les conditions climatiques ainsi que la topographie.

A. Les caractéristiques de la végétation

Certaines formations végétales sont plus sensibles et plus vulnérables que les zones forestières que d'autres, compte tenu de l'inflammabilité et de la compossibilité de la végétation comme les landes, les maquis et les garrigues (**Gérard, 2001 ; Hassas, 2005 ; Meddour, 2014**). Cette situation s'explique par la composition, la structure de ces formations et les conditions climatiques auxquelles elles sont soumises en particulier leur teneur en eau. A ce propos, il est important de souligner la difficulté d'établir un lien entre les incendies de forêts et les conditions météorologiques⁸ (**Hassas, 2005 ; Meddour et al, 2010**).

L'état de la végétation est un facteur important par son inflammabilité des végétaux qui joue un rôle indirect dans la mise en feu et sa combustibilité :

- l'inflammabilité d'un végétal est déterminée par sa teneur en eau, en relation avec les paramètres climatiques (température, humidité, vent), ainsi que par sa composition chimique et en relation avec le type d'essence,

B. Les conditions climatiques

Les conditions climatiques et plus précisément météorologiques, notamment les variations brutales des conditions climatiques, vont aussi affecter le feu en influençant (**Gérard, 2001**) : l'inflammabilité, la combustibilité de la végétation et le comportement du feu. Ces conditions climatiques, qui traduisent la température, le vent, l'humidité relative et les précipitations, influent sur la teneur en eau des végétaux (dessèchement des plantes), qui seront plus ou moins propices à s'enflammer et à propager une flamme. De ce fait, la vitesse du vent est

- la combustibilité d'un végétal est déterminée à partir de la structure des formations (distribution horizontale et verticale) et la composition en essence du peuplement. Généralement corrélée à la vitesse de la propagation des feux⁹ et la direction du vent¹⁰ (**Gérard, 2001**).

C. La topographie

La topographie est une variable constante, c'est-à-dire qu'il ne change pas dans le temps. Dès lors, on peut facilement déterminer son effet sur la propagation du feu, on peut retenir deux facteurs importants (**Afra, 2008**) : l'inclinaison des pentes et leur exposition aux vents dominants.

En effet, en ce qui concerne l'inclinaison de la pente, on précise que la pente modifie l'inclinaison de la flamme par rapport au sol et favorise les transferts thermiques vers la végétation située en amont quand l'incendie remonte une pente (**Afra, 2008 ; Tir, 2016**). Cette exposition joue un rôle indirect dans la propagation du feu sur les pentes du fait de leur exposition aux vents dominants (**Dauriac et al., 2001 ; Tir, 2016**) : la végétation sur les pentes est généralement plus inflammable.

Pour conclure ce paramètre naturel, nous rappelons que la végétation ne s'enflammant pas seule même dans le cas d'une forêt où la sécheresse, les vents et la température sont élevés. En effet, pour qu'un incendie se déclenche, il faut que trois critères soient remplis (**Amraoui, 2014**) : une source combustible (végétation ou n'importe quel matériau pouvant brûler), une source externe de chaleur (flamme ou étincelle) et un comburant (un apport en exogène de l'air nécessaire pour alimenter le feu).

Par ailleurs, nous rappelons que l'unique cause naturelle connue dans le bassin méditerranéen est la foudre qu'est heureusement relativement rare. Par contre, les causes naturelles sont plus fréquentes en particulier en Europe et en Amérique.

I.1.3.2. Paramètre anthropique

Les facteurs anthropiques conditionnent dans une large mesure l'éclosion et la propagation d'un incendie de forêt. Parmi ces facteurs figure la présence de l'homme et son activité dans la zone de contact avec la forêt. D'après **Gérard (2001)**, ce facteur

est statistiquement le plus important. A ce propos, les études statistiques sur les causes d'incendies de forêts montrent que les causes humaines sont les plus plausibles.

Ces causes peuvent être involontaires ou volontaires (**Gemagraf, 1990 ; Pierre et al, 2003**).

Parmi les causes involontaires, nous citons :

- Les indiscretions liées aux travaux agricoles ou forestiers,
- Les accidents liés : à la circulation, aux installations des lignes électriques, aux chemins de fer, aux dépôts d'ordure, ... etc.

Pour les causes volontaires, ce sont surtout les actes de sabotage et de la vengeance qui sont les plus significatifs.

CHAPITRE II.
PRESENTATION DE LA ZONE
DETUDE

La wilaya de **SIDI BEL ABBES**, occupe une position de carrefour sur l'ouest Algérien située à environ **450 km** à l'ouest de la capitale ALGER, à **85 km** au sud d'ORAN et à près de **90 km** à l'est de TLEMCEM. Elle s'étend sur une grande superficie avoisinant 9150 km².

La diversité du milieu dans la wilaya de **SIDI BEL ABBES** où l'on passe aisément d'un milieu steppique à de grands ensembles forestiers, à des plaines agricoles et fertiles, à des zones urbanisées et industrialisées et la multiple disposition des équipements et des infrastructures plus la forte concentration de la population dans les tissus urbains fait que les risques se démultiplient et peuvent se conjuguer.

III.1. Situation géographique de la Wilaya de Sidi Bel Abbés

D'après la **C.F.SBA (2021)**, la Wilaya de Sidi Bel Abbés borde la partie méridionale occidentale du Tell algérien. Située au nord-ouest du pays, elle occupe une position centrale stratégique et s'étend sur environ (**15%**) de l'espace régional, totalisant de ce fait une superficie cadastrale de **915063 km**. Elle comprend **52** Communes regroupées en **15** Dairas.

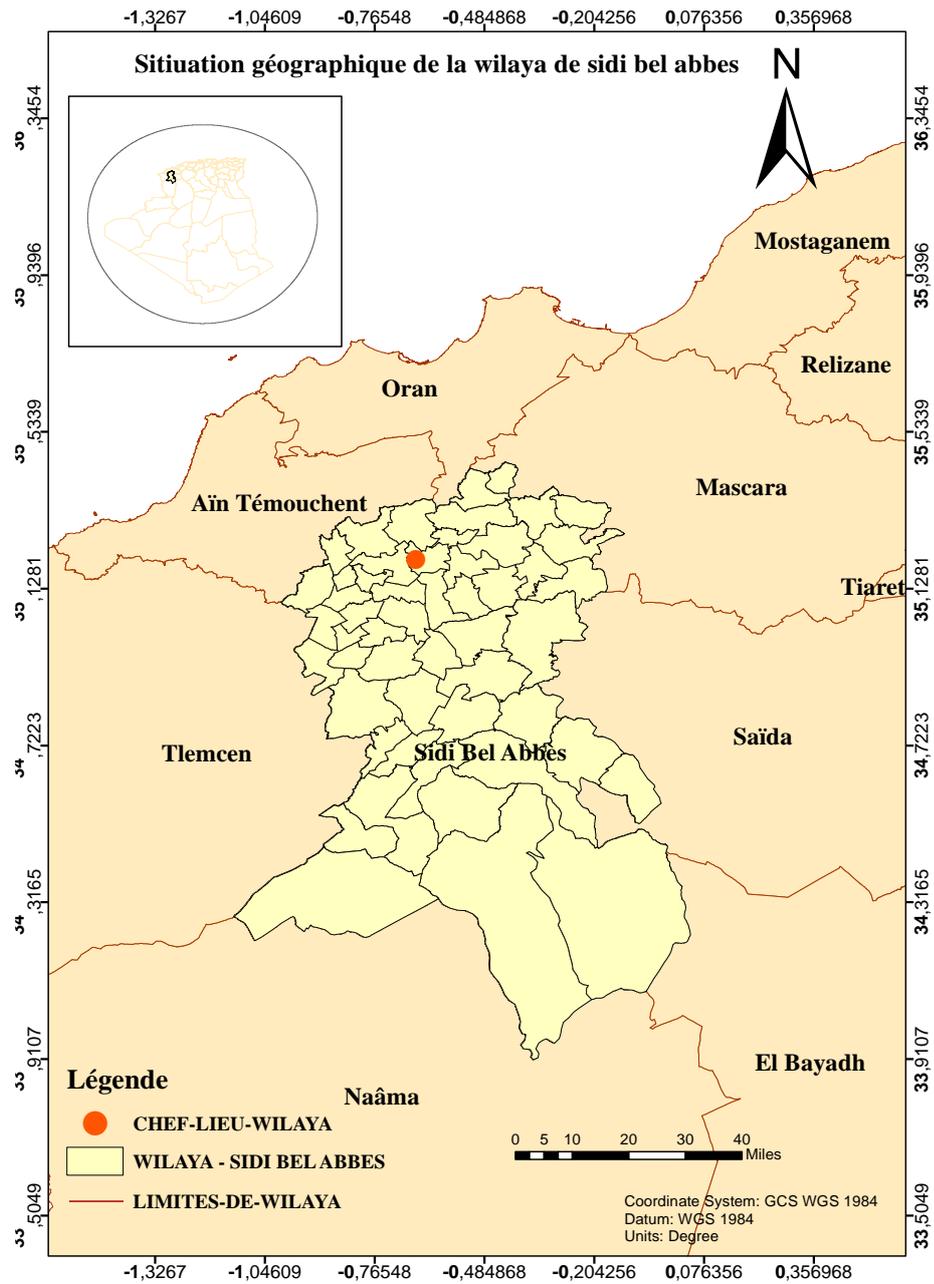


Figure 6 : la carte de Situation géographique de la Wilaya de Sidi Bel Abbès

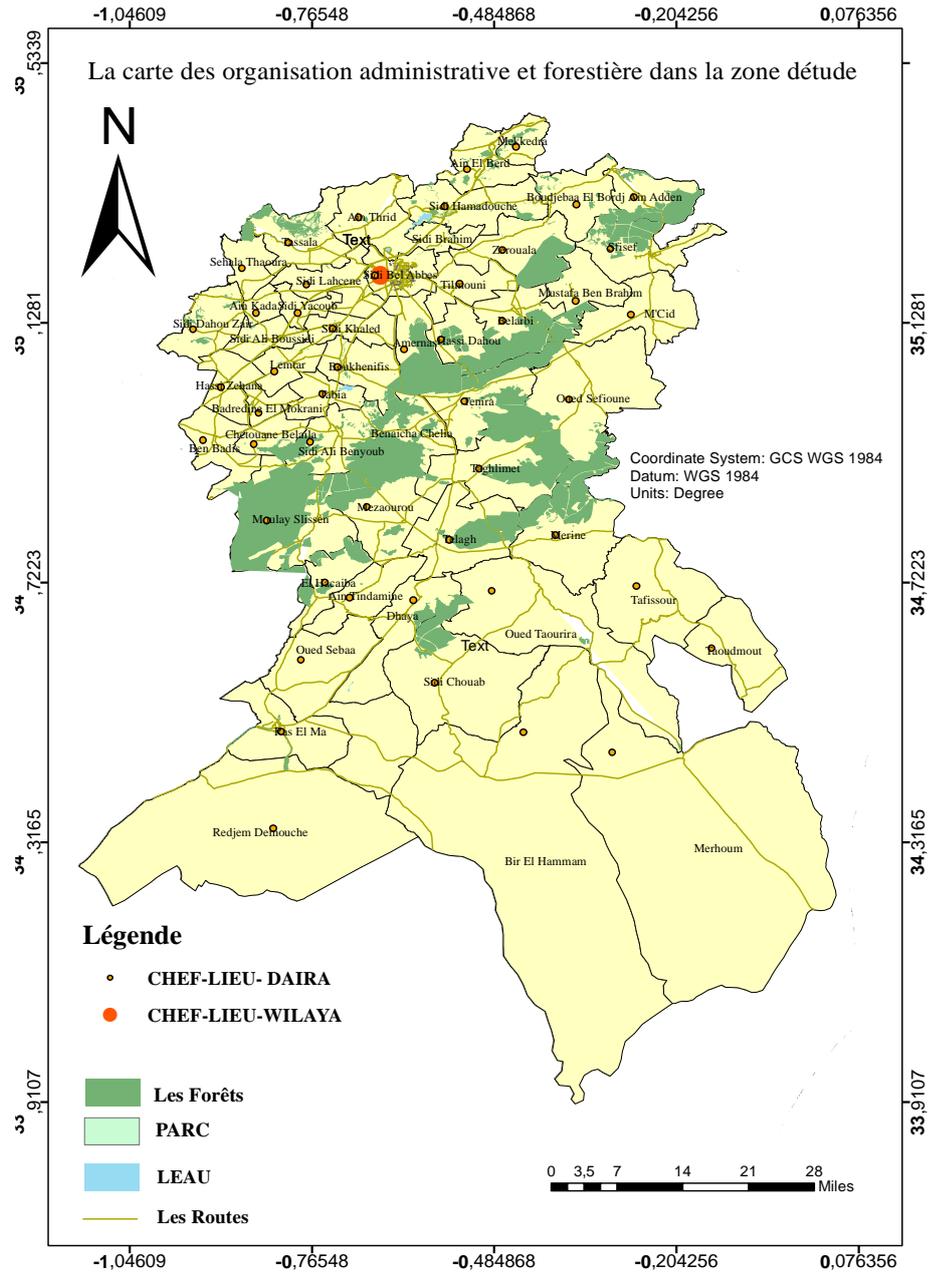


Figure 7 : la carte Organisation administrative et forestière de la wilaya de SIDI Bel Abbas

Géographiquement, la Wilaya est située entre (32° - 12°) de l'altitude nord et (2° - 53°) de longitude ouest. Elle est délimitée comme suite :

- Au Nord par la Wilaya d'Oran ;
- Au Nord-Ouest par la Wilaya d'Ain Témouchent ;
- Au Nord-est par la Wilaya de Mascara,

- À l'ouest par la Wilaya de Tlemcen ;
- À l'est par les Wilayas de Mascara et Saida ;
- Au Sud par les Wilayas de Naama et El Byadh ;
- Au Sud-est par la Wilaya de Saida.

III.2. Description du milieu physique

III.2.1. Topographie et relief

1-Topographie

Paramètre très important, il constitue un facteur de découpage actuellement utilisé. Il se base essentiellement sur la classification des pentes qui est représentée dans le **tableau 01**.

Tableau 1 : Classes des pentes de la Wilaya de Sidi Bel Abbes

Pente (%)	Superficie (Km ²)	Taux de la superficie (%)	Localisation
0-3	323944	35.4	plaines et plateaux
3-25%	366082	40	Bas et Hauts piémonts
Plus de 25	225037	24.5	Montagnes

(Source : BOUZID, 2000)

2-Relief

La wilaya de Sidi Bel Abbés s'inscrit dans un espace géographique constitué de trois (03) grands ensembles naturels distincts à savoir :

-Zones de montagnes

Elle occupe une superficie totale de **2250,37 Km²** soit **24,59 %** de la superficie de la wilaya.

Au nord, nous trouvons les monts de TESSALA – BENI CHOUGRANE, qui occupent une superficie de **864,20 Km²**, c'est une zone montagneuse fortement érodée, déboisée et envahie par des cultures annuelles, essentiellement la céréaliculture, jadis cette zone était consacrée à la viticulture. Cette zone comprend les

communes suivantes : AÏN KADA, SIDI YAGOUB, TESSALA, SEHALA, AÏN THRID, BOUDJEBHA EL BORDJ, AÏN ADDEN, AÏN EL BERD, MEKEDRA ET SIDI HAMADOUCHE.

Les monts de DHAYA occupent la partie centrale de la wilaya, sur une superficie de **1386,16 Km²**, cette zone reçoit des précipitations non négligeables, ces monts sont fortement boisés et représentent **40%** du domaine forestier de la wilaya. Cinq communes occupent ce territoire : MERINE, TEFESSOUR, TAOUDMOUT, OUED TAOURIRA ET DHAYA.

- Zones de plaines

Insérée entre les deux zones montagneuses citées ci-dessus, elle couvre une superficie totale de l'ordre de **3239,44 Km²**, soit **35,41%** du territoire de la wilaya, on y retrouve deux zones distinctes :

1- Les plaines de SIDI BEL ABBES

Qui occupent environ **2102,85** avec une altitude qui varie entre **400m** et **800m**, et compte **20** communes : SIDI BEL ABBES, BEN BADIS, LAMTAR, CHETOUANE, BEDRABINE EL MOKRANI, HASSI ZAHANA, SIDI ALI BOUSSIDI, SIDI DAHOU DES ZAÏRS, SIDI KHALED, SIDI LAHCENE, AMARNAS, SIDI BRAHIM, MUSTAFA BEN BRAHIM, BELARBI, TILMOUNI, ZEROUALA, BOUKHANIFIS, TABIA, SIDI ALI BENYOUB et SFISEF

2- Les hautes plaines de TELAGH

Qui couvrent **1136,59 Km²** dont l'altitude varie entre **400 m** et **1000 m**. Cette zone comprend 11 communes : TELAGH, TEGHALIMET, TENIRA, OUED SEFIOUN, M'CID, HASSI DAHOU, BENACHIBA CHELIA, MOULAY SLISSEN, MEZAOUROU, EL HÇAÏBA, AÏN TINDAMINE.

-Zones de steppe

Située au sud de la wilaya, elle fait face au versant méridional des monts DHAYA, cette zone couvre **3660,82 Km²** soit **40 %** de la superficie de la wilaya, c'est des vastes plaines quaternaires à relief relativement plat avec des parcours très dégradés, constitués principalement de nappes alfatières couvrant une superficie de **153.390 Ha** sur les quelles est pratiqué un agro pastoralisme mal maîtrisé, **06** communes occupent

ce territoire : RAS EL MA, RDJEM DEMMOUCHE, OUED SEBAA, SIDI CHAÏB, BIR EL HMAM ET MARHOUM.

Au sud de cette zone une partie est occupée par la zone nord du CHOTT ECHERGUI.

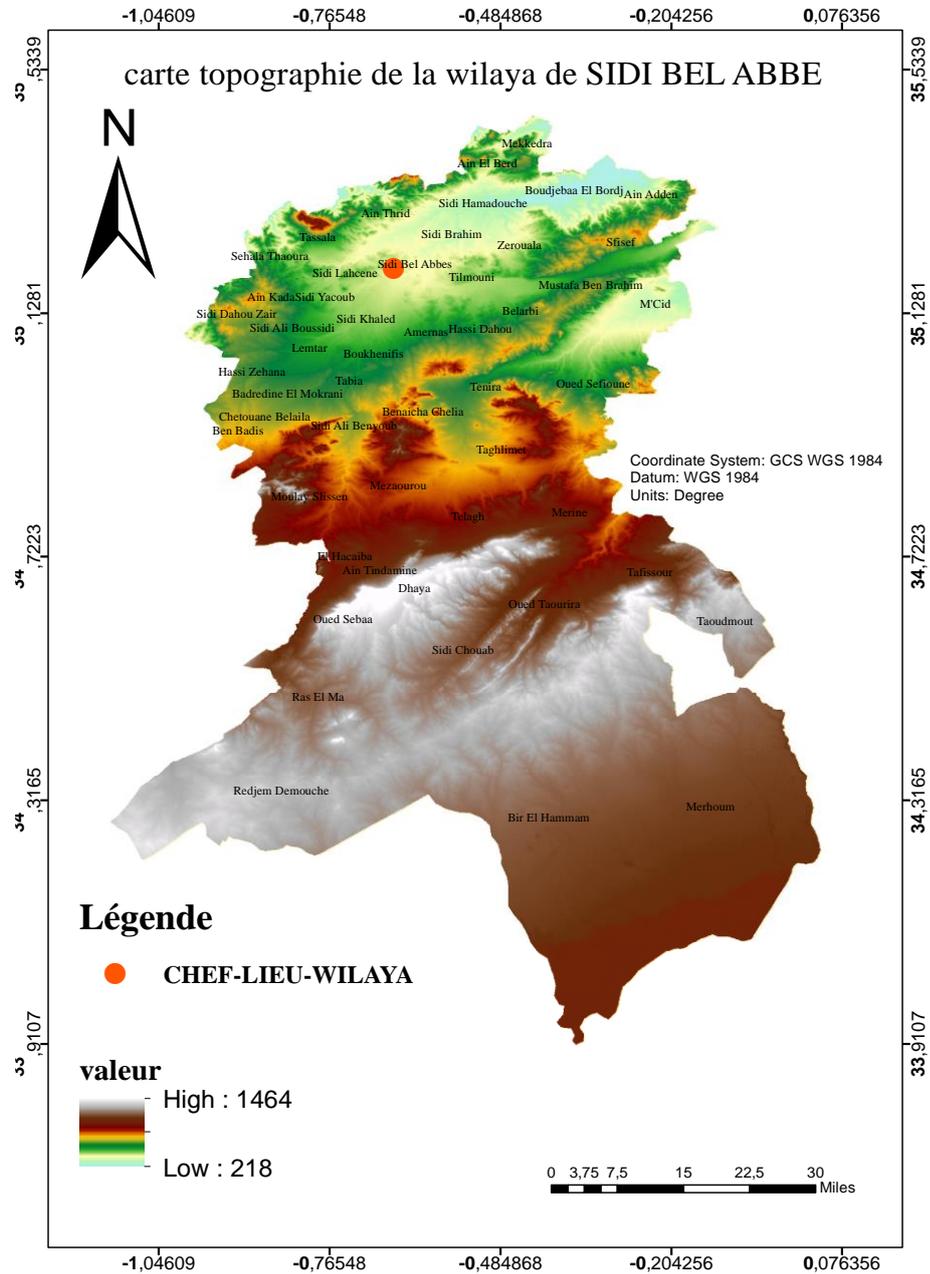


Figure 8 : la carte Topographie de la wilaya de SIDI BEL ABDES

III.2.2. Hydrographie

De point de vue hydrographique, la Wilaya de Sidi Bel Abbes est répartie en trois Sous bassins versants (C.F.SBA, 2021) :

- Cheurfa II. Sur la partie Ouest (5385000 Ha) ;
- Bouhanifia sur la partie Est (268000 Ha) ;
- Chott Echergui sur la partie Sud (262000 Ha).

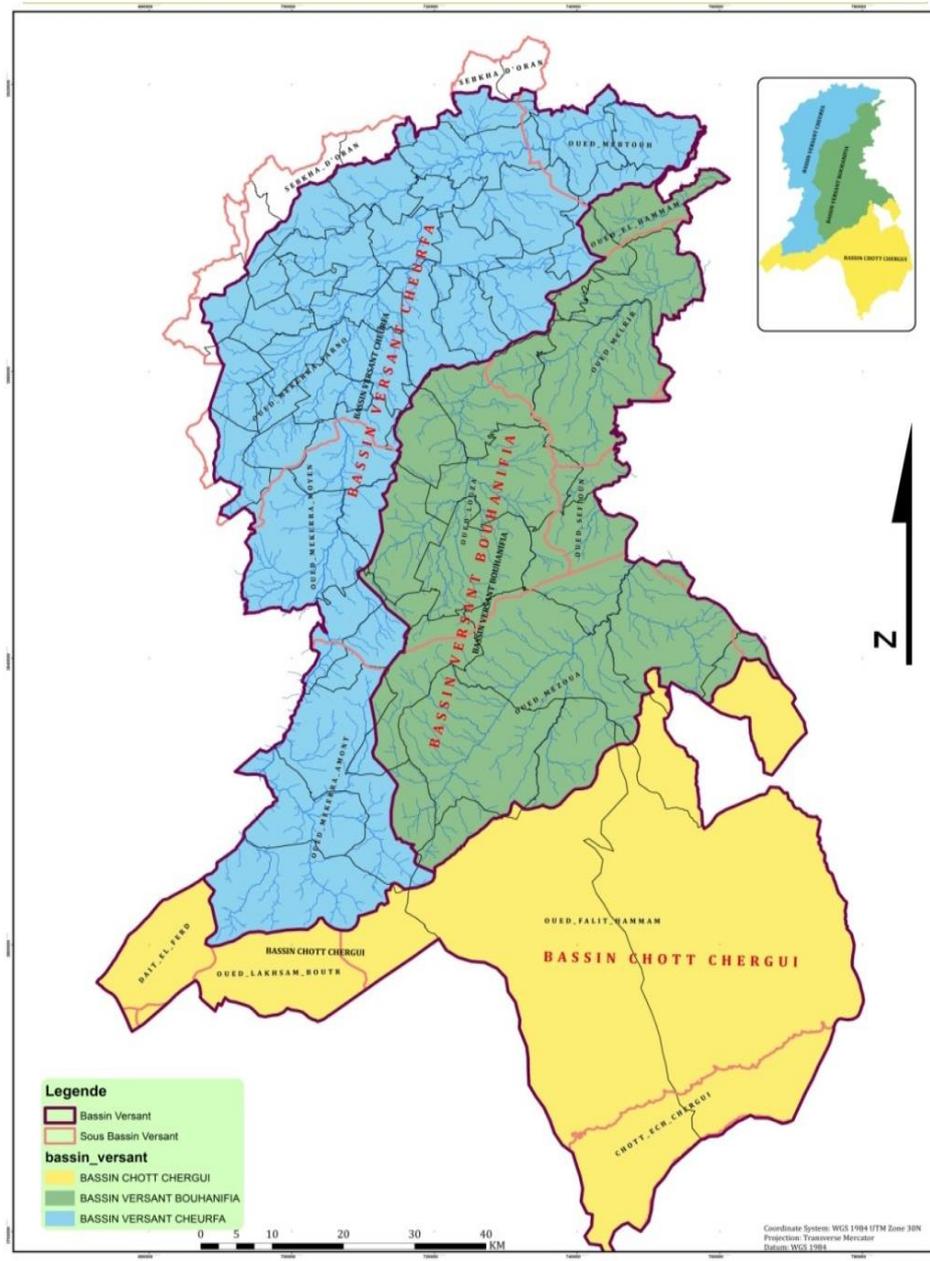


Figure 9 : la carte des bassins versant de la wilaya de Sidi Bel Abbes

(Source : C.F.SBA, 2021)

Tableau 2 : Les oueds importants

N°	Nom d'Oued
1	OUED EL HAMAR
2	OUED SARSAR
3	OUED EL GOR
4	OUED MEKERRA
5	OUED BOU ZOULAI
6	OUED NEKSIFIA
7	LAOUZA
8	OUED TENIRA
9	OUED MELGHIGH
10	OUED MOUZEN
11	OUED TISSAF
12	OUED SARNO
13	OUED MEBROUH

Source : Direction de l'hydraulique

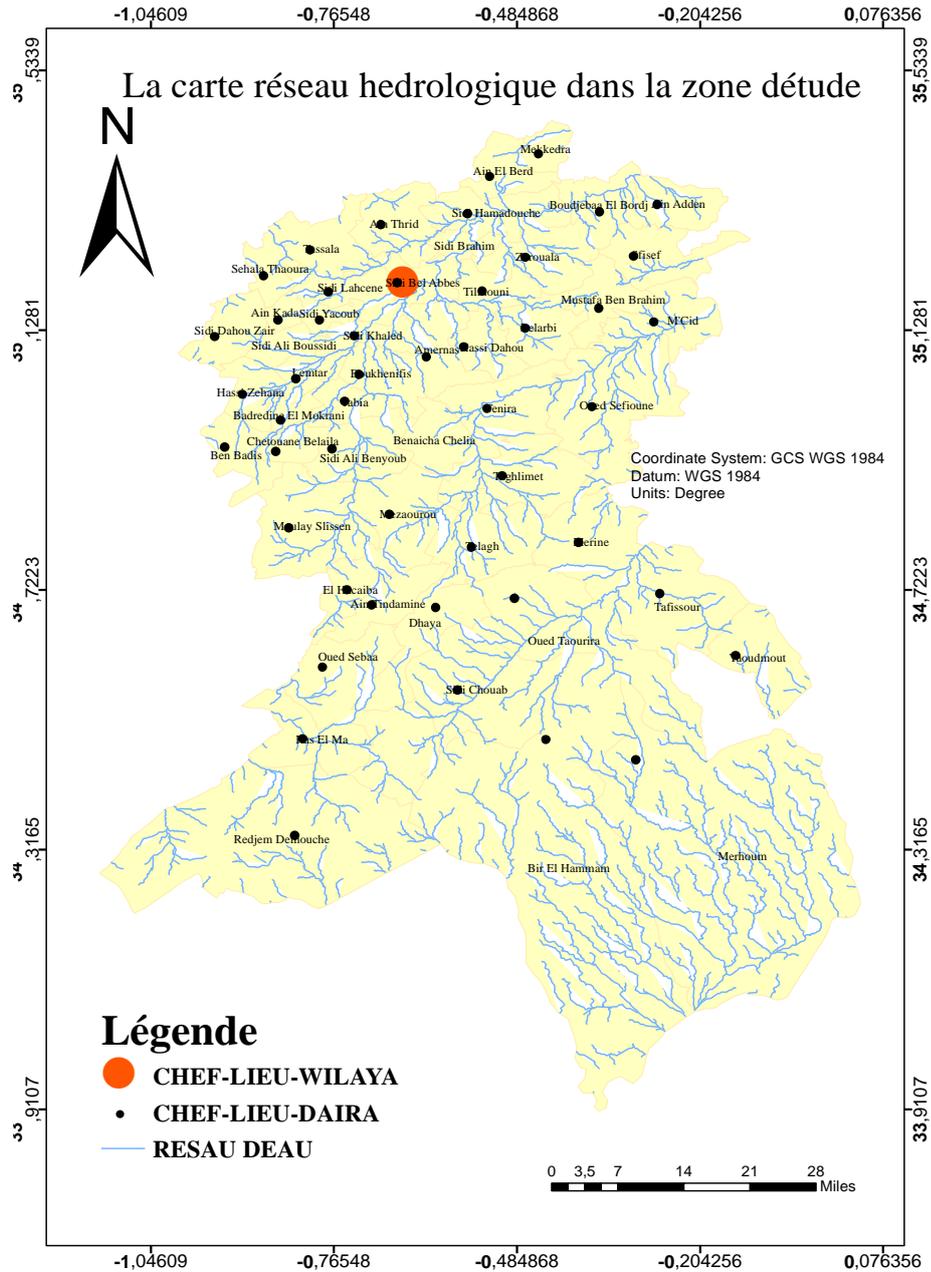


Figure 10 : la carte de réseau hydrographique de la wilaya de SIDI Bel Abbès

III.2.3. Géographie et pédologie

III.2.3.1. Géographie

Géographiquement, elle peut être répartie à travers quatre zones principales :

- Les chaînes telliennes internes (Tessala et Béni Chougrane) formées essentiellement de calcaire friable, la prédominance de ces substrats varie entre (45%) et (80%) selon les Monts ;

- Les Hautes plaines steppiques et la plaine de Sidi Bel Abbes (partie sud et région de Sidi Hamadouche) constituées par des dépôts de lacustres alluviaux avec croûte calcaire. Il peut être également relevé l'existence d'argiles dans la plaine de Sidi Bel Abbes et des alluviaux dans l'Oued Sarno et l'Oued Mekerra en amont ;

- Les Hautes plaines de Télagh où il y a présence de substrats très variés :

- Les plaines de Tenira et Téghalimet : sols alluviaux

- Les plaines de Télagh : dépôts de lacustres et alluviaux anciens avec croûte calcaire

- La plaine de Mouley Slissen : calcaire et dolomies dures

- Le massif forestier de Télagh est constitué principalement de calcaires et dolomies dures avec calcaires marneux dans la partie sud.

III.2.3.2. Pédologie

Le rôle de la pédologie dans la recherche, permet de différencier les unités pédologiques homogènes et d'établir les aptitudes des sols aux cultures. Le dessèchement du sol est en fonction de sa structure, il agit sur le dessèchement du végétal et augmente leur risque d'incendie (**RICHARD et al, 2004**).

D'après **RGUIEG (2002)**, au niveau de la Wilaya de Sidi Bel Abbes, on peut trouver les types de sol suivants :

- **Sols alluviaux** : dans les vallées de l'Oued Mekerra. En moyenne, les sols profonds occupent environ (**30%**) de la plaine de Sidi Bel Abbes ;

- **Sols à croûte calcaire** : dans les Hautes plaines steppiques (**90%** de la zone), également dans les alluviaux de la plaine de Sidi Bel Abbes la croûte calcaire est plus ou moins durcie et de profondeur variable en fonction du relief local ;

- **Sols calcaires** : dont l'importance varie d'une zone à une autre ils sont de (**40%**) dans la plaine de Sidi Bel Abbes, (**70%**) dans les Hautes plaines de Télagh et Monts de Béni Chougrane et (**90 à 100%**) dans les Monts de Tessala ;

- **Sols rougeâtres** : sablonneux colonisant les surfaces plates, occupées par les cultures annuelles où domine la céréaliculture.

III.3. Climat

L'étage bioclimatique, la pluviométrie, l'humidité relative de l'air, les températures et le vent constituent les principaux facteurs du climat qui interviennent sur les feux de forêt. Dans la Wilaya de Sidi Bel Abbes, l'importance de chaque facteur se manifeste de la façon suivante :

III.3.1. Etage bioclimatique

Selon (RAHABI, 2014) La Wilaya de Sidi Bel Abbes appartient au niveau bioclimatique méditerranéen, semi-aride à influence continentale. En général, la Wilaya est caractérisée par des hivers humides et froids, des étés secs et chauds, et de courtes durées de printemps et d'automne.

Les monts Tessala sont caractérisés par des hivers doux car influencés par la mer, tandis que les plaines de Sidi Bel Abbes, les monts Béni Chougrane et le plateau du Telagh sont dominés par des hivers frais, et les prairies et la région sud des monts Telagh enregistrent des températures froides hivers.

III.3.2- Caractéristiques des facteurs climatiques sur les feux de forêt dans la Wilaya de Sidi Bel Abbes

III.3.1.1. Pluviométrie

D'après la (RAHABI, 2014) les précipitations sont irrégulières et inégalement réparties dans la zone de Wilaya. En effet, la pluviométrie varie de **200 mm** à **600mm**.

Les zones les plus arrosées (**+600 mm**) sont très peu fréquentées, seule une partie de la forêt de Mouley Slissen et les crêtes des Monts de Tessala reçoivent moins de **300 mm** et dans le reste du territoire de la wilaya la pluviométrie varie entre **350 mm** et **500 mm** seulement, Après une sécheresse persistante qui a touché la quasi-totalité de la région de Wilaya au cours des deux dernières décennies, elle n'arrive plus à atteindre sa moyenne annuelle normale.

Tableau 3 : Pluviométrie moyenne par zone géographique

Zone géographique	Précipitations moyennes		Volume des précipitations	
	Mini	Max	Volume (millions m ³)	Taux
TESSALA et BENI CHOUGRANE	300 mm	350 mm	250	16 %
Plaine de SIDI BEL ABBES	300 mm	350 mm	400	26 %
Haute plaine de TELAGH	150 mm	200 mm	200	11 %
Monts de DHAYA	350 mm	400 mm	500	31 %
Zone steppique	100 mm	150 mm	250	16 %
Monts de DHAYA	350 mm	400 mm	500	31 %

Source : Station de météorologie de SIDI BEL ABBES

III.3.2. Humidité relative de l'air

Au-dessus (70%) pendant 07 mois de l'année, à partir d'octobre. Le maximum (78 %) se produit en hiver, tandis que le minimum se produit en juillet et août en été ; l'humidité de l'air chute à (55 %) pendant cette période de l'année ; cela correspond au taux d'humidité le plus bas enregistré dans la région. (RAHABI, 2014).

III.3.3. Températures

Les températures traduisent la prépondérance des influences continentales sur les influences marine. Ils varient dans la région en fonction de l'altitude et de l'exposition mais l'aptitude de leurs variations dans le temps (annuelle ou journalière) est caractéristique de chaque région.

Le maximum moyen varie de 29° à 35° en juin, juillet, août et septembre. De plus, plusieurs jours par an enregistrent des températures supérieures à 40°, atteignant parfois 42° à l'ombre

Les minimums moyens pour décembre et janvier sont est de 7°, 2.5° et 3.8°. On signale aussi des minimas pouvant descendre parfois au-dessous de zéro quand les vents du nord arrivent en passant sur les sommets de l'Atlas et Tessala plissé couverts de neige.

Dans une même journée, la température peut varier jusqu'à **10°** en hiver et **20°** à **25°** en été, et l'augmentation brutale de la température est l'une des causes des incendies de forêt (RAHABI, 2014).

III.3.4. Vent

Il est moins important (**10 à 15 jours/an**) et la vitesse dominante dans la Wilaya est comprise entre **30 et 35 km/h** (MAHTOUGH et ZIAN, 2004).

III.4. Répartition générale des terres

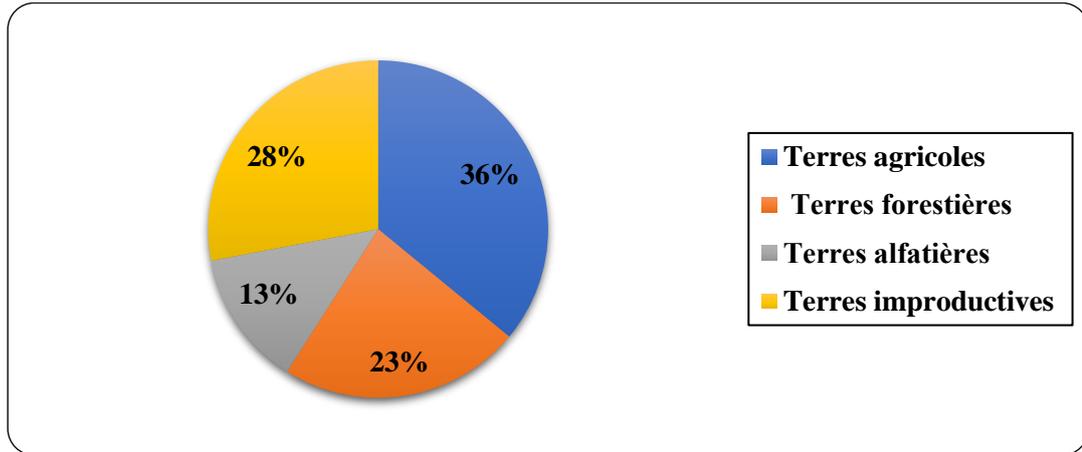
D'après la C.F.SBA (2021) et comme il est représenté dans la figure 11; les **915 063Ha** du territoire de la Wilaya de Sidi Bel Abbés se répartissent comme suit :

- Les terres agricoles occupent la grande partie avec une superficie de **328554 Ha** soit **36%**;
- Les terres forestières couvrent une superficie de **205672 Ha** soit **23%**;
- Les terres alfatières occupent une superficie de **122451 Ha** soit **13%**;
- Les terres improductives couvrent une superficie de **258386 Ha** soit **28%**.

Tableau 4 : La répartition générale des terres de la Wilaya de Sidi Bel Abbas

Terres	Superficies (Ha)
Agricoles	328554
Forestières	205672
Alfatières	122451
Improductives	258 386

Source:(C.F.SBA, 2017)



(Source : C.F.SBA, 2021)

Figure 11 : Taux des différentes terres de la Wilaya de Sidi Bel Abbès

Tous ces chiffres confirment la prédominance des terres agricoles, la vocation agricole se confirme. En second lieu les terres improductives, puis les terres forestières mais insuffisante pour l'équilibre physique et biologique du territoire de la Wilaya.

III.5. Présentation du milieu forestier

Selon la **C.F.SBA (2021)**, le secteur des forêts occupe au niveau de la Wilaya de Sidi Bel Abbès une superficie qui s'étale sur **205672Ha** regroupant **25** forêts domaniales et donnant un taux de couverture de (**23 %**) par rapport à la superficie globale de la Wilaya. Cette superficie regroupe **38** Communes forestières qui sont gérées par **06** circonscriptions.

La Daïra de Merene occupe première position en termes de la taille de grandeur de son massif forestier. Elle occupe à elle seule (**33,63 %**) de la superficie forestière totale, en deuxième position on retrouve la Daïra de Télagh (**11,94%**), suivi de la Daïra de Mouley Slissen. Ainsi ces trois Daïras regroupent plus de la moitié (**56,64%**) des forêts de la wilaya.

Les principaux massifs forestiers de la Wilaya sont situés sur les Monts de Dhaya à savoir :

- Forêt domaniale de Zegla: **56600 Ha** ;
- Forêt domaniale Toumiet : **15000 Ha** ;
- Forêt domaniale de Bouyetas : **14000 Ha** ;

- Forêt domaniale de Slissen : **13000 Ha** ;
- Forêt domaniale de Touazizine : **12000 Ha** ;
- Forêt domaniale de Béni-methar : **9000 Ha**.

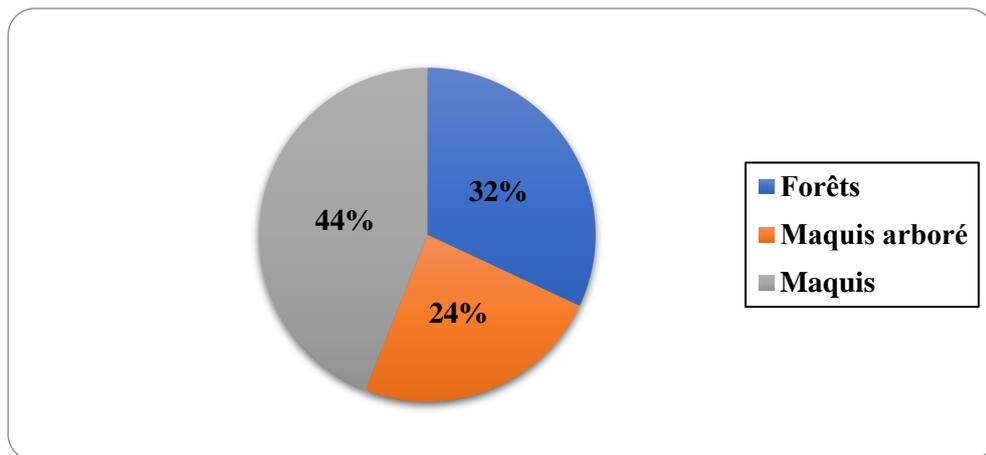
III.5.1. Répartition de la superficie forestière par type de formations

On constate d'après la **Figure 12** que les forêts de la Wilaya sont dominées par les maquis et les maquis arborés par rapport aux forêts proprement dites.

Tableau 5 : La répartition de la superficie forestière de la Wilaya de Sidi Bel Abbes par formation

Type de formation	Superficie (Ha)
Forêts	65273
Maquis arboré	49203
Maquis	91208

(Source : C.F.SBA, 2017)



(Source : C.F.SBA, 2021)

Figure 12 : Taux des formations forestières dans la Wilaya de Sidi Bel Abbes

ARABI (2016) a signalé que les forêts proprement dites dans la Wilaya de Sidi Bel Abbes, sont constituées surtout de peuplement d'âge moyen. Les principales classes d'âge se présentent ainsi :

- Peuplements d'Age moyen (jeune futaie, perchis) : **44385.6 Ha** soit **68%** ;
- Peuplements jeune (gaulis, bas perchis) : **18929.2Ha** soit **29%** ;
- Peuplements âgés (vieille futaie) : **1305.5Ha** soit **2%** ;
- Taillis: **652.7 Ha** **1%**.

III.5.2. Répartition de la superficie forestière par essence

Tableau 6 : La répartition de la superficie forestière de la Wilaya de Sidi Bel Abbes par essence

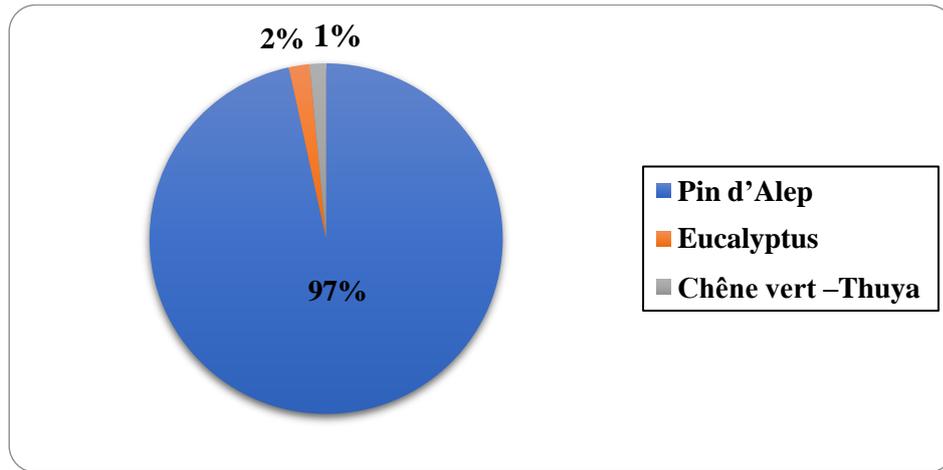
Essence	Superficie (Ha)
Pin d'Alep	63432
Eucalyptus	1025
Chêne vert –Thuya	816

(Source : C.F.SBA, 2017)

Le tableau 6 et la **Figure 13** représentent la répartition de la superficie forestière de la wilaya de Sidi Bel Abbes par essences, les formations de Pin d'Alep sont largement dominantes avec une superficie de **63432 Ha** soit (**97%**).

Les autres essences de moindre importance sont l'Eucalyptus qui occupe **1025 Ha** de superficie soit (**2%**) et le Chêne vert et le Thuya qui occupent tous une superficie de **816 Ha** soit (**1%**) de la superficie totale.

La **Figure 13** représente la répartition de la superficie forestière de la wilaya de Sidi Bel Abbes par essences, les formations de Pin d'Alep sont largement dominantes avec une superficie de **63432 Ha** soit (**97%**). Les autres essences de moindre importance sont l'Eucalyptus qui occupe **1025 Ha** de superficie soit (**2%**) et le Chêne vert et le Thuya qui occupent tous une superficie de **816 Ha** soit (**1%**) de la superficie totale.



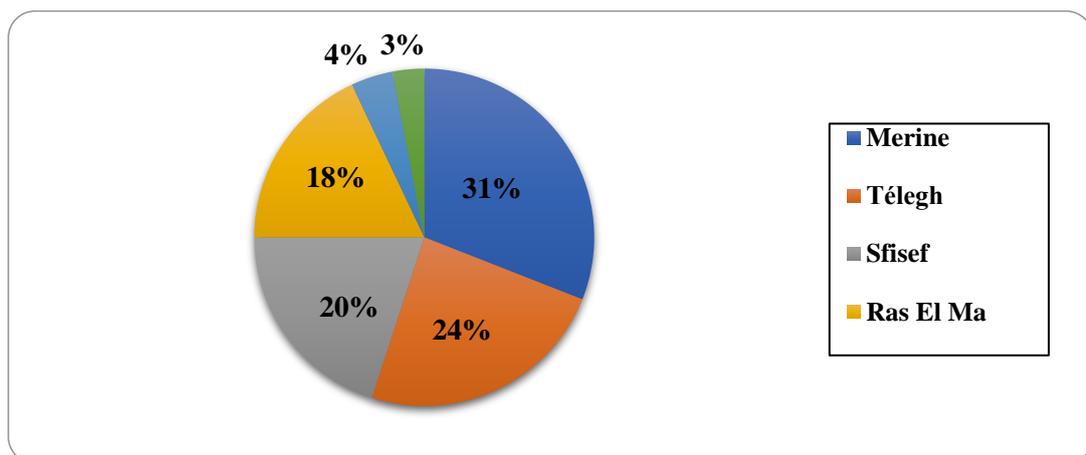
(Source : C.F.SBA, 2021)

Figure 13 : Taux des essences forestières existantes dans la Wilaya de Sidi Bel Abbès

D'après la ([LARABI, 2015](#)) les espèces du Matorral sont généralement : Chêne Kermès, Genévrier oxycedre, Lentisque, Calicotome, Thuya, Chêne vert, Romarin, Doum, Ciste et Alfa.

III.5.3. Répartition de la superficie forestière par circonscriptions

La **figure au-dessous** présente la répartition de la superficie forestière de la Wilaya de Sidi Bel Abbès par circonscriptions.



(Source : C.F.SBA, 2021)

Figure 14: Taux d'espace boisé par circonscription au niveau de la Wilaya de Sidi Bel Abbès

Selon la (**Figure 14**), à l'échelle de la Wilaya étudiée, on constate que le taux de boisement varie fortement d'une circonscription à l'autre. On constate qu'en fait, la zone boisée de la Wilaya est la zone Merine avec un taux de (**31%**). En deuxième position (**24%**) se trouve la circonscription du Télagh. Il y a ensuite la circonscription de Sfisef (**20%**), suivie de la circonscription de Ras El Ma (**18%**), et enfin les circonscriptions de Sidi Ali Benyoub et Sidi Bel Abbes qui ont des taux de boisement de (**04%**) et (**03%**).

CHAPITRE III. MATERIEL ET METHODES

III.1. Objectif du travail:

L'objectif de cette étude est d'effectuer une analyse critique approfondie des enregistrements de la Direction Générale des Forêts (**DGF**) concernant les incendies survenus dans la wilaya de **Sidi Bel Abbès** pendant les vingt dernières années (**2000 -2020**). Ces enregistrements d'incendies ont été soumis à un protocole de contrôle qualité basé sur une caractérisation des zones brûlées par télédétection à partir d'images **Landsat** et par l'utilisation des outils **SIG**.

III.2. Matériels utilisés:

III.2.1. Données des incendies de forêt

Nous avons utilisé les enregistrements officiels des incendies de la conservation des forêts de la wilaya de Sidi Bel Abbès disponible entre **2000** et **2020** sous un format numérique. La conservation délivre des rapports d'incendie annuels, où chaque incendie est référencé par sa superficie brûlée (**en ha**), la date et l'heure de déclaration et d'extinction du feu. Des informations supplémentaires sur le type de végétation touchée sont également fournies, et parfois la localisation des incendies, selon les unités administratives hiérarchiquement structurées (**Wilayat Daïra commune**), et éventuellement le nom du point de repère principal (nom d'une montagne, de forêt ou lieu-dit). Les données sont recueillies à partir d'observations sur le terrain par les agents de la conservation pour estimer la superficie brûlée et le type de végétation touché.

Les données sont stockées sous forme de tableaux annuels.

III.2.2. Données de télédétection

Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé les images satellitaires **Landsat** à accès libre sur la plateforme de calcul **Google Earth Engine**

(www.googleearthengine.com).

Landsat est un grand programme d'observation de la terre essentielle pour la surveillance et la compréhension de notre planète. Lancé en **1972** par la NASA en partenariat avec l'USGS, le programme a permis la collecte continue et systématique d'images satellites de la surface terrestre. Les satellites Landsat ont joué un rôle crucial dans la cartographie, la surveillance des ressources naturelles, la gestion de l'environnement et la compréhension des changements globaux.

Depuis **2008**, lorsque l'US Geological Survey (**USGS**) a ouvert l'accès aux grand public aux images satellitaires dans un format cohérent, facile à utiliser et sans frais, ce qui a stimulé une augmentation rapide des recherches scientifiques et des applications (**Wulder et al, 2012**).

Dans le but d'analyser les incendies de forêt survenue dans la wilaya de Sidi Bel Abbes entre **2000** et **2020**, deux satellites du programme Landsat ont été utilisés, à savoir Landsat-7 et **Landsat-8**.

Ci-après les caractéristiques spectrales et géométriques des images utilisées :

Tableau 7 : Description des images Landsat 7

Name	Description	Résolution	Longueur d'onde
B1	Bleu	30 mètres	0.45-0.52 μm
B2	Vert	30 mètres	0.52-0.62 μm
B3	Rouge	30 mètres	0.63-0.69 μm
B4	Proche infrarouge	30 mètres	0.77-0.90 μm
B5	Infrarouge à ondes courtes 1	30 mètres	1.55-1.75 μm
B6-VCID-1	Infrarouge thermique à faible Vert 1. Cette bande a une plage dynamique étendue et une résolution radiométrique (sensibilité) plus faible, avec moins de saturation à des valeurs numériques (DN) élevées. Rééchantillonné de 60m à 30m.	60 mètres	10.40-12.50 μm
B6- VCID-2	Infrarouge thermique à gain élevé 1. Cette bande a une résolution	60 mètres	10.40-12.50 μm

	radiométrique plus élevée (sensibilité), bien qu'elle ait une plage dynamique plus restreinte. Rééchantillonné de 60m à 30m.		
B7	Infrarouge à ondes courtes 2	30 mètres	2.08-2.35 μm
B8	Panchromatique	15 mètres	0.52-0.92 μm

Tableau 8 : Description des images Landsat 8

Name	Description	Résolution	Longueur d'onde
B1	Aérosol côtier	30 mètres	0.43-0.45 μm
B2	Bleu	30 mètres	0.45-0.51 μm
B3	Vert	30 mètres	0.53-0.59 μm
B4	Rouge	30 mètres	0.64-0.67 μm
B5	Proche infrarouge	30 mètres	0.85-0.88 μm
B6	Infrarouge à ondes courtes 1	30 mètres	1.57-1.65 μm
B7	Infrarouge à ondes courtes 2	30 mètres	2.11-2.29 μm
B8	Bande 8 Panchromatique	15 mètres	0.52-0.90 μm
B9	Cirrus	30 mètres	1.36-1.38 μm
B10	Infrarouge thermique 1, rééchantillonné de 100m à 30m	30 mètres	10.60-11.19 μm
B11	Infrarouge thermique 2, rééchantillonné de 100m à 30m	30 mètres	11.50-12.51 μm

Source : Google Earth Engine

III.2.3. Logiciels utilisés :

Nous avons choisi deux outils logiciel pour implémenter notre méthodologie afin d'évaluer les incendies, qui sont : **ArcGIS** et **Google Earth Engine**

1- **ArcGIS** : est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) Développés par la société américaine ESRI (Environmental Systems Research Institute). Ce système est composé de différentes

plateformes qui permettent aux utilisateurs SIG, qu'ils soient bureautiques, web, ou mobiles, de collaborer et de partager l'information géographique.

2- **Google Earth Engine** : est une plate-forme d'analyse et de visualisation scientifiques d'ensembles de données géospatiaux pour les utilisateurs universitaires, à but non lucratif, professionnels et gouvernementaux. Google Earth Engine héberge des images satellite et les stocke dans des archives publiques contenant des images de la Terre datant de plus de **40 ans**. Les images, ingérées quotidiennement, sont ensuite mises à disposition pour un traitement de données à l'échelle mondiale. Google Earth Engine fournit également des **API** et d'autres outils pour permettre l'analyse de grands ensembles de données.

Google Earth Engine se positionne aujourd'hui comme étant une innovation d'avenir en termes de télédétection et géosciences : Libre accès à une grande quantité de données. Aucune nécessité de téléchargement. Aucune configuration nécessaire ou requise du matériel informatique à utiliser. Possibilité d'injecter des données (vecteur/ raster/ csv .etc.)

Temps de calcul réduit, grande quantité d'informations traitées simultanément. Nouveaux algorithmes de traitement numérique des images (Machine Learning, deep learning). Aisance d'utilisation, création d'application et intégration web map.

Il est à noter que les images mise à disposition sur la plate-forme **Google Earth Engine** sont corrigées et ne nécessitent aucun traitement numérique et prête à être utiliser.

Google Earth Engine permet entre autres de :

- Trouver des données dans le catalogue de données.
- Ajouter des données à l'espace de travail.
- Comprendre les fonctionnalités de l'interface.
- Personnaliser la visualisation des données.

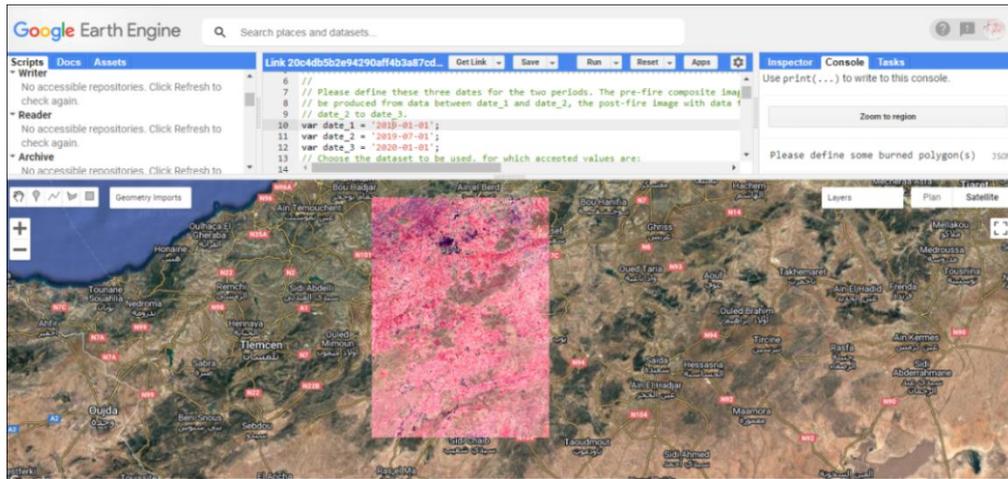


Figure 15 : imagerie satellitaires sous Google Earth Engine.

Google Earth Engine utilise le langage de programmation JavaScript comme moyen d’interagir avec la plateforme et décrire des scripts pour l’analyse et la manipulation des données géospatiales

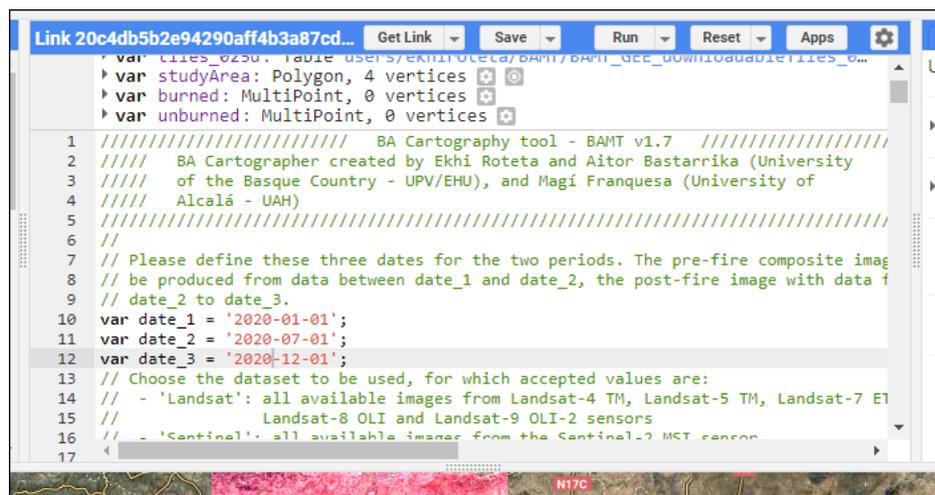


Figure 16 : Editeur de Code JavaScript de Google Earth Engin

III.3. Approche méthodologique

III.3.1 Organigramme du travail

Les différentes étapes de la méthodologie adoptée tout au long de ce travail sont représentées par l’organigramme synthétisé par la figure suivante :

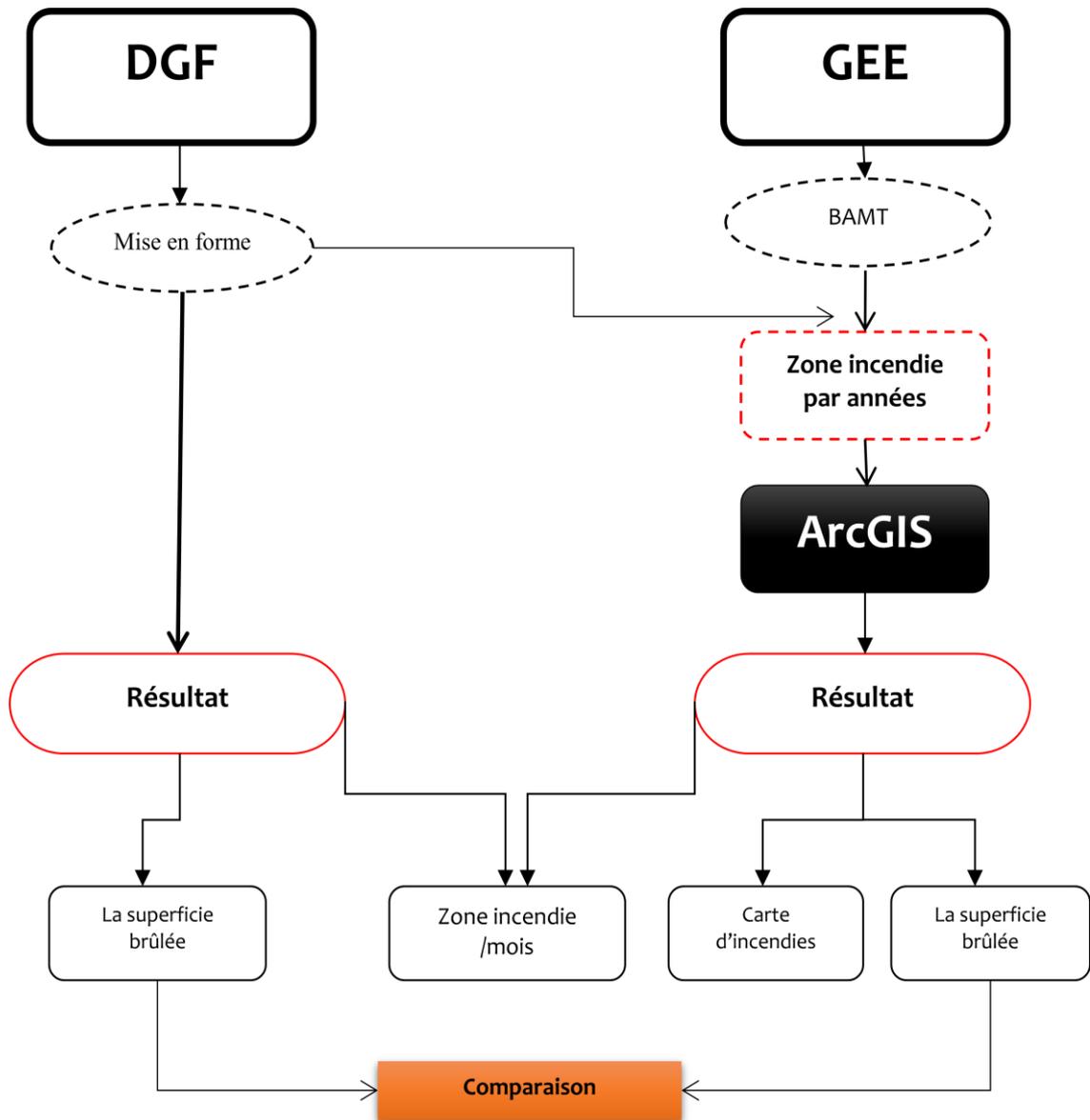


Figure 17 : Organigramme du travail.

III.3.2. Mise en forme des Statistiques de la DGF

Pour mettre en forme les statistiques des incendies de la Direction Générale des Forêts (**DGF**) vous pouvez suivre collectez des données et préparations les données statistiques d'incendies, nettoyer, organiser et formater les données.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
année	daira	commune	nom de la foret ou lieu dit	extinction		superficie incendiée par mois (ha)						Coordonnées lambert		type de vegetation	
				date déclaration	date extinction	juin	jul	aout	sept	oct	total	X	Y		

Figure 18 : formatage des données statistique des incendies.

III.3.3. Exportation des résultats sous ArcGIS

En effet, la cartographie des zones incendiées peut être obtenue par les techniques de détection d'ArcGIS

La méthodologie adoptée a consisté à :

- Créer un nouveau projet dans **ArcGIS** pour commencer a travaillé sur la carte
- Ajouter les données de **GEE** en défirent couches informations concernant les incendies de la wilaya de Sidi Bel Abbes par année de 2000 à 2020. En important les données dans le projet **ArcGIS**, assurez vous que les données sont correctement géoréférencées
- Préparation des données: nettoyer organiser et effectuer des opérations de traitement des données, telles qu'es la fusion l'extraction ou la transformation
- On a calcules les surface d'incendies pour les années **2000-2020**
- Mise en page : ajouter les marges, la bordure et le titre, légendes, les échelles
- Exporter la carte finale dans le format **PNG**

III.3.4. Code GEE de cartographie BAMT

Aitor Bastarrika a développé un Code java sous **GEE** de détection de zone brûlée Burned area (**BA**) : le Code java sous **GEE** de cartographie des zones brûlées ou **BAMS** (**Bastarrika et al., 2014**), anciennement téléchargeable sur <https://bastarrika.wordpress.com/>, Il s'agissait d'un cartographe **BA** semi-automatique basé sur **ArcGIS**, appliquant un algorithme à deux phases sur les images **Landsat**. Il nécessitait que l'utilisateur télécharge et enregistre toutes les images **Landsat** nécessaires, et le processus dépendait des capacités de traitement du serveur local. Cependant, en raison de difficultés à maintenir le logiciel à jour, il n'est plus disponible.

Google a développé une plate-forme de cloud computing pour traiter les données satellitaires: **Google Earth Engine (GEE)** <https://earthengine.google.com/>, (**Gorelick et al., 2017**) cela inclut l'accès à une grande base de données satellitaires, pas besoin de stocker de grandes quantités de données et une puissante capacité de traitement des données tirant parti de tout cela et suivant l'idée de **BAMS**, plusieurs outils ont été développés dans **Google Earth Engine**. Aucune donnée d'entrée ne doit être téléchargée, l'ensemble du traitement est effectué dans le cloud et seuls les résultats finaux sont exportés et éventuellement téléchargés; La seule exigence est une bonne connexion Internet.

Le logiciel **BAMS** original générait des données de référence dans une scène Landsat entre deux dates consécutives; ici, nous l'avons étendu pour couvrir l'ensemble du processus de cartographie **BA**, tout en incluant également des images Sentinel-2 pour améliorer la résolution temporelle et spatiale. Ces outils, appelés outils de (cartographie des zones brûlées) **Burned area mapping tools** ou **BAMT**.

Les principaux outils BAMT sont :

- 1) Outil **BA Cartographie** : crée une carte **BA** dans l'étendue géographique et la période définie par l'utilisateur, via une classification supervisée.

2) Outil **VA** : sélectionner les sites de validation en fonction d'une méthodologie d'échantillonnage aléatoire stratifié (**Boschetti et coll., 2016; Padilla et coll., 2014**), pour évaluer une BA carte.

3) Outil **VA Dates** : après avoir identifié les zones de validation avec l'outil précédent, celui-ci indique simplement quelles dates doivent être utilisées dans chaque zone de validation pour créer des périmètres de référence.

Tous les résultats sont exportés vers le compte Google Drive de l'utilisateur, où un dossier appelé **BAMT-GEE** est créé .chaque fichier porte un identifiant spécifié dans chaque outil par l'utilisateur, de sorte que les fichiers de différents projets peuvent être distingués.

Les outils et le présent guide de l'utilisateur peuvent être consultés à l'adresse suivante :<https://github.com/ekhiroteta/BAMT>.

III.3.4.1 Données d'entrées :

Ces outils utilisent des ensembles de données multiples, tous appartenant à l'une des deux grandes missions ou programmes de satellites d'observation de la Terre: **Landsat** et **Sentinel**. Dans le cadre de notre travail, les données utilisées dans le code **BAMT** sont les images Landsat (7,8) par rapport au date sélectionné pour notre étude. Ces images sont décrites plus haut.

Le programme Landsat est un programme **NASA/USGS** pour l'acquisition d'images satellitaires et l'observation de la Terre. Parmi ses huit satellites historiques et actuels, les cinq derniers sont utilisés ces outils :

- **Landsat-4**, avec le capteur thématique Mapper ou **TM**
- **Landsat-5**, avec le capteur thématique Mapper ou **TM**
- **Landsat-7**, avec le capteur thématique Enhanced Mapper plus ou **ETM +**
- **Landsat-8**, avec l'imageur terrestre opérationnel ou le capteur **OLI**
- **Landsat-9**, avec le capteur Operational Land Imager 2 ou **OLI-2**

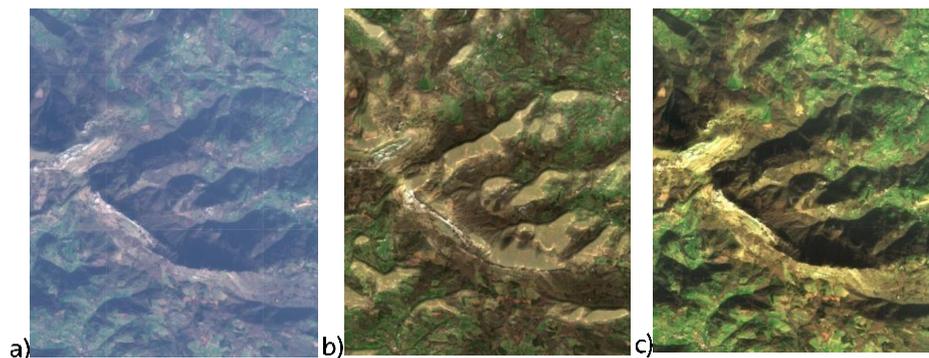


Figure 19 : de Zone d'échantillonnage dans une région montagneuse

a) produit L1C avec réflectances **TOA**,

b) produit L2A avec réflectances **BOA** tel que disponible dans **GEE**

c) le même produit **L2A** généré indépendamment sans correction topographique.

Chaque fois que l'ensemble de données **Sentinel-2** est sélectionné dans les outils **BAMT**, le produit **Level-1C** ou **L1C** est utilisé, qui contient des images orthorectifiées avec des réflectances **TOA (Top of Atmosphere)**.

Le produit de niveau **2A** ou **L2A**, contient des réflectances du fond de l'atmosphère et une classification précise de l'image appelée classification des scènes (**SCL**), mais elle n'est pas encore entièrement disponible dans le catalogue de données **Earth Engine**. En outre, il a été observé que certaines images **L2A** ont des effets artificiels dans les zones montagneuses, résultant d'une sur correction topographique des ombres de montagne (**Figure 19**), de sorte que le produit L1C est préféré dans ces outils ici. Six bandes spectrales sont utilisées dans tous les outils **BAMT** pour les ensembles de données **Landsat et Sentinel-2** : les couleurs visibles (**bleu, vert et rouge**), le proche infrarouge (**NIR**) et deux infrarouges de courte longueur d'onde (**SWIR court et long**). La bande **B8A** proche infrarouge, à l'origine à **20 m**, est utilisée dans la plupart des cas pour les images **S2**; cependant, la bande **B8** à **10 m** est sélectionnée comme proche infrarouge lorsque les **RP** sont créés à la même résolution.

Le **tableau 9** montre les bandes correspondantes dans chaque satellite et capteur.

Tableau 9 : Bandes sélectionnées pour les outils BAMT, en fonction du satellite et du capteur

Capteur Satellitaire	Landsat-4 et 5	Landsat-7	Landsat-8	Sentinelle-2A et 2B	
Sensor	TM	ETM+	OLI et OLI-2	MSI	
	LSR c2			L1C	L2A
Bleu	B1		B2	B2	
Vert	B2		B3	B3	
Rouge	B3		B4	B4	
NIR	B4		B5	B8A (20 m) B8 (10)	
SHORT SWIR	B5		B6	B11	
LONG SWIR	B7		B7	B12	
QUALITY BAND	QA-PIXEL			QA60	SCO

Lorsque les nuages et les ombres de nuages doivent être masqués dans un outil, des bandes de qualité sont sélectionnées. Pour les ensembles de données Landsat, la bande **QA_PIXEL** est utilisée, dont les 3e et 4e bits indiquent respectivement la présence d'ombres nuageuses et de nuages. Les images Sentinel-2 ont une bande de qualité similaire appelée QA60, avec les mêmes informations dans les bits 10 et 11 (tableau 5); un seuil empirique basé sur la bande B1 est également utilisé, cependant, chaque pixel $B1 > 1500$ étant considéré comme un nuage.

Cependant, la classification de scène (**SCL**) est préférable pour les images **S2** lorsque le **L2A** est disponible, car le **SCL** a plus de catégories et est spatialement plus précis que la bande **QA60**. Cela n'est pas possible pour l'outil de cartographie **BA**, où il peut y avoir des milliers d'images et le couplage des bandes **SCL** des produits **L2A** aux images **L1C** correspondantes dépassera la limite de mémoire de **GEE**. Mais le **SCL** est utilisé à la place des bandes **QA60** dans l'outil **RP** chaque fois que le produit **L2A** est

disponible, où seulement deux images sont utilisées dans l'ensemble du processus de l'outil

III.3.4.2 Outil de cartographie BA

Cet outil principal génère un produit de zone brûlée sur une grande région et pendant une longue période temporelle, via une classification supervisée. Un polygone doit être défini pour l'étendue de la région, tandis que la période temporelle sera délimitée par deux dates.

Le processus consiste à former un classificateur de forêt aléatoire, en utilisant diverses bandes spectrales et indices de l'image post-incendie et d'une image de différence multi temporelle. Ce classificateur renvoie une image avec une valeur de probabilité comprise entre **0** % (non brûlé) et **100** % (gravé) pour chaque pixel. Un algorithme à deux phases est appliqué à cette image, identifiant d'abord les graines brûlées (pixels avec un signal brûlé très fort), puis étendant les zones brûlées autour de ces graines (**Bastarrika et al., 2011**). Les zones brûlées peuvent être exportées au format **ESRI Shapefile**, avec un attribut indiquant la date de détection de la zone brûlée.

III.3.4.2.1 Paramètres initiaux

Avant de détecter les zones brûlées, l'utilisateur doit définir quelques paramètres initiaux, qui fixeront les dates des périodes temporelles, la région géographique et le jeu de données à utiliser. Toutes ces variables sont définies au début du script, entre les lignes **7** à **26**.

Les zones brûlées sont détectées en comparant deux composites temporels correspondant aux périodes pré-incendie et post-incendie; La période post-incendie commence exactement le jour où la période précédant l'incendie se termine. Ainsi, trois dates différentes doivent être définies :

Date_1 : début de la période précédant l'incendie.

Date_2: la fin de la période précédant l'incendie et le début de la période postérieure à l'incendie.

Date_3 : la fin de la période post-incendie.

Les trois dates doivent appartenir au type de données String et être écrites au format suivant : **AAAA-MM-JJ**

Où **AAAA** représente l'année, **MM** pour le mois et **JJ** pour le jour du mois, tous différenciés par des traits d'union.

Le jeu de données à utiliser pour le produit sera spécifié dans la variable de jeu de données. Si 'Landsat', toutes les images disponibles des capteurs **L4 TM**, **L5 TM**, **L7 ETM+**, **L8 OLI** et **L9 OLI-2** seront utilisées à **30 m**; sinon, avec la valeur 'Sentinel', les données du capteur **S2 MSI**, produit **L1C**, seront choisies, avec une résolution spatiale de **20 m**.

La région géographique est définie manuellement comme un polygone. Il existe une couche d'entrée géométrique appelée **study Area** à cet effet (**Figure 20**)

Tout polygone préexistant doit être retiré de cette couche avant de définir une nouvelle région.



Figure 20 : La couche région manuel à utiliser lorsque la région doit être définie manuellement en tant que polygone

Enfin, l'utilisateur peut écrire un **ID** dans la variable d'identification pour différencier ce produit **BA** des autres, puisque cet ID apparaîtra dans les noms des fichiers exportés.

III.3.4.2.2 Premières couches

Une fois toutes les variables précédentes définies, l'utilisateur peut appuyer sur le bouton Exécuter pour exécuter le script.

Les composites temporels pré-incendie et post-incendie sont générés à ce moment. Pour le composite de chaque période, toutes les images disponibles de la région entre les dates correspondantes sont sélectionnées, et les nuages et les ombres nuageuses sont masqués en fonction de la bande de qualité (pixel_qa dans les images Landsat, QA60 pour les données Sentinel-2). Après calcul du taux de combustion normalisé ou de l'indice spectral **NBR**, le composite est créé en minimisant cet indice dans chaque pixel. Pour la période post-incendie, une autre image est créée, avec la date à partir de laquelle chaque pixel a été extrait. Cette image représente pour chaque pixel la date à laquelle la valeur NBR la plus basse a été enregistrée, et sera utilisée ultérieurement comme date de détection des zones brûlées.

Six bandes spectrales sont sélectionnées dans les deux composites (**tableau 9**) : les trois bandes visibles (**bleu, vert et rouge**), le proche infrarouge (**NIR**) et les deux infrarouges de courte longueur d'onde (**SWIRS court et long**). Outre ces **6** bandes, **3** indices spectraux basés sur des différences normalisées sont également calculés pour les deux composites:

- ❖ Indice de végétation par différence normalisée (NDVI) (**Rouse et al., 1974**)

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

- ❖ Taux de combustion normalisé (NBR) (**Key et Benson, 1999**)

$$NBR = \frac{NIR - Long\ SWIR}{NIR + Long\ SWIR}$$

- ❖ Rapport de combustion normalisé 2 (NBR2) (**García et Caselles, 1991**)

$$NBR2 = \frac{Short\ SWIR - Long\ SWIR}{Short\ SWIR + Long\ SWIR}$$

En même temps, lorsque le script est exécuté et que les composites sont créés, plusieurs couches sont affichées dans le gestionnaire de couches et dans la carte :

- **exportable Tuiles** : la grille utilisée ultérieurement pour exporter les résultats,
- **post-fire**: une composition de couleur longue **SWIR / NIR / Rouge** du composite pré-incendie.
- **pre-fire**: une composition de couleur longue **SWIR / NIR / Rouge** du composite post-incendie.
- **Difference** une différence simple entre les deux compositions de couleurs, image post-incendie-image pré-incendie
- **Difference-nbr**

Un nouveau bouton est imprimé dans la console : Zoom sur la région : un zoom général sur la région.

III.3.4.2.3 Détection BA

Une fois que certains polygones d'entraînement brûlés et non brûlés sont définis à l'aide des couches brûlées et non brûlées disponibles en tant qu'importations géométriques (**Figure 21**), les zones brûlées peuvent être détectées pour la première fois.

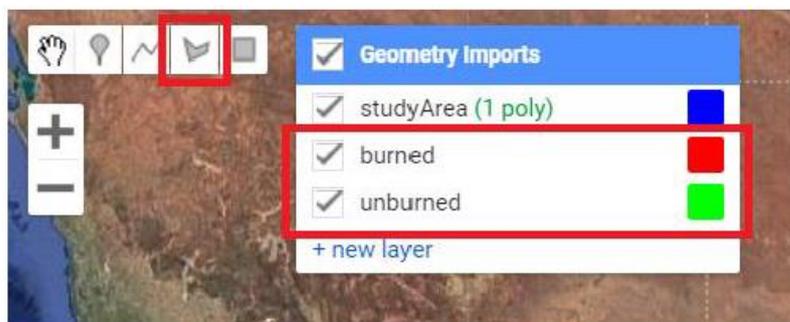


Figure 21 : Les couches à utiliser pour définir les polygones d'entraînement.

Après avoir appuyé sur le bouton Exécuter, les zones brûlées sont détectées en fonction des polygones d'entraînement. Ces zones sont classées par un classificateur de forêt aléatoire avec **100** arbres de décision et des nœuds avec un minimum de **10** feuilles; Le classificateur est entraîné par tous les pixels contenus dans les polygones d'apprentissage. Au total, **18** variables sont introduites, les 6 bandes originales (bleu,

vert, rouge, **NIR** et les deux **SWIRS**) et **3** indices spectraux (**NDVI**, **NBR** et **NBR2**), chacune d'elles deux fois: la valeur post-incendie et la différence entre les valeurs avant et après l'incendie.

Le résultat renvoyé par le classificateur est une image de probabilité avec des valeurs de **0%** (non brûlé) à **100%** (brûlé). Les graines brûlées sont extraites de cette image, représentant les pixels avec le signal brûlé le plus fort; Le seuil utilisé ici est la moyenne des probabilités moyennes brûlées dans chaque polygone d'entraînement brûlé. Deux nouvelles couches sont maintenant ajoutées à la carte (**Figure 21**) :

BA : l'image de probabilité. Pour faciliter sa visualisation, un seuil de 50% est appliqué à cette image avant d'être affichée, afin que les pixels en dessous de ce seuil soient transparents et que l'image en bas puisse être vue.

Les pixels gravés sont affichés avec une palette de couleurs allant du blanc (valeurs de probabilité proches de 50%) au bleu (probabilité de **100%** de brûlé).

- Graines : les graines extraites de l'image de probabilité précédente en rouge.

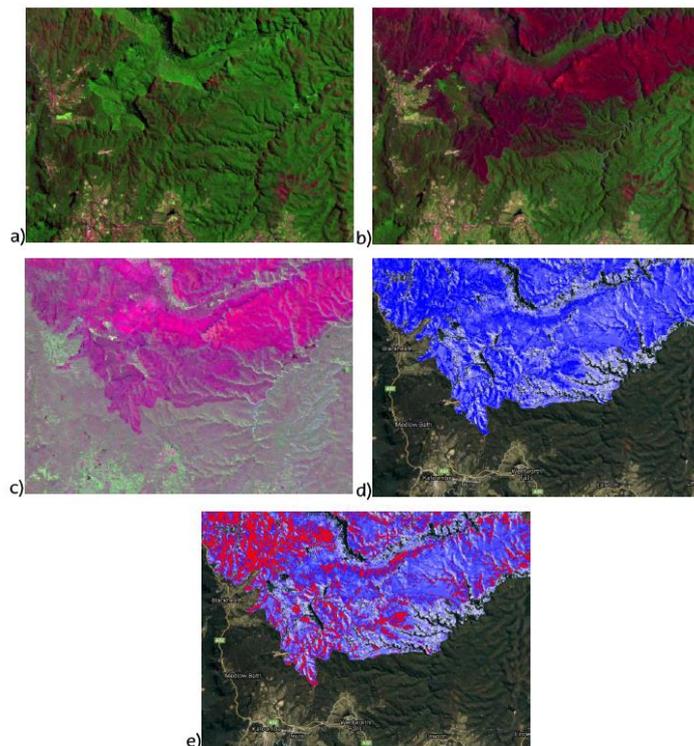


Figure 22 : Zone d'échantillonnage, avec des données Landsat.

- a) composite pré-incendie de la période septembre-octobre **2019**,
- b) composite post-incendie de la période novembre-décembre **2019**,
- c) image de différence entre les deux périodes,
- d) probabilité de brûlure de l'image avec l'image satellite Google en arrière plan,
- e) les graines en rouge montrées sur l'image précédente.

III.3.4.2.3 Exportation des résultats

Lorsque le résultat souhaité est finalement atteint, il peut être exporté vers le compte **Google Drive** de l'utilisateur par deux nouveaux boutons dans la console:

Exporter **BA** vers **Google Drive** : l'ensemble du produit **BA** final est exporté dans des fichiers de formes ESRI. Les polygones n'ont qu'un seul attribut, Burn Date, qui est le jour de détection de la zone brûlée au format **AAAAMMJJ**, où **AAAA** représente l'année, **MM** le mois et **JJ** le jour du mois. Les zones qui n'ont pas été observées avant ou après l'incendie (correspondant généralement aux nuages et aux ombres nuageuses) se voient attribuer une valeur de **0** au lieu d'une date; Les pixels non gravés ne sont pas représentés dans ces fichiers.

Et un troisième bouton :

- Exporter **BA** en tant qu'actifs **GEE** : l'ensemble du produit **BA** final est exporté en tant que vecteur, mais en tant qu'actif **GEE**, au lieu de l'exporter vers le compte Google Drive de l'utilisateur ; Ils sont stockés dans un dossier appelé **BAMT_BA**. Cette option est recommandée lorsque les résultats sont destinés à être validés par l'outil d'évaluation; sinon, tous les fichiers de formes ESRI exportés vers **Google Drive** devront être importés dans **GEE** à la place.

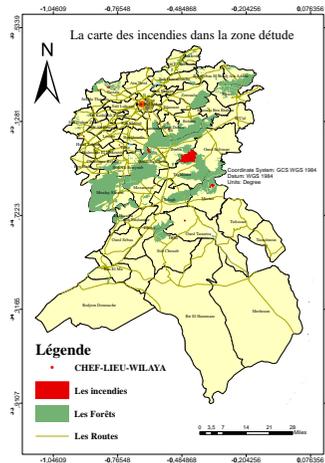
**CHAPITRE IV.
RESULTATS ET
DISCUSSION**

La méthode que nous avons utilisée tout au long de ce travail consistait à utiliser GEE pour établir une base de données géographique sur les incendies de forêt de la wilaya de Sidi Bel Abbes durant la période de **2000-2020**. Cette étude peut tout d'abord intéresser les gestionnaires de la conservation des forêts de Sidi Bel Abbes en fournissant des informations spatio-temporelles fiables sur les incendies de forêt, indispensable pour évaluer le risque des feux de forêt dans la région. De plus, cela peut aider pour la prévention, la planification, la prise de décision et la sensibilisation. Il permet de mieux comprendre les facteurs qui contribuent aux incendies, de minimiser les impacts négatifs et de favoriser une gestion plus efficace des zones exposées aux risques d'incendie.

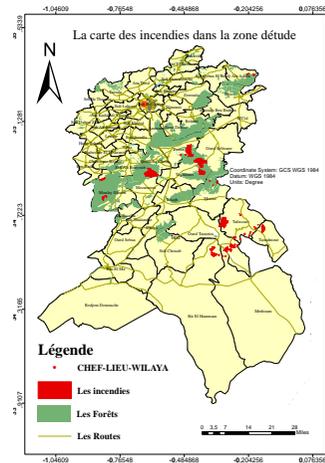
Cartes des zones incendiées de la wilaya de Sidi Bel Abbes à partir des images Landsat

Dans le cadre de notre travail de fin d'étude, nous avons créé une base de données géographique des zones incendiées dans la wilaya de Sidi Bel Abbes, en utilisant le code **BAMT**. Nous avons traité les images Landsat pour la période allant de **2000** à **2020**, ce qui nous a permis d'obtenir **20** couches d'information sur les zones brûlées, correspondant à chaque année. Grâce aux systèmes d'information géographique (**SIG**), nous avons pu générer des cartes détaillées des zones incendiées dans la wilaya de Sidi Bel Abbes pour chaque année entre **2000** et **2020**, ainsi qu'une carte de synthèse (voir la Figure suivante).

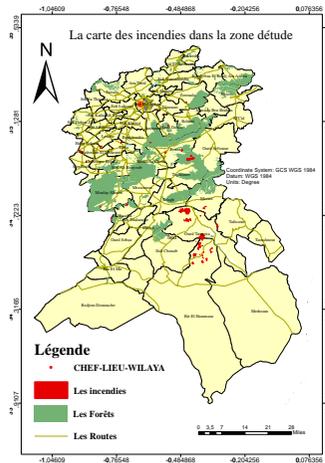
LES CARTES D'INCENDIES DE FORET POUR CHAQUE ANNEES DURENT LA PERIODE 2000-2020



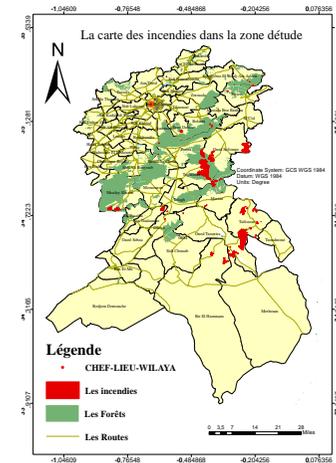
2000



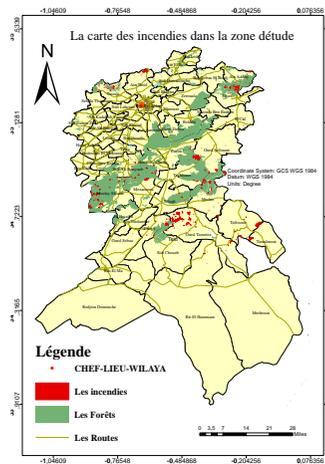
2001



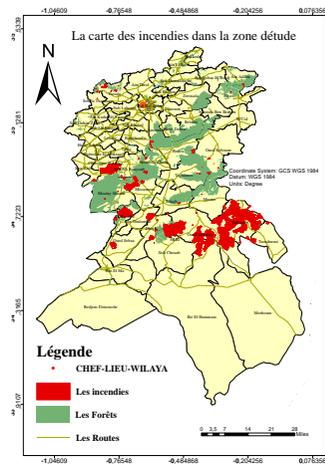
2002



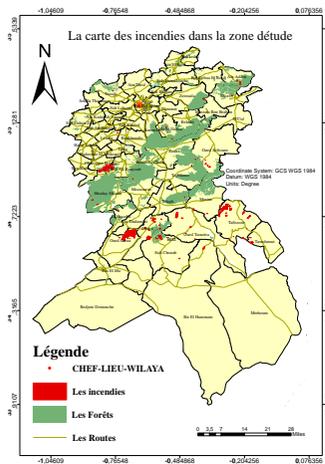
2003



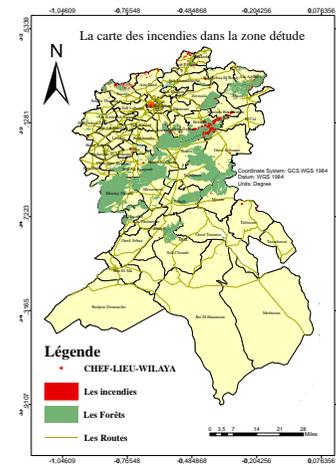
2004



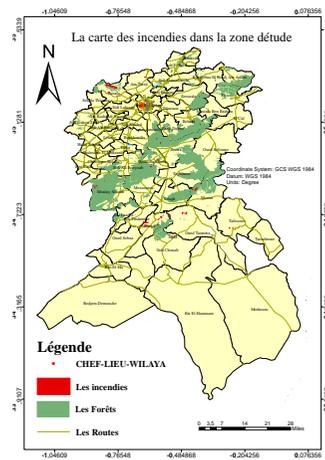
2005



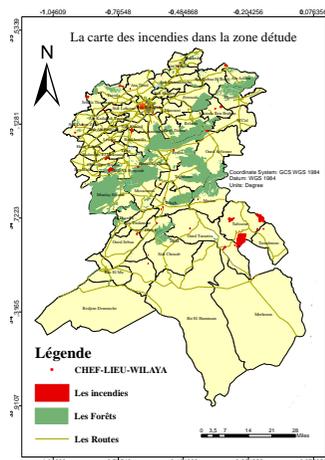
2006



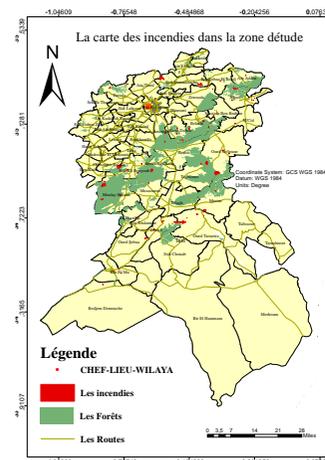
2007



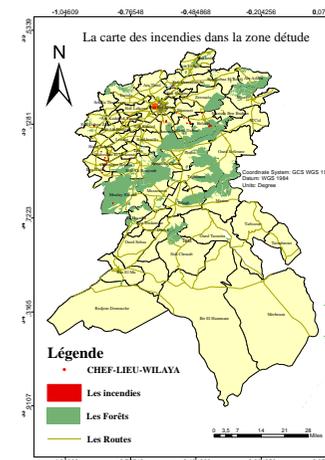
2008



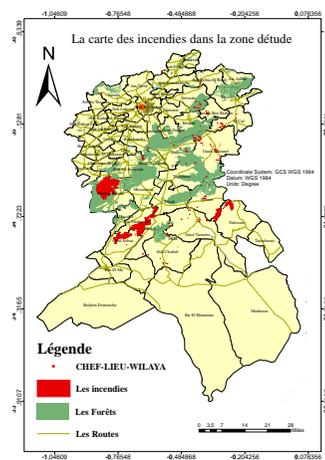
2009



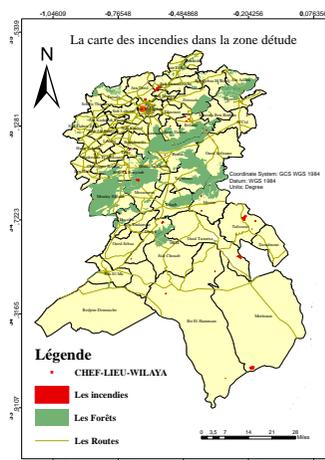
2010



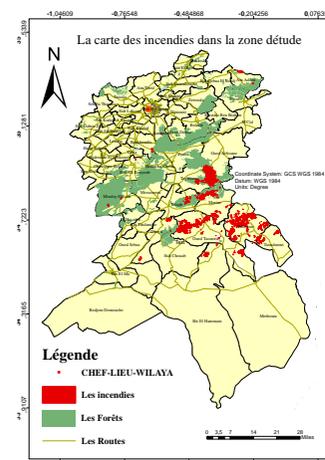
2011



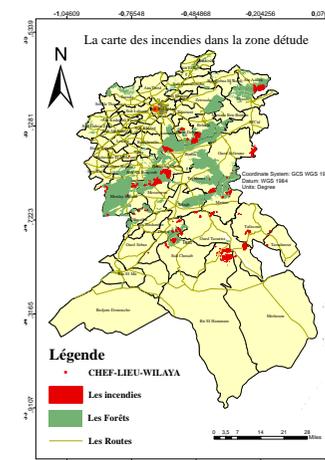
2012



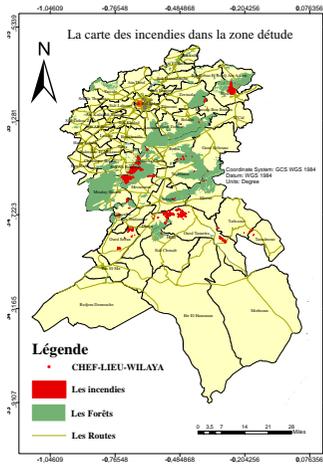
2013



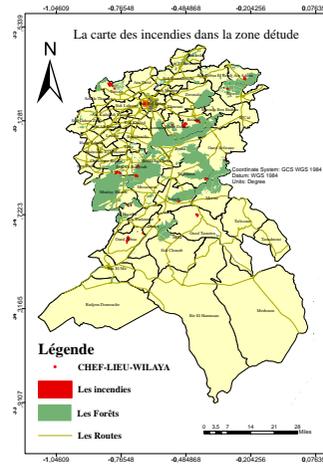
2014



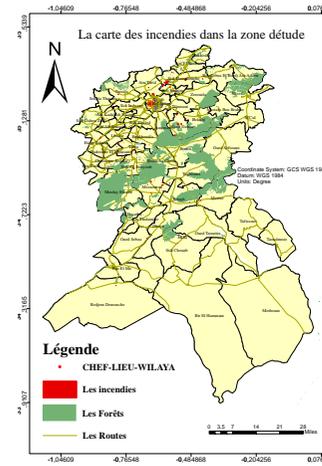
2015



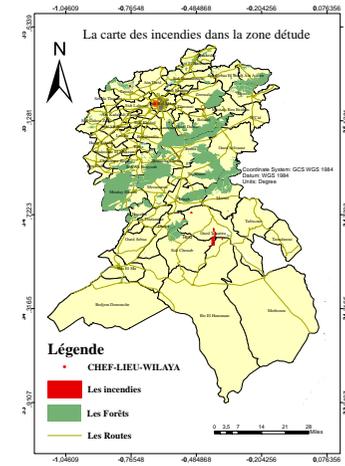
2016



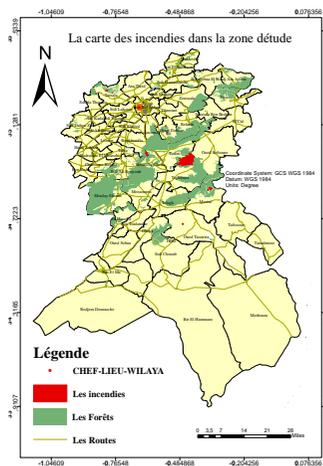
2017



2018



2019



2020

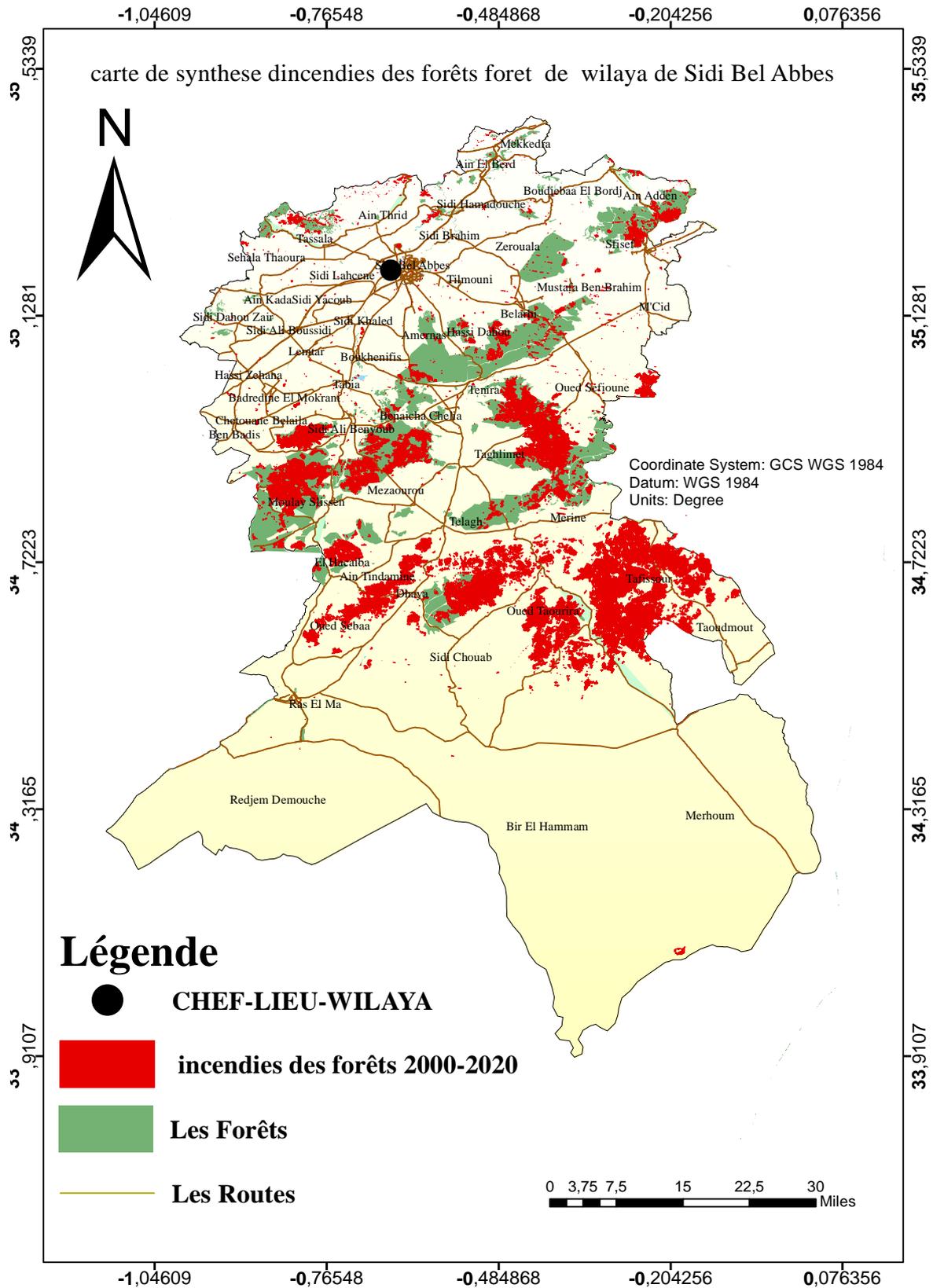


Figure 23 : La carte de synthèse des incendies des forêts au niveau de la Wilaya de Sidi Bel Abbas

IV.1. Comparaison des statistiques DGF aux résultats BAMT de wilaya de sidi bel Abbas

Le tableau 10 et la Figure 24 donnant la comparaison des Superficie des zones brulées issue du traitement BAMT des images Landsat à celles issue des statistique de la conservation des forêts de Sidi Bel Abbas durant la période (2000-2020).

Tableau 10 : Comparaison des statistiques DGF au résultats BAMT de wilaya de Sidi Bel Abbas durant la période (2000-2020)

Année	Superficie des zones brulées issue des statistiques de la conservation des forêts de sidi bel Abbas	Superficie des zones brulées issue du traitement BAMT des images Landsat
2000	454,05	1408,41
2001	1558,51	4692,13
2002	454,05	972,72
2003	1528,82	6093,05
2004	1806,41	953,77
2005	6843,32	22597,75
2006	807	2068,51
2007	42,60	402,85
2008	31,88	71,46
2009	963,42	1711,08
2010	617,46	613,44
2011	101,67	106,65
2012	11843,8	7257,6
2013	1002,69	415,86
2014	15842,44	9843,18
2015	3664,1	3897,50
2016	3397,1	3142,62
2017	773,56	731,61
2018	29,38	77,58
2019	116,79	56,07
2020	1512,28	1402,56

D'après le **tableau 10** et la **Figure 24** représente la superficie brûlée, pour chaque gouvernement, pour la période **2000-2020** à partir de l' Statistiques officielles **DGF** et les données corrigées (**BAMT**)

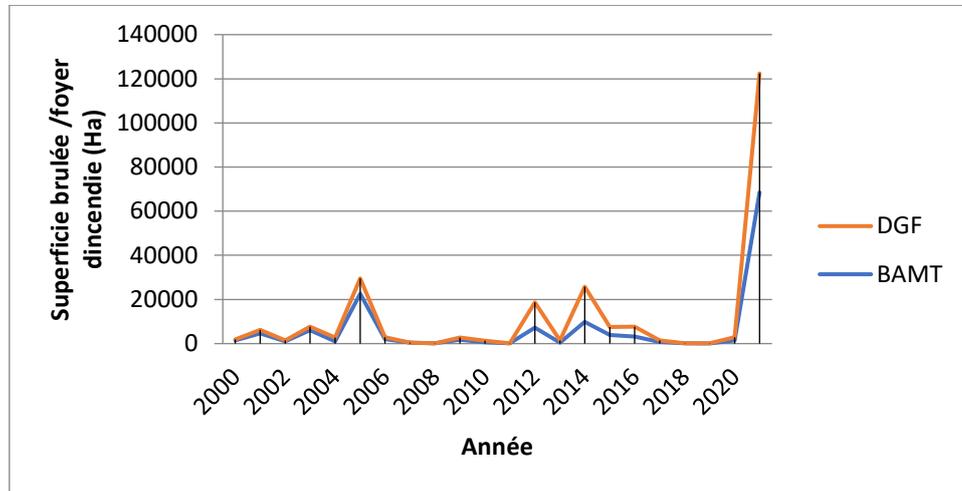


Figure 24 : Les données corrigées (BAMT - DGF) la superficie brûlée à la période 2000-2020

IV.2.1 Analyse interannuelle des incendies des forêts de la wilaya de Sidi bel Abbes (2000-2020).

Les résultats obtenus ont mis en évidence des variations significatives dans l'estimation des surfaces incendiées, avec des écarts allant jusqu'à **400%** dans les années **2000 ,2001 ,2002, 2003, 2005, 2007,2008 ,2009 ,2018**. Et les années **2010, 2011, 2015, 2016, 2017 ,2020** les résultats similaires avec des écarts allant jusqu'à **100%** .et pour les années **2004 ,2006 ,2007 ,2012 ,2013 ,2014 ,2019** des écarts moins de **60%**.

Concernant les données statistiques fournies par la **DGF**, les différences peuvent être expliquées par plusieurs raison:

- L'estimation des surfaces brûlées n'est réalisée qu'après la maîtrise totale de l'incendie (extinction totale), dans certains cas plusieurs jours voire plusieurs semaines après. Les données communiquées régulièrement sont par conséquent basées sur une

évaluation sommaire et approximative d'où des marges d'erreurs plus ou moins importantes.

-Certains terrains incendiés se trouvent dans des régions inaccessibles aux équipes de lutte qui sont également chargées de l'estimation des dégâts, la mesure des superficies se fait de manière indirecte sur un support cartographique (cartes topographiques à moyenne échelle) et donne lieu à des imprécisions plus ou moins importantes.

-L'absence ou le non maitrise d'outils de planimétrie de précision tels que le GPS et la digitalisation en temps réel des limites de l'incendie rend également ces estimations entachées d'erreurs

Par ailleurs les données des **Superficie des zones brûlées issue du traitement BAMT des images Landsat** sont considérées comme fiables et précises pour analyses d'incendies en raison en raison des raisons suivantes :

- **Qualité des données** : Les images satellite utilisées dans **Google Earth Engine** proviennent de sources réputées et fiables, telles que **Landsat, Sentinel** et MODIS. Ces satellites sont spécifiquement conçus pour l'observation de la Terre et fournissent des données de haute qualité.

-**Mise à jour régulière** : Les données d'image satellite dans **Google Earth Engine** sont régulièrement mises à jour, permettant ainsi d'avoir des informations actualisées sur les incendies en cours. Cela permet une meilleure surveillance et une réactivité accrue lors des interventions.

-**Couverture mondiale** : **Google Earth Engine** offre une couverture mondiale, ce qui signifie que les données d'image satellite sont disponibles pour la plupart des régions du monde. Cela permet d'analyser les incendies dans différentes parties du globe, qu'il s'agisse de zones rurales, de forêts tropicales ou de zones urbaines.

-**Résolution spatiale élevée** : Les images satellite dans **Google Earth Engine** ont une résolution spatiale élevée, ce qui permet de détecter les feux de petite taille et de

cartographier avec précision les zones brûlées. Cela facilite une évaluation plus précise de l'étendue des incendies et de leurs impacts.

-Outils d'analyse avancés : Google Earth Engine dispose d'outils et d'algorithmes de traitement d'images avancés, qui permettent de détecter automatiquement les feux, d'extraire des informations pertinentes et de générer des produits cartographiques utiles pour l'analyse des incendies.

-Accessibilité : Les données d'image satellite de **Google Earth Engine** sont accessibles à un large éventail d'utilisateurs, qu'il s'agisse de chercheurs, de professionnels de la gestion des incendies, de décideurs politiques ou du grand public. Cela permet une meilleure collaboration, une diffusion des connaissances et une prise de décision éclairée.

A partir de l'analyse des images **Landsat** et de la base des données **DGF** au cours de la période (**2000-2020**), nous avons vérifié la répartition de la taille des incendies.

D'après la **Figure 24**, nous constatons que la Wilaya de Sidi Bel Abbes a enregistré les grandes surfaces brûlées durant les années **2005, 2012, 2015 et 2020**, soit des pertes annuelles respectivement voir le **Tableau 10 ci-dessus**.

Nous remarquons également une diminution significative dans les superficies incendiées ces dernières années. Si on prend l'exemple des années **2006, 2011 et 2017** et **2018 et 2019** où la wilaya a enregistré des pertes annuelles de **respectivement** donc voir le **Tableau 10 ci-dessus**.

Cela reflète la rapidité de la détection et de l'intervention au cours des incendies. Sauf pour l'année **2020**, lorsque la Wilaya, comme de nombreuses Wilayas du pays, a connu plusieurs feux de forêt dans des zones distinctes.

IV.2 Analyse intra annuelle des incendies de forêts de la wilaya de sidi bel Abbas (2000-2022)

Généralement, la campagne de la lutte contre les feux de forêt débute le mois de Juin et s'achève le mois d'Octobre. Au niveau de notre région d'étude et à cause des conditions existantes de végétation et du climat, on assiste souvent ces derniers temps à des incendies hors campagne, mais ils sont moins fréquents et ravagent généralement des surfaces faibles.

Nombre d'incendie par mois

La **Figure 25** présente la fréquence des incendies par mois au niveau de la Wilaya de Sidi Bel Abbas pendant la période (2000-2020).

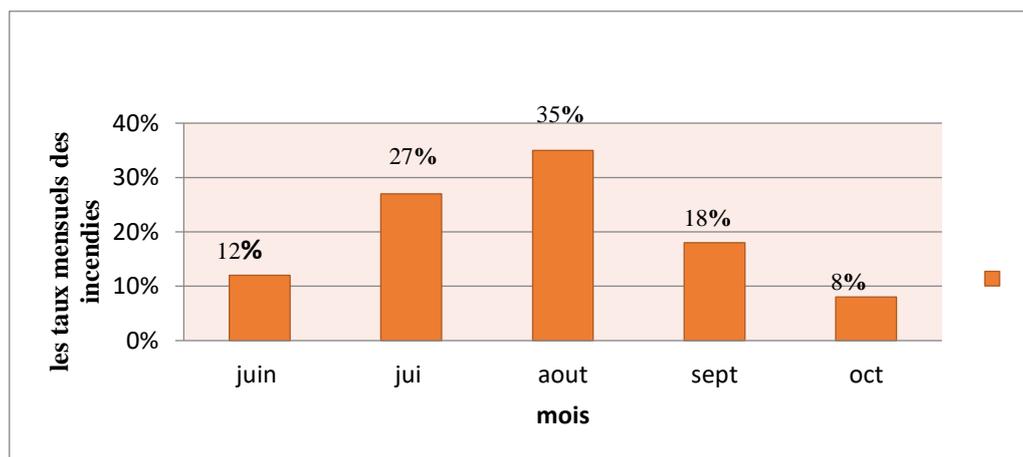


Figure 25 : les taux mensuels des incendies dans la Wilaya de Sidi Bel Abbas (2000-2020)

Il ressort la **Figure 25**, qu'au niveau de la Wilaya de Sidi Bel Abbas et pendant la période étudiée, que les incendies sont aussi enregistrés durant certains mois de l'année hors campagne mais avec une faible fréquence. Les incendies commencent à apparaître à partir du mois de Juin où l'on enregistre le taux le plus faible (12%), Et (27 %) au mois de Juillet la tendance est à la Hausse au mois d'aout et le taux d'incendies atteint son maximum au mois d'Août avec (35 %).

Le taux baisse au mois de Septembre, mais reste plus important avec (18 %) La campagne des incendies se clôturé au mois d'Octobre avec un taux de (8 %).

Le mois d'Août est caractérisé par des températures très élevées et une sécheresse accrue. En outre, durant le mois de Septembre une part importante des incendies d'été est enregistrée malgré une baisse relative des températures. A cette période de l'année, la végétation herbacée est complètement sèche et offre une facilité d'inflammation sans égal, c'est à ce moment-là et avant le retour des premières pluies et l'installation de la fraîcheur que certains bergers ou paysans saisissent l'opportunité pour mettre le feu en vue de préparer la campagne des labours-semailles.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

En conclusion de ce projet de fin d'étude, nous avons exploré un protocole de contrôle approfondi visant à vérifier la qualité des statistiques enregistrées par la conservation des forêts de la wilaya de Sidi Bel Abbes entre **2000** et **2020**. En utilisant la plateforme de calcul **GEE**, nous avons établi une base de données spatio-temporelle des zones brûlées en traitant des images multi spectrales Landsat. Cette base de données nous a permis d'évaluer la qualité des statistiques nationales historiques sur les incendies.

Les résultats de notre travail se matérialisent sous la forme de cartes des zones incendiées entre **2000** et **2020**, ainsi qu'une comparaison des superficies des zones brûlées obtenues à partir du traitement des images Landsat avec celles issues des statistiques de la conservation des forêts **DGF** de la région. Grâce à cette base de données révisée, il est maintenant possible d'effectuer une analyse plus approfondie des estimations des risques d'incendie dans cette zone, ainsi que de réaliser une synthèse à l'échelle méditerranéenne des régimes d'incendie.

Cependant, il reste encore de nombreuses tâches à accomplir. Ce projet ne représente qu'une modeste contribution à la maîtrise de l'utilisation des outils géomatiques comme des outils d'investigation pour une problématique d'une telle envergure. Il ouvre néanmoins la porte à des perspectives prometteuses, permettant la mise en œuvre de modèles afin de mieux prédire l'évolution probable des parcelles incendiées.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

📖 **AIT MOUHOUB D., 1998.** Contribution à l'étude de la sécheresse sur le littoral algérien par le biais de traitement des données pluviométriques et la simulation. Thèse Magi., Ecole nationale polytechnique d'Alger, 128 p.

📖 **Alexandrian D., Esnault F et CalabriG ., 1998.** Analyse de des tendances des feux en méditerranée et des causes sous-jacentes liées aux politiques. Rapport de F.A.O sur les politiques publiques concernant les feux de forêt. Rome (Italie). Algérie, 90 p.

📖 **Amraoui M, 2014,** « Contribution à l'étude floristique post-incendie dans la subéraie de Zariffet « wilaya de Tlemcen » », Mémoire de master soutenu à l'Université de Tlemcen, Algérie

📖 **Arfa A-M-T., 2008,** « Les incendies de forêts en Algérie : stratégies de prévention et plans de gestion », Mémoire de magister soutenu à l'Université Mantouri de Constantine, Algérie

📖 **Bastarrika, A., Alvarado, M., Artano, K., Martinez, M, M., Mesanza, A., Torre, L., Ramo,R., Chuvieco , E., 2014.**BAMS:A Tool for supervised Burnd Area Mapping Using Landsat. Remote sens.6, 12380.
<https://doi.org/10.3390/rs61212360>

📖 **Bastarrika, A., Chuvieco,E., Martin, M.P.,2011.**Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors.Remote Sens .Environ .186,465-478.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.09.016>

📖 **BOUDY P., 1955.** Economie forestière nord-africaine, Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. T. IV., Ed. Larose, Paris. 483 p.

📖 **Chenouf N, 2014,** « la mise en oeuvre de la convention sur la diversité biologique au niveau national », rapport national-Algérie - n°5 MATE/PNUD

📖 **Dauriac F, Deshayes M, Gillon D, Roger J-M, 2001**, « Suivi de la teneur en eau de la végétation méditerranéenne par télédétection. Application au risque de feu de forêt », [en ligne],

📖 **Direction Générale des Forêts –DGF- (2004)**, *Rapport national de l'Algérie sur la mise en oeuvre de la Convention de Lutte contre la Désertification*. DGF, Alger, septembre 2004, [en ligne] <http://www.unccd.int/cop/reports/africa/national/2004/algeria-fre.pdf>

📖 **Direction générale des forêts, 2012**, « 50 ans de réalisations forestières », Document interne de la direction de conservation de forêts de la wilaya de Batna.

📖 **DGF., 2012**. « Bilan des incendies de forêts depuis l'indépendance de l'Algérie (1962 2012) ». Portail du cinquantenaire de l'indépendance. www.djazair50.dz.

📖 **FOSA., 2000**. Etude prospective du secteur forestier en Afrique. Algérie. FAO, Rome, Italie, 60 p. www.fao.org/docrep/003/X6771Foo.pdf

📖 **Franquesa,M.,Vanderhoof,M.K.,Stavrakoudis,D.,Gitas,i.z.,Roteta,E.,padilla,M.,Chuvieco,E.,2020**.Development of a standard database of reference sites for validating global burned area products .Earth Syst .Sci. Data . <https://doi.org/10.5194/essd-12-3229-2020>

📖 **Garcia,M.J.L.,Caselles,V.,1991**.Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data .Geocarto Int.6,31-37. <https://doi.org/10.80/10106049109354290>

📖 **Gemagraf, 1990**, « protection des forêts contre l'incendie », guide pratique, Edition du chapitre 4, France.

📖 **Gérard B, 2001**, « Gestion spatiale des risques », hemers / lavoisier, 1ère édition, France.

📖 **Giglio, L ., Boschetti , L., Roy, D.P., Quayle, B., Justice , C.O., 2009**. An active-fire based burned area mapping algorithm for MODIS sensor . remote Sens . environ 113,408-420. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.10.2006>

-  **Gorelick,N.,Hancher,M.,DIXON,M.,Ilyushchenko,S.,Thau,D.,Moore, R.,2017.**Google Earth Engine: planetary–scale geospatial analysis for everyone .Remotesens.Environ.202,1827.<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
-  GRIM S., 1989- Les incendies de forêts en Algérie. 49p.
-  **Hadef A, 2010,** « Cartographie de l'occupation du sol par la végétation à partir des données satellites dans la région d'Annaba (Chétaibi) », Mémoire magister, soutenu à l'Université de Annaba, Algérie.
-  **Hessas N, 2005,** « Evaluation cartographique et évolution diachronique par télédétection du risque incendie de forêt. Simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du Paillon, Nice, Alpes – Maritimes », thèse doctorat PM présenté à l'université de Grenoble I- Joseph Fourier.
-  KACHA S, 1990. – Aperçu sur le climat du nord d'Algérie à travers les précipitations et les températures. Thèse Ing. ONM, 40 p.
-  **Kalasia B., 1987.** « Le musée vert Radiographie de loisir en forêt », ISBN 2-7384-9, 304p.
-  **KEBIR L. & ABBAS M., 2011.** Apport de l'imagerie Alsat-2A, pour l'identification, la gestion des aménagements forestiers et le suivi des incendies de forêts en Algérie (Cas de la wilaya de Tlemcen): Gestion et prévention des risques majeurs. Actes de l'Atelier « ALSAT-2AUtilisateurs »:5-14.
-  **key,C.H.,Benson,N.,1999.**The Normalized Burn Ratio (NBR) :a landsat TM radiometric measure of burn severity.US Geol.Surv.North.Rocky Mt.Sci.Center
-  **Lambin E.F., Geist H.J et Lepers E., 2003.** Dynamics of Land-use and Landcover Change in Tropical Regions. Annual Review of Environmental Resources 28: 205-241.

📖 **LARABI F., 2015.** Contribution à la réhabilitation de la série III du massif forestier de Touazizine (Monts de Dhaya-Wilaya de Sidi Bel Abbès). Mém. Mas II. Uni. Abou Bekr Belkaid -Tlemcen, 77 p + annexes.

📖 **Lemee G., 1978.** Précis d'écologie, Masson, Paris. 285 p.

📖 **MAHTOUGUI et ZIAN. 2004.** Contribution à l'étude des incendies des forêts de la Wilaya de Sidi Bel Abbès. Mèm. MasII. Université Djillali Liabes. Sidi Bel Abbès.

📖 **MARC H. 1930.** Notes sur les forêts de l'Algérie, Collection du Centenaire de l'Algérie, 1830-1930, Larose, Paris 702p.

📖 **Meddour S-O et Bouisset C, 2013,** « Les grands incendies de forêt en Algérie: problèmes humains et politiques publiques dans la gestion des risques », revue méditerranée, N° 121.

📖 **Meddour S-O, 2014,** « les feux de forêts en Algérie : analyse du risque, étude des causes, évaluation dispositif de défense et des politiques de gestion », thèse doctorat présenté à l'université de Tizi Ouzou.

📖 **Meddour S-O, Meddour R, Derridj A, 2010,** « Les facteurs favorables aux incendies de forêts en région méditerranéenne », Univ Tizi Ouzou , Revue Campus N°17

📖 **MEDDOUR-SAHAR O., MEDDOUR R. & AREZKI D., 2008.** Analyse des feux de forêts en Algérie sur le temps long (1876-2007). *CIHEAM*, N°39 : 6p.

📖 **MEGREROUCHE R., 2006.** Sensibilité de la végétation forestière aux incendies cas de la forêt domaniale de Chattabah-Ain Smara-Constantine. Mémoire en Ecologie et Environnement. Univ. Mentouri, Constantine. 157 p.

📖 **Miara M D, Ait H M, Hadjadj-Aoul S, Hamerlain A S, 2013,** “bioclimats, étages de végétation et zonation altitudinale des groupements végétaux dans les monts de Tiaret (exemple des groupements forestiers et préforestiers du massif de Guezoul) », Revue Ecologie-Environnement (9) : 2013 ISSN : 1112-5888

📖 **Miara M.D, 2011,** « Contribution à l'étude de la végétation du massif de Guezoul (Tiaret)».

 **Olson, D.M., Dinerstein, E., Wikramanake, E.D., Burgess, N.D., Powell, G.V.N., Underwood, E.C., Damico, J.A., I., Strand, H.E., Morrison, J.C., Loucks, C.J., Allnutt, T.F., Ricketts, T.H., Kura, Y., Lamoreux, J.F., Wettengel, W.W., Hedao, P., Kassem, K.R., 2001.** Terrestrial Ecoregions of the World : A New Map of Life on Earth . Bioscience 51,933.

[https://doi.org/10.1641/00063568\(2001\)051\(0933:TEOWA\)2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/00063568(2001)051(0933:TEOWA)2.0.CO;2) Mémoire

Magistère soutenu à l'Université de Oran, Algérie

 **Padilla, M., Stehman, S.V., Ramo, R., Corti, D., Hantson, S., Oliva, P., Alonso Canas, I., Bradley, A.V., Tansey, K., Mota, B., Pereira, J.M., Chuvieco, E., 2015.** Comparing the accuracies of remote sensing global burned area products using stratified random sampling and estimation . Remote Sens . Environ. 160, 114-121 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.005>

 **Pierre-Y C, Marielle J, Anne M, 2003,** « Protection des forêts contre l'incendie, Fiches techniques pour les pays du bassin méditerranéen », Cahier FAO conservation, n°36.

 **Quézel P, Médail F, Juillet 2003,** « Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen », ISBN : 2-84299-451-5, 574 p., 85 euros Editions scientifiques Elsevier, Collection environnement, 23 rue Linois 75724 Paris cedex 15.

 **RAHABI T., 2014.** Contribution à une analyse de l'évolution des feux des forêts : Cas Sidi Bel Abbès. Mem Mas II. Uni Djillali Liabes. Sidi Bel Abbès, 72 p.

 **RAMADE F., 1997.** Conservation des écosystèmes méditerranéens : enjeux et perspective. Plan Bleu, PNUE, Paris. Ed. Economica. N°3: 189p.

 **RICHARD G., SILLON J.F., COUSIN I., BRUAND A., 2004.** Travail du sol, structure et fonctionnement hydrique du sol en régime d'évaporation. Étude et Gestion des Sols, 11 (1) : 59-68.

 **RGUIEG M.M., 2002.** Contribution à la mise au point d'une méthode de zonage écologique basé sur quelques paramètres physiques du sol : Cas de la Wilaya de Sidi Bel Abbès. Mem. Mag. Uni Djillali Liabes. Sidi Bel Abbès, 138 p.

 **Roteta, E., Bastarrika, A., Padilla, M., Storm, T., Chuvieco, E., 2019.** Development of a Sentinel-2 burned area algorithm : Generation of a small

fire database for sub-Saharan Africa. Remote Sens. Environ. 222, 1-17
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.011>

📖 **Rouse, J.W.,** Haas, R.H., Schell, J.A., 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. NASA Goddard Sp. Flight Cent. <https://doi.org/19740008955>

📖 **SARI D.,** 1976. L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). Ed. SNED, 224 p.

📖 **Taher A-M-T.,** 2013, « Impact des inondations sur l'espace urbain le cas de la wilaya sidi bel Abbas », Mémoire de magister soutenu à l'Université de Oran, Algérie

📖 **TIR Ej,** 2016, « Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post-incendie dans la Wilaya de Tissemsilt », Mémoire magister, soutenu à l'Université de Tlemcen, Algérie

📖 **TRABAUD L.,** 1989.- Les effets du régime des feux : exemple pris dans le bassin Méditerranéen. CIHEAM, Options méditerranéennes, n° 3: 89-94.

📖 **VELEZ R.,** 1995. Les feux de forêt en Espagne en 1994. For. Méditerr. T., XVI, 2 : 164- 165.

📖 **Wulder, M. A., Masek, J. G., Cohen, W. B., Loveland, T. R., & Woodcock, C.E.,** 2012. Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. Remote Sensing of Environment, 122,

