

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, Saïda



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

Apport de la Géomatique à l'étude et suivi de la régénération post-incendie des forêts – cas de la forêt de Tafrent (Wilaya de Saïda)

Présenté par :

- Mr : MANKOUR Hichem
- Mr : ACHOUR Sofiane

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Président	Mr. TERRAS Mohamed	Pr Université UMTS
Examineur	Mr. SI TAYEB Tayeb	Pr Université UMTS
Rapporteur	Mr. MEDERBAL Mohammed Touati	MAA Université UMTS

Année universitaire 2021/2022

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, Saïda



N° d'Ordre

كلية العلوم
Faculté des Sciences

قسم البيولوجيا
Département de Biologie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

EnSciences biologiques

Spécialité : Protection et Gestion des écosystèmes

Thème

Apport de la Géomatique à l'étude et suivi de la régénération post-incendie des forêts – cas de la forêt de Tafrent (Wilaya de Saïda)

Présenté par :

- Mr : MANKOUR Hichem
- Mr : ACHOUR Sofiane

Soutenu le :

Devant le jury composé de :

Président	Mr. TERRAS Mohamed	Pr Université UMTS
Examineur	Mr. SI TAYEB Tayeb	Pr Université UMTS
Rapporteur	Mr. MEDERBAL Mohammed Touati	MAA Université UMTS

Année universitaire 2021/2022

Dédicaces

الى كل من ساندني طوال مسيرتي الدراسية اهدي تخرجي لوالديا و لأهلي و أحبتي جميعا

منقور هشام

الى من جرع الكأس فارغا ليسقيني قطرة حب الى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم

"أبي رحمه الله
و أمي أطال الله في عمرها"

سفيان عاشور

Remerciements

Avant tous, nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a guidé tout au long de notre vie, qui nous a permis de nous instruire et d'arriver aussi loin dans les études, qui nous a donné du courage et patience pour traverser tous les moments difficiles, et qui nous a permis d'achever ce travail. Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans la participation et le soutien de nombreuses personnes que nous souhaitons remercier :

- Notre promoteur **Mr Mederbal Mohamed Touati** qui nous a énormément aidés avec ses conseils et remarques durant toute cette période de recherche ;
 - **Pr. Terres Mohamed** et **Pr. SiTayeb Tayeb** pour avoir accepté de juger ce modeste travail ;
 - Nous tenons à remercier tous le staff du département de biologie de l'Université de Saïda (enseignants et administrateur) qui nous a soutenues durant tout notre parcours d'étude.
-

List des abréviations

ASTER: Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer

BDG : La base de données géographique

B.N.E.D.E.R : Bureau National des Etudes de Développement Rural.

B.N.E.F : Bureau National d'Etude Forestière.

C.C.T : Centre canadienne de la télédétection

C.N.I.G : conseil national de l'information géographique

DFCI: Défense des Forêts Contre les Incendies.

DGF: Direction Générale de Forêts.

D.P.A.T : La direction de la Planification et l'Aménagement du Territoire

D.S.A : Direction des services agricole

GPS: Global Positioning System

H:humidity

H.P.A.E : Hiver, Printemps , Automne , Eté

IDL : interactif data language

IH : Indice Humain.

IM: Indice topomorphologique.

INCT: Institut National de Cartographie et de la Télédétection.

MNT : modèle numérique de terrain

N: numéro

nbr : normalized burn ratio

NDVI : indice de végétation normalisé

P : précipitation

PIR : proche infra rouge

ROI : région of interest

SIG : Système d'Information Géographique

SPOT : Satellite pour l'Observation de la Terre.

T : Température network.

TIN : triangular interpolation

°C : degré Celsius

% : pourcentage

Liste des tableaux

Tableau 1: Les superficies incendiées selon les formations végétales ,période1980-2005(DGF,2005).....	9
Tableau 2: Les surfaces incendiées selon les essences1988-1997(DGF,1997).....	9
Tableau 3: Caractéristique de quelque satellites d'observation de la terre.....	21
Tableau 4: exemple de logiciel de télédétection et SIG.....	26
Tableau 5: Vue d'ensemble des bases de données d'occupation des sols existantes.....	28
Tableau 6: Répartition des formations forestières par commune(BNEDER, 1992).....	37
Tableau 7: Les infrastructures forestières par commune(BNEDER, 1992).....	38
Tableau 8: Les infrastructures forestières par commune (Circonscription des forêts de Sidi Boubekeur, 2009).....	39
Tableau 9: Répartition saisonnière des précipitations la daïra de sidi boubkeur (1980-2015) (Station météorologique, 2017).	42
Tableau 10: Classification des mois (période 1980-2015) (Station météorologique, 2017).	44
Tableau 11: Direction et types des vents saisonniers de la régionladaïra de sidi boubkeur(1980-2015) (Station météorologique, 2017).	46
Tableau 12: Dates d'incendies et superficies brulées de la forêt de Tafrent durant la période 2012-2022 (circonscription des forêts de Sidi Boubekeur).....	52
Tableau 13: Caractéristiques des satellites Landsat-8	58
Tableau 14: Les caractéristiques des images satellitaires utilisées.....	58
Tableau 15: Degrés de sévérité obtenus en calculant le dNBR, proposés par l'USGS.....	63
Tableau 16: Les superficies brulées pour l'année (2014-2015-2018 et 2021).	76

Liste des figures

Figure 1: Carte des groupes de végétation (FAO,2012).....	7
Figure 2: Triangle du feu selon Meddour (2014).....	7
Figure 3: Superficies forestières brûlées en Algérie en 1000 ha (1963-2015) (Meddour et al, 2007 ; C.F.R, 2015).....	8
Figure 4: Le nombre de feux par wilaya, période 1986-2005 (DGF, 2005).....	10
Figure 5: Les trois grands types de systèmes satellitaires : système optique réflectif, système optique émissif et système micro-ondes (Begue et al, 2016).	18
Figure 6: Chronologie de la mise en opération des satellites d'observation de la terre (Begue et al, 2016).....	20
Figure 7: Carte de situation de la zone d'étude.....	32
Figure 8: Carte hypsométrique de la forêt de Tafrent.....	33
Figure 9: Carte des pentes de la forêt de Tafrent.....	34
Figure 10: Carte des expositions de la forêt de Tafrent.....	34
Figure 11: Carte du réseau de drainage de la forêt de Tafrent.....	35
Figure 12: Précipitations mensuelles moyennes de la daïra de sidi boubkeur (1980 à 2015)(Station météorologique Rebahia - Saïda, 2017).	41
Figure 13: Régime saisonnier de la zone d'étude (1980-2005).	42
Figure 14: Température moyenne mensuelle daïra de sidi boubkeur(1980-2015).	43
Figure 15: Variation de L'évaporation en fonction des mois (l'évaporation moyenne mensuelle de la station) (1980-2015) (Station météorologique, 2017).	45
Figure 16: Rose du vent de la zone d'étude (1980-2015) (Station météorologique, 2017).	46
Figure 17: Détermination du climat à partir de l'abaque DE MARTONNE la daïra de sidi boubkeur(1980-2015).....	48

Figure 18: Position de la zone d'étude sur le climagramme d'EMBERGER	50
Figure 19: Diagramme ombrothermique de la zone d'étude (1980,2015).....	51
Figure 20: Répartition des surfaces incendiées les dix dernières années dans la forêt de tafrent.....	55
Figure 21: approche méthodologique pour la réalisation des cartes thématique.....	60
Figure 22: Comparaison de la réponse spectrale de la végétation saine et des zones brûlées (Service des forêts des États-Unis).....	62
Figure 23: Organigramme pour la réalisation de carte de sévérité (2014).....	67
Figure 24: Carte de degré de sévérité de l'incendie 2014 (tafrent).....	68
Figure 25: Organigramme pour la réalisation de carte de sévérité (2015).....	69
Figure 26: Carte de degré de sévérité de l'incendie 2015 (tafrent).....	70
Figure 27: Organigramme pour la réalisation de carte de sévérité (2018).....	71
Figure 28: Carte de degré de sévérité de l'incendie 2018 (tafrent).....	72
Figure 29: Organigramme pour la réalisation de carte de sévérité (2021).....	73
Figure 30: Carte de degré de sévérité de l'incendie 2021(tafrent).....	74
Figure 31: Carte des zones incendiées 2014-2015-2018-2021 par super position de la forêt de tafrent.....	75
Figure 32: Organigramme pour élaborer une carte de reprise végétative.....	78
Figure 33: Carte d'indice NRI de reprise de végétation (2014.2015.2018.2021).....	79

Résumé

La vulnérabilité des écosystèmes terrestres méditerranéens augmente en raison de sécheresses plus sévères et plus fréquentes. Plusieurs milliers d'hectares de forêt partent annuellement en fumée en Algérie. Comprendre la dynamique de régénération post-incendie est une tâche importante pour évaluer la résilience des forêts et orienter de manière adéquate la gestion post-perturbation. Ce travail s'intéresse à l'apport de la télédétection et des SIG dans l'étude de la dynamique de régénération post-incendie de la forêt de Tafrent (W. Saïda), cette dernière a été touchée ces dix dernières années par quatre (04) grands incendies (2014, 2015, 2018 et 2021). Le traitement des images satellitaires ont permis d'une part la cartographie des zones incendiées avec leurs degrés de sévérité par l'utilisation de l'indice de brûlure normalisé (NBR) et d'autre part, la caractérisation de la reprise de la végétation post-incendie par l'utilisation de l'indice de régénération normalisé (NRI). Les résultats montre une régénération moyenne due au caractère répétitif des feux et la sècheresse qui s'installe dans la zone d'étude.

Mots clés : régénération, post-incendie, forêt de Tafrent, cartographie, NBR, NRI.

Abstract

The vulnerability of Mediterranean ecosystems is increasing due to more severe and frequent droughts. Several thousand hectares of forest go up in smoke every year in Algeria. Understanding post-fire regeneration dynamics is an important task to assess forest resilience and adequately guide post-disturbance management. This work focuses on the contribution of remote sensing and GIS in the study of the dynamics of post-fire regeneration of the forest of Tafrent (W. Saïda), the latter has been affected in the last ten years by four (04) major fires (2014, 2018, 2018 and 2021). The processing of satellite images allowed on the one hand the mapping of the burned areas with their degrees of severity by the use of the normalized burn index (NBR) and on the other hand, the characterization of the post-fire vegetation recovery by using the normalized regeneration index (NRI). The results show an average regeneration due to the repetitive nature of the fires and the drought that sets in the study area.

Keywords: regeneration, post-fire, Tafrent forest, cartography, NBR, NRI.

ملخص

تتزايد قابلية تعرض الانظمة الإيكولوجية البرية للبحر الأبيض المتوسط للتأثر بسبب موجات الجفاف الشديدة والمتكررة. تخسر الجزائر آلاف من الهكتارات من الغابات كل عام بسبب الحرائق. يعد فهم ديناميكيات التجديد بعد الحرائق مهمة هامة لتقييم مرونة الغابات وتوجيه إدارة ما بعد الاضطراب بشكل مناسب. يركز هذا العمل على مساهمة الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة ديناميات التجديد بعد الحريق الغابة تافرننت (و.سعيدة)، وقد تأثرت الأخيرة في السنوات العشر الماضية بأربعة (04) حرائق كبرى (2014 و 2015 و 2018 و 2021) سمحت معالجة صور الأقمار الصناعية، من أخرى، برسم خرائط المناطق المحروقة مع درجات شدتها باستخدام مؤشر الحرق الطبيعي، من ناحية أخرى، توصيف استعادة الغطاء النبات بعد الحريق باستخدام مؤشر التجديد الطبيعي. أظهرت النتائج معدل تجدد متوسط بسبب الطبيعة المتكررة للحرائق و الجفاف الذي يحدث في منطقة الدراسة

الكلمات المفتاحية: التجديد، ما بعد الحريق، غابة تافرننت، رسم الخرائط، صور الأقمار الصناعية.

Table des matières

CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE DES FEUX DE FORETS EN ALGERIE	6
I.1. Répartition géographique des forêts en Algérie et leurs essences	6
I.2. Feux de forêts en Algérie	7
I.2.1. Historique des incendies de forêts en Algérie	8
I.2.2. Surfaces incendiées selon les formations végétales (1980-2005)	9
I.2.3. Surfaces incendiées selon les essences forestières (1988,1997)	9
En Algérie	9
I.2.4. Les surfaces incendiées par wilaya(période1986-2005):.....	10
I.2.5. DanslawilayadeSaïda:	11
I.3. Impact des feux de forêts :	11
I.3.1. Impact des feux de forêt sur la régénération forestière :	11
I.3.2. Impact des feux de forêt sur l'écosystème forestier :	12
I.3.3. Impact des feux de forêt sur le sol :	12
I.3.4. Impact des feux de forêt sur la régénération de pin d'Alep :	13
I.4. Comment se déroule la régénération	13
II.1. Imageries satellitaires	16
II.1.1. Généralité	17
II.1.2. L'offre en imagerie satellitaire	19
II.1.3. Comment choisir et accéder aux images ?	22
II.2. Outils logiciels	23
II.2.1. Logiciels de télédétection	23
II.2.2. Logiciels SIG	25
II.2.3. Des outils en évolution	25
II.3. Données et produits cartographiques disponibles	27
II.4. Applications de la géomatique à la régénération des forêts après incendie	29
II.1. Situation géographique	32
II.2. Description du milieu physique	33
II.2.1. Topographie	33
II.2.2. Hydrographie	35
II.2.3. Géologie	35

II.2.4. Pédologie	36
II.2.4.1. Sols fersiallitiques :	36
II.2.4.2. Les sols calcimagnésiques :	36
II.2.4.3. Les sols peu évolués :	36
II.3. Occupation du sol	37
II.4. La richesse faunistique:	37
II.4.1. Mammifères :	37
II.4.2. Oiseaux :	38
II.5. Infrastructures forestières :	38
II.5.1. Pistes :	38
II.5.2. Tranchées pare-feux:	39
II.5.3. Postes de vigie:	39
II.6. Climat de la zone d'étude	39
II.6.1. Pluviométrie	40
II.6.2. Les températures	42
II.6.3. L'évapotranspiration (ETP)	44
II.6.4. Évaporation	45
II.6.5. Le vent	45
II.6.6. Synthèse climatique	46
II.6.6.1. Indice d'aridité de DEMARTONNE	47
II.6.6.2. Quotient pluviothermique d'EMBERGER	48
II.6.6.3. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS	50
II.6.6.4. Classification des ambiances bioclimatiques en fonction de "T" et "m"	51
II.7. Bilan des incendies de la forêt de Tefrent	52
IV.1. Objectif du travail:	57
IV.2. Matériels utilisés :	57
IV.2.1. Données satellitaires :	57
IV.2.2. Outils logiciel	59
IV.2.2.1. Le logiciel ArcGis:	59
IV.2.2.2. Le logiciel ENVI	59
IV.3. Approche méthodologique	60
IV.4. Calcul du NBR :	61

IV.5. Calcul de NDVI :.....	63
IV.6. Calcul du NRI:.....	64
IV.1. Cartes des zones incendiées et de leur degré de sévérité	67
IV.1.1. Carte d’incendie de Tafrent (2014).	67
IV.1.2. Carte d’incendie de tafrent(2015).	69
IV.1.3. Carte d’incendie de tafrent (2018)	71
IV.1.4. Carte d’incendie de tafrent (2021).	73
IV.2. Carte des zones incendiées 2014-2015-2018-2021 de la forêt de tafrent.....	75
IV.3. Superficie des zones incendiées.....	76
IV.4. Carte de reprise de la végétation	77
Conclusion.....	82
IV.1. Annexe 1	87
IV.2. Annexe 2.....	87
IV.3. Annexe3	89
IV.4. Annexe4	90
IV.5. Annexe5	90
IV.6. Annexe6.....	90
IV.7. Annexe7	92

INTRODUCTION

Introduction

La forêt est un écosystème qui joue un rôle essentiel dans l'équilibre physique, climatique et social, il considère comme un patrimoine précieux pour les êtres vivant (êtres humains, faunes et flores), cela pour ces besoins directs, en produits ligneux et non ligneux, celons le FAO la forêt s'occupant une superficie de plus de 4,05 milliard d'hectare a l'échelle mondiale.

La forêt en Algérie est un étendu de 4,7 millions d'hectares avec les maquis, ce qui représente 1% du territoire national (DGF, 2000), malheureusement ce patrimoine forestiers subissent une intense dégradation, suite à plusieurs facteurs ; tels que les attaques parasitaires, les coupes illicites et les défrichements, mais les facteurs les plus redoutables de la forêt planétaire, méditerranéenne et algérienne sont les incendies. Chaque année, environs trois millions d'hectares d'espaces forestiers sont détruits par le feu volontairement ou accidentellement dans le monde. Selon la FAO, de 1980 à 1990 chaque année 13,7 millions d'hectares de forêts ont disparu.

Les feux de forêt produisent des dommages qui sont beaucoup plus graves sur le milieu naturel, car ils dévastent annuellement des superficies appréciables, notamment des pertes forestières immédiates. En Algérie, la surface parcourue annuellement par le feu est de 26 015 ha, Ce phénomène intervient pour beaucoup dans la modification de l'environnement, ainsi qu'une modification au niveau de structure et composition des formations végétales (strates végétales) où dominant des espèces résineuses, accompagnées d'un sous-bois où la broussaille domine, sont autant de facteurs favorisant les feux de forêts (Missoumi et al, 2003).

En Algérie la majorité des forêts sont des pinèdes, le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) couvre 30,8 % de la superficie totale environ 850 000 ha, ce qui explique son importance dans les plans nationaux de reboisement. Il est représenté dans presque tous les étages bioclimatiques, depuis le bord de mer jusqu'aux zones présahariennes (subhumide, semi-aride et aride) (Brakchi-Ouakour et al, 2015). Certes, le pin d'Alep est l'essence la plus

touchée par le feu en Algérie, avec 48,36 % du total de la surface brûlée vue qu'il est une espèce ligneuse qui présente la plus forte inflammabilité parmi toutes les autres essences forestières. La présence des cônes rend la propagation du feu rapide et les superficies des espaces brûlés augmentent dans un minimum du temps. Dans ce cas la régénération de ces forêts aura des difficultés, elle doit passer par plusieurs étapes et avoir un bon suivi, donc il est nécessaire de surveiller l'état de la santé et de la diversité des forêts, et cela passe par des travaux dont reposant sur des techniques modernes d'observation et d'analyse de l'espace (télédétection et Système d'Information Géographique), ces outils ont montré leur efficacité et leur rapidité en matière d'élaboration des cartes de suivi le développement ou le changement en zone forestière.

Ce travail de fin d'étude vise à, l'évaluation de l'état après feu de la forêt de Tafrent Wilaya de Saïda. Comme objectif spécifique, cette étude met en évidence, à travers une analyse spatiale et cartographique, l'importance de l'utilisation de la télédétection pour le suivi de la dynamique de régénération après incendie.

Notre travail est structuré en cinq chapitres :

- ✓ Dans le premier chapitre, ont essayé d'exposer d'une manière générale une présentation sur les forêt Algérienne et la problématique des feux qui les impacte, dans un premier temps, ainsi l'impact de feu sur la régénération forestière, l'écosystème forestiers et le sol, dans un deuxième temps.
- ✓ Dans le deuxième chapitre on a présenté des notions sur l'outil géomatique, utilisé dans le cadre de ce travail, ainsi que les logiciels et les images satellitaires utilisées dans le suivi de la régénération des forêts après incendies.
- ✓ Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude, dans laquelle nous avons fait la description de la forêt de Tafrent (W. Saïda), et une synthèse climatique des paramètres météorologiques.

- ✓ Le quatrième chapitre présente la description de la méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail.
- ✓ Le dernier et le cinquième chapitre représente l'interprétation et la discussion des résultats obtenus.

CHAPITRE I.
PROBLEMATIQUE DES FEUX
DE FORETS EN ALGERIE

I.1. Répartition géographique des forêts en Algérie et leurs essences

Les essences principales se répartissent en forêts d'intérêt économique constituées de résineux (pin d'Alep, pin maritime et cèdre) et de feuillus (chêne zeen, Afares et eucalyptus). Les forêts de protection sont composées de chêne vert, thuya et genévrier. L'essence prédominante est le pin d'Alep qui occupe 1 158 533 ha et se rencontre principalement dans les zones semi arides. Le chêne liège avec 349 218 ha se localise principalement dans le nord-est du pays. Le chêne Zeen avec 43 922 ha occupent les milieux les plus frais dans la subéraie. Les cèdres sont éparpillés sur 32 909 ha en îlots discontinus dans le tell central et les Aurès. Le pin maritime est naturel dans le nord-est du pays et couvre 28 490 ha. Les Eucalyptus introduits dans le nord et surtout dans l'est du pays occupent 29 355 ha et les divers 68 391 ha (BNEDER, IFN, 2009)

Les forêts de Pin d'Alep sont localisées dans les Wilayas des Sidi Bel Abbès, Saida, Tiaret, Relizane, Chlef, Ain Defla, Tipaza, Blida, Médéa, Bouira, Bordj Bou Arréridj, Djelfa, M'Sila, Batna, Khenchela, Tébessa;

Les forêts de Chêne liège sont concentrées dans les Wilayas de Bou Merdes, Tizi Ouzou, Bejaia, Jijel, Skikda, Annaba, Tarf, Guelma, Souk Ahras;

Les forêts de Chêne zèen et Afarès dans les Wilaya de Bejaia, Jijel et Guelma, Souk Ahras et Taref;

Les forêts de Cèdre sont concentrées dans les Wilayas de Batna, Khenchela et disséminées en petites tâches dans les Wilayas de Tissemsilt, Blida et Tizi Ouzou;

Les forêts de Pin maritime existent dans les Wilaya de Bejaia, Skikda, Jijel et Annaba où elles colonisent les forêts de Chêne liège.

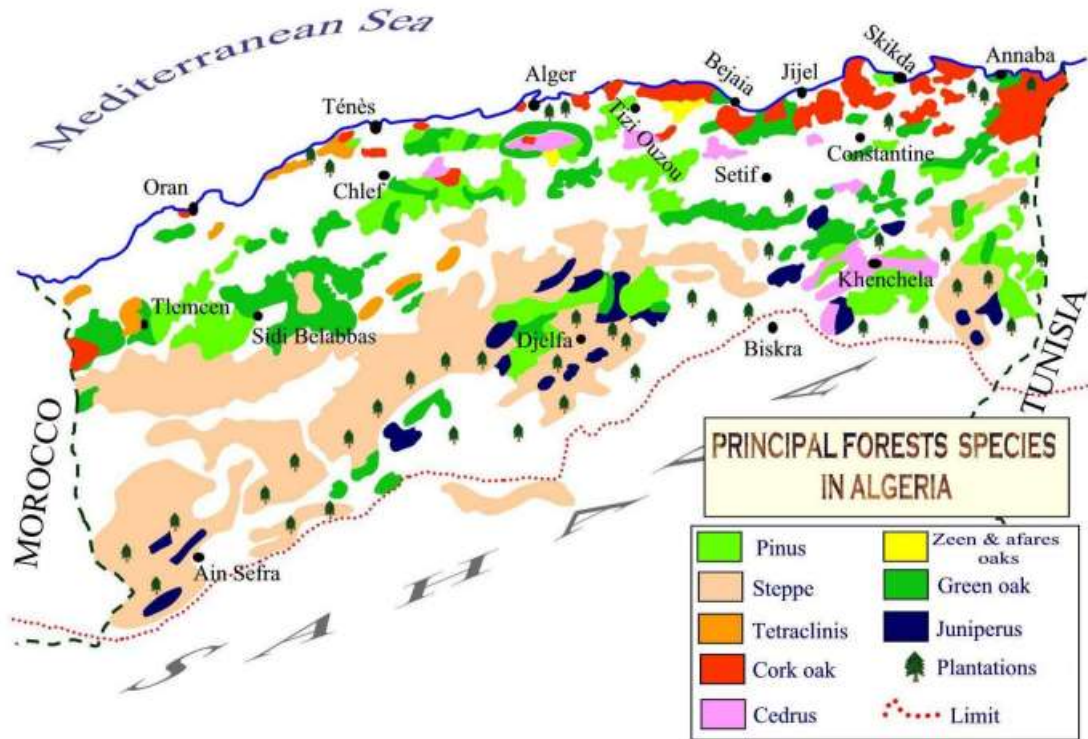


Figure 1: Carte des groupes de végétation (FAO,2012)

I.2. Feux de forêts en Algérie

En Algérie, comme dans les pays méditerranéens, le patrimoine forestier est affecté par la dégradation car sa composition floristique est très inflammable et le climat méditerranéen (chaud et sec en été) est propice au déclenchement des incendies et à l'influence des activités humaines. Les pressions héritées sont considérables.



Figure 2: Triangle du feu selon Meddour (2014)

I.2.1. Historique des incendies de forêts en Algérie

Trois décennies furent particulièrement désastreuses pour la forêt algérienne : 1911-1920 coïncida avec la Première Guerre mondiale, 1951-1960 avec la guerre de libération, et 1991-2000 avec l'ère du terrorisme (Oldach, 2003).

Entre 1963 et 2013, 1,5 million d'hectares de forêt ont été brûlés et les incendies ont détruit en moyenne 34 000 hectares/an. Après l'indépendance, les forêts algériennes ont connu un calme relatif, la superficie brûlée étant réduite par rapport à l'époque coloniale, où la superficie annuelle moyenne était de 41 258 hectares (MEDDOUR, 2008).

Cependant, certaines années, les forêts algériennes ont été affectées par de vastes zones d'incendies nuisibles, bien au-dessus de la moyenne de la période 1963-2013, en particulier les deux années catastrophiques de 1983 et 1994 (Figure 3), avec respectivement 221 367 hectares et 221 367 hectares. Hectare. Pour lui, AIT MOUHOUB (1998) Ces deux -là sont probablement bien mérités, du moins dans une large mesure. Du moins en grande partie, à des conditions climatiques très favorables au déclenchement et à la propagation du feu (sécheresse ,vent).

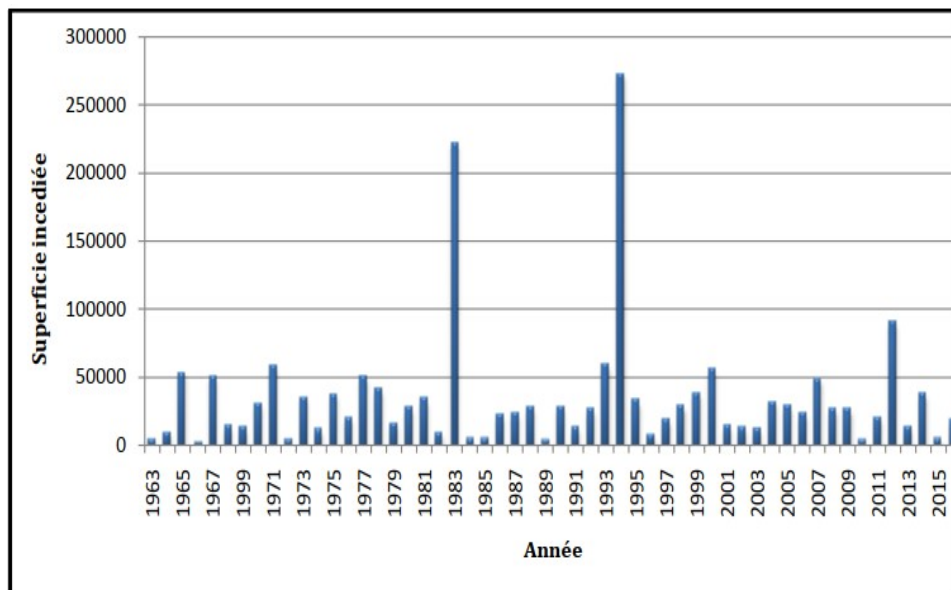


Figure 3:Superficies forestières brûlées en Algérie en 1000 ha (1963-2015) (Meddour et al, 2007 ; C.F.R, 2015).

1.2.2. Surfaces incendiées selon les formations végétales (1980-2005)

Durant cette période de 26 ans , la superficie totale incendiée est de 1045 353Ha, soit un moyen annuel de 40 203Ha (tableau 1).

Tableau 1: Les superficies incendiées selon les formations végétales , période 1980-2005 (DGF, 2005).

	Forêt	Maquis	Broussailles	Alfa	Total
Total Période	645 239	254 299	143 142	2 673	1 045 353
Moyennes Annuelles	24 816	9 780	5 505	102	40 203
Taux(%)	61,7	24,3	13,7	0,3	100

Ceux sont les forêts qui sont les plus vulnérables aux incendies, avec 645 239Ha incendiés, soit 61 % de la superficie totale incendiée. En ce qui concerne les maquis et les broussailles, les incendies ont touché respectivement 254 299 Ha (24%) 143 142 Ha (13%).

1.2.3. Surfaces incendiées selon les essences forestières (1988,1997)

En Algérie, l'essence d'arbre la plus touchée par les incendies a été le pin d'Alep, représentant 30,8 % de la superficie totale (tableau 2). Cette essence résineuse domine, représentant 35% de la superficie forestière totale de mon pays (tableau 2).

Le chêne résineux arrive en deuxième position avec 19,6 % de la superficie brûlée totale. Cette étagère hautement inflammable permet au feu de se propager rapidement, ce qui est assez important

Favorisé pour son abondance de buissons, qui constituent en premier lieu le matériau de propagation du feu.

Les maquis et les strates arbustives, qui représentent 45% des strates végétales ligneuses de l'Algérie, représentent 40,2% de la surface brûlée.

Tableau 2: Les surfaces incendiées selon les essences 1988-1997 (DGF, 1997).

Espèces Forestières	Surface(Ha)	Taux(%)
Pin d'Alep	149 825	30,8
Thuya de Berbérie	2 166	0,4
Pin Maritime	10 070	2,1
Cèdre de L'atlas	335	0,1
Total Résineux	161 823	33,3
Chêne Liège	95 562	19,7
Chêne Vert	13 778	2,8
Chêne Zen et Chêne Afarès	8 527	1,8
Eucalyptus	10 435	2,2
Total Feuillus	128 302	26,4
Maquis et Broussailles	195 296	40,2
Total Général	485 421	100,0

I.2.4. Les surfaces incendiées par wilaya (période1986-2005):

Durantlapériode1986-2005,les wilayas les plus affectées par les incendies se localisent au nord. Ces wilayas sont Bejaïa (qui la plus touchée avec plus de 80 000Ha), Skikda (plus de 70 000 Ha), Tizi Ouzou (plus de 60 000 Ha), El Tarf (56 000 Ha) et Sidi BelAbbes (48 000Ha) (figure4).

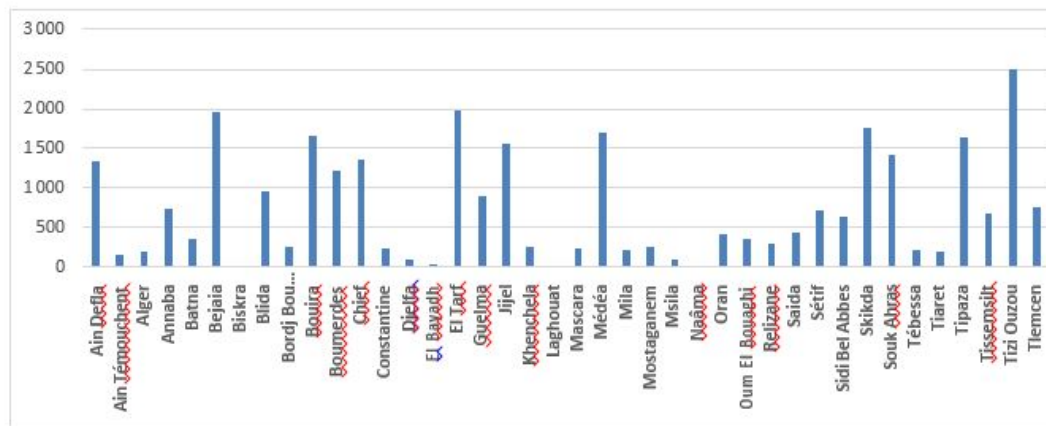


Figure 4:Le nombre de feux par wilaya, période1986-2005 (DGF, 2005).

I.2.5. Dans la wilaya de Saïda:

Les données du Forest Conservation Service sur les incendies de 1972 à 1977 ont indiqué que la superficie touchée par les incendies était de 4 067 hectares. Le nombre total de feux a été de 50, soit une moyenne sur 6 ans de 8,33 hectares/an. Le nombre moyen annuel d'incendies est d'environ 8. Les statistiques pour 1980-1990 couvrent une superficie de 4 690 hectares, soit une moyenne annuelle de 469 hectares. Les feux de forêt sont les plus importants par rapport aux feux de brousse et aux esbatros. Ils représentent 81% de la superficie totale. Les facteurs humains sont largement responsables des incendies de forêt : brûlage de la paille, brûlage des résidus des projets d'assainissement, extension des zones de pâturage, extension des zones agricoles marginales (B.N.E.D.R, 1992).

I.3. Impact des feux de forêts :

I.3.1. Impact des feux de forêt sur la régénération forestière :

Certaines espèces d'arbres ont besoin du feu pour ouvrir leurs cônes et libérer des graines (pin d'Alep) qui, après germination, constituent le début d'un nouveau cycle de vie.

Dans la quasi-totalité des cas, la reconstitution du couvert végétal dépend de l'intensité et de la fréquence des feux. Après des feux modérés, le couvert végétal se reconstitue progressivement, soit par répulsion, germination, soit à partir d'organes vivants souterrains (bulbes, rhizomes, tubercules). L'écosystème évolue vers un état comparable à la situation floristique initiale avant le feu, évoluant progressivement vers la structure, presque immédiatement

Le feu réduit la régénération : la chaleur détruit les organes vivants souterrains ou les graines, limitant ainsi fortement la régénération de la végétation. Il en résulte une flore appauvrie. Étant donné que de nombreuses plantes n'ont pas le temps d'atteindre la maturité sexuelle avant le passage de nouveaux incendies, des incendies répétés peuvent entraîner des réductions importantes de la flore. Les espèces les plus tolérantes à la

propagation et à la chaleur, telles que les cistes et les légumineuses, constituent l'essentiel du couvert végétal (Benyahia et al., 2017).

I.3.2. Impact des feux de forêt sur l'écosystème forestier :

Probabilité L'une des principales conséquences écologiques des incendies est l'accrue de nouveaux incendies au cours des années suivantes, à mesure que les arbres morts s'effondrent, créant des trous dans la forêt à travers lesquels la lumière du soleil dessèche la végétation, où le carburant brûle, s'accumule et devient vulnérable au feu. Comme les graminées brûlées, prolifèrent. Les incendies répétés sont destructeurs car ils sont un facteur clé de la perte de biodiversité dans les écosystèmes des forêts tropicales humides. Cette

Les incendies sont souvent suivis d'une colonisation et d'une infestation par des insectes qui perturbent l'équilibre écologique. (Dennis et al., 2001)

I.3.3. Impact des feux de forêt sur le sol :

La durée de l'impact direct du feu est variable, allant de quelques minutes à quelques heures. Bien que de tels feux de forêt aient plusieurs caractéristiques communes, des températures de surface élevées, l'impact diminue rapidement avec la profondeur car la couche organique n'est pas de bons conducteurs (Rowe et al., 1973; Armson, 1977; Wein, 1983)

Les incendies de forêt sont causés par la perte de couches organiques et la destruction du couvert végétal. Ces effets sont des conséquences indirectes ressenties au fil des ans, le rayonnement solaire frappant directement le sol et altérant les conditions naturelles hydriques et thermiques en l'absence de couvert végétal. La perte d'isolation et l'assombrissement du sol amplifient les variations quotidiennes d'humidité et de température, et sans la protection naturelle des couches organiques, les sols sont victimes du compactage, du lessivage et de l'érosion pluviale (Armson, 1977 ; Vannier, 1978 ; Wein, 1983 ; Mclean , 1983 ; Trabaud, 1990), elles entraînent également des modifications des propriétés chimiques. La cendre résultante contient du Ca, du Mg, du K et du P (converti des formes organiques aux formes

inorganiques). D'où une augmentation du pH (Rowe et Scotter, 1973 ; Armson, 1977 ; Trabaud, 1990).

1.3.4. Impact des feux de forêt sur la régénération de pin d'Alep :

Dans le cas des conifères, le passage du feu a partiellement détruit les graines dans les cônes.

La régénération naturelle du pin d'Alep favorise également l'augmentation des nutriments libérés par la combustion des cendres de bois, et la déshydratation des graines par la chaleur augmente également l'énergie et les taux de germination.

D'autre part, les effets du sol et d'autres facteurs abiotiques sur la régénération varient considérablement d'un site à l'autre (Abbas et al., 1984).

1.4. Comment se déroule la régénération

Des études sur la production de cônes et de graines dans les forêts naturelles de pin d'Alep ont montré que le potentiel de fructification de cette espèce dépend de plusieurs facteurs qui influencent directement ou indirectement ses résultats (Ayari, 2012). Les conditions écologiques sont favorables et les pins d'Alep ont un diamètre plus grand et fournissent des fruits plus riches. (Vennetier et al., 2010 et 2011) Ainsi, les arbres dominants à couvert développé produisent plus de graines par cône que les arbres confrontés à la concurrence des arbres voisins (Nathan et al., 1999). On constate que le nombre moyen de cônes matures par arbre et ses caractéristiques morphologiques varient selon la qualité du site de plantation, la densité de peuplement et les traitements de boisement (Sghaier et al., 1997 ; Tapias et al., 2001 ; Verkaik et al., 2006 ; Moya et al. people, 2008).

Cependant, la qualité des cônes produits a un certain impact sur la qualité des graines qu'ils contiennent (Ayari, 2012).

La sérotonine, ou capacité à maintenir le cône fermé pendant plusieurs années après sa maturation, est une spécificité du pin d'Alep (Khouja, 2020).

Dans chaque source, le nombre de cônes de sérum était supérieur au nombre de nouveaux cônes muraux (Mohamed la Rbikhouja, 2020).

La banque de graines aériennes est représentée par des cônes mûrs, avec des graines prêtes à être libérées. D'autre part, ils ont une courte durée de vie au-dessus ou au-dessous du sol, il n'y a donc pas de banque de graines souterraine. (Benyahia et al, 2017)

La chaleur dégagée par la flamme favorise l'ouverture du cône de sérum (Ne'eman et al, 2004).

CHAPITRE II. OUTILS GEOMATIQUE

Le rôle et les avantages de la géomatique ne sont plus à démontrer, ce domaine, désormais démocratisés, est omniprésent sur l'ensemble des secteurs développement et aménagement durables du territoire, agriculture, gestion de ressources, transports, urbanisme, industrie spatiale, gestionnaires de réseaux (routes, télécommunications, etc.), énergie, défense et géomercatique. Plus précisément, la géomatique regroupe l'ensemble des outils et des méthodes permettant d'acquérir, de représenter, d'analyser et d'intégrer des données géographiques. Par conséquent, la géomatique regroupe au moins trois activités distinctes : la collecte des données géographiques, le traitement de ces données et la diffusion de celles-ci.

Pour des besoins de l'approche méthodologique adopté dans le cadre de ce travail, une vue d'ensemble est proposé dans cette partie concernant l'imagerie et les produits satellitaires ainsi qu'une revue des outils logiciels de traitement de l'information géographique.

II.1. Imageries satellitaires

Les 50 années écoulées depuis le lancement du premier satellite ont vu progresser la télédétection spatiale allant de la production à petite échelle d'images à basse résolution pour quelques privilégiés, motivées principalement par les besoins militaires de l'ère de la guerre froide, à l'acquisition quotidienne de plus de 10 téraoctets d'informations, de plus en plus accessibles à tous, motivé en grande partie par les besoins de l'observation de la Terre (Tatem et al, 2008).

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

Le nombre croissant de satellites d'observation de la Terre et la disponibilité des images permettent de réduire les coûts de données. Les

bases de données en ligne gratuites et la distribution ouverte des images traitées permettent à tous de disposer de nombreux types de données (Wulder et al, 2016;Wulder et Coops, 2014). Bien que cette tendance soit la bienvenue, le choix d'un capteur satellite est étroitement lié aux besoins et aux moyens techniques et budgétaires dont on dispose pour acquérir et traiter les données, et chaque famille de capteurs a ses propres méthodes de traitement.

II.1.1. Généralité

La télédétection par satellite intègre la compréhension, l'interprétation et l'établissement de relations entre les phénomènes naturels et les mesures d'énergie électromagnétique émise ou réfléchi par la surface de la Terre ou son atmosphère. Ces mesures sont effectuées pour un grand nombre d'emplacements sur la surface de la Terre par des capteurs embarqués à bord de satellites spatiaux et sont émises sous forme d'images.

Les satellites d'observation de la Terre, actuellement en orbite, sont équipés de capteurs qui mesurent différentes sections des régions visibles, infrarouges et hyperfréquences du spectre électromagnétique. La majorité des capteurs sont "passifs", ils mesurent soit le rayonnement solaire réfléchi, soit l'énergie thermique émise par la surface ou l'atmosphère de la Terre. Les nouveaux satellites utilisent également des capteurs "actifs" qui émettent de l'énergie et enregistrent la réponse réfléchi ou rétrodiffusée, à partir de laquelle des informations sur la Terre peuvent être déduites (figure 5).

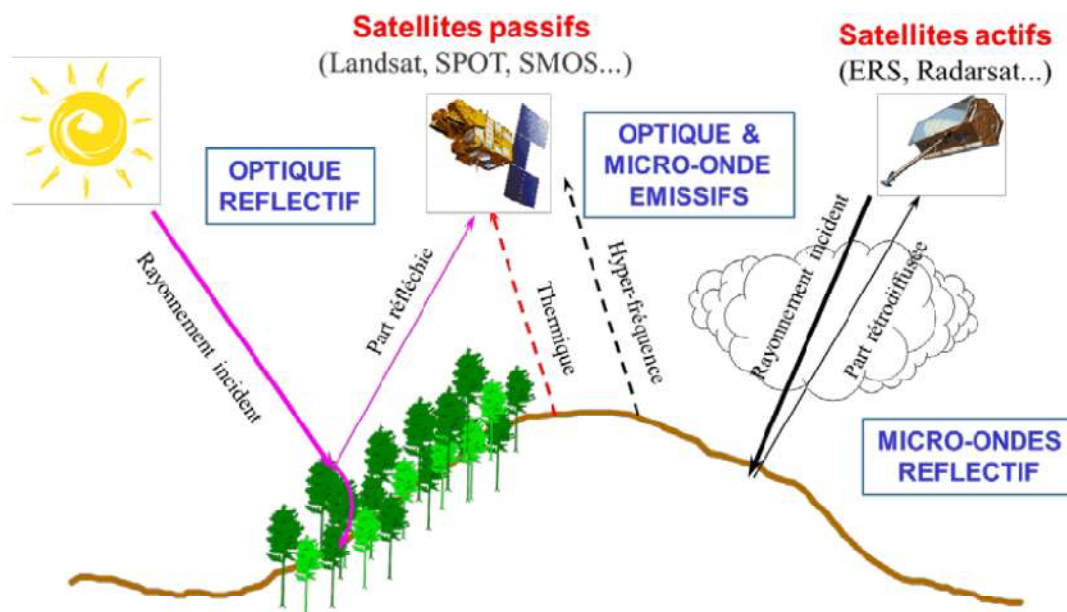


Figure 5: Les trois grands types de systèmes satellitaires : système optique réflectif, système optique émissif et système micro-ondes (Begue et al, 2016).

Avant d'utiliser des données de la télédétection pour répondre à un besoin, nous devons définir et comprendre quelques termes et concepts fondamentaux associés aux caractéristiques principales des images satellitaire.

La **résolution spectrale** décrit la capacité d'un capteur à définir des intervalles de longueur d'onde fins. Plus la résolution spectrale est fine, plus la plage de longueurs d'onde d'un canal ou d'une bande est étroite. Une résolution spectrale très élevée facilite la discrimination fine entre différentes cibles en fonction de leur réponse spectrale dans chacune des bandes étroites. Bien choisir les images satellite pour un problème donné implique avant tout de bien choisir les bandes spectrales capables de discriminer les types de surfaces de la zone d'étude en fonction de leurs signatures spectrales.

La **résolution spatiale** fait référence à la taille du plus petit élément possible pouvant être détectée. C'est la taille d'un pixel au sol. Les utilisateurs emploient sans définition stricte les plages de résolutions suivantes :

- THRS : La Très Haute Résolution Spatiale (métrique : pixels < 5 m)

- HRS : La Haute Résolution Spatiale (décamétrique : pixels entre 5 m et 100 m)
- La moyenne résolution spatiale (hectométrique : pixels entre 100 m et 5 km)
- La basse résolution spatiale (kilométrique : pixels > 5 km)

L'étendue d'une image est la surface couverte par une scène. En règle générale, plus la résolution spatiale de l'image est grande (taille du pixel plus petite), plus faible est la surface couverte par l'image.

La résolution temporelle fait référence au temps écoulé entre des images consécutives du même emplacement au sol prises par le capteur. Les capteurs satellitaires, selon leur orbite, peuvent demeurer en permanence sur une zone (satellites géostationnaires) ou revenir à la même zone au bout d'un certain nombre de jours (satellites héliosynchrone). La caractéristique temporelle est utile pour étudier ou surveiller des phénomènes variables dans le temps. Il faut noter que la résolution temporelle est de l'ordre de l'heure pour les satellites météorologiques géostationnaires, de quelques jours pour les satellites de moyenne à basse résolution, de quelques semaines à quelques mois pour les satellites HRS, et de quelques mois à l'année pour les satellites THRS.

II.1.2. L'offre en imagerie satellitaire

L'utilisation de l'imagerie satellitaire pour l'observation de la Terre dans les domaines forestier et agricole, remonte aux années 70's avec le lancement du premier satellite de la série Landsat par la NASA. Les images Landsat décrivent de vastes zones de la surface de la Terre dans plusieurs régions du spectre électromagnétique, visible et proche infrarouge, et à des résolutions spatiales utiles pour de nombreuses applications pratiques, telles que l'évaluation de la couverture terrestre et de leur utilisation. Ces missions ont servi de modèle pour des satellites et des capteurs d'observation terrestre similaires au cours des décennies suivantes, tels que le Système français pour l'observation de la Terre (SPOT).

Le développement de la télédétection s'est appuyé largement sur ces deux programmes satellitaires jusqu'à la fin des années 90 et l'arrivée sur le marché des images THRS de satellites civils opérés par des entreprises privées. Lancé en septembre 1999, Ikonos offre des images multi-spectrales à 4 m et panchromatiques à 1 m de résolution spatiale.

Les systèmes à micro-ondes actifs été utilisés pour suivre des objets en mouvement, mais au cours des années 90's les capteurs embarqués sur les satellites ont produit des images à micro-ondes actives. Le radar à synthèse d'ouverture (SAR) est une variante de cette technologie qui peut prendre des mesures à travers la couverture nuageuse et sans lumière du jour.

La Figure qui suit montre l'évolution et les satellites lancés chaque année et situe les phases ayant marqué le développement de la télédétection dans le domaine optique.

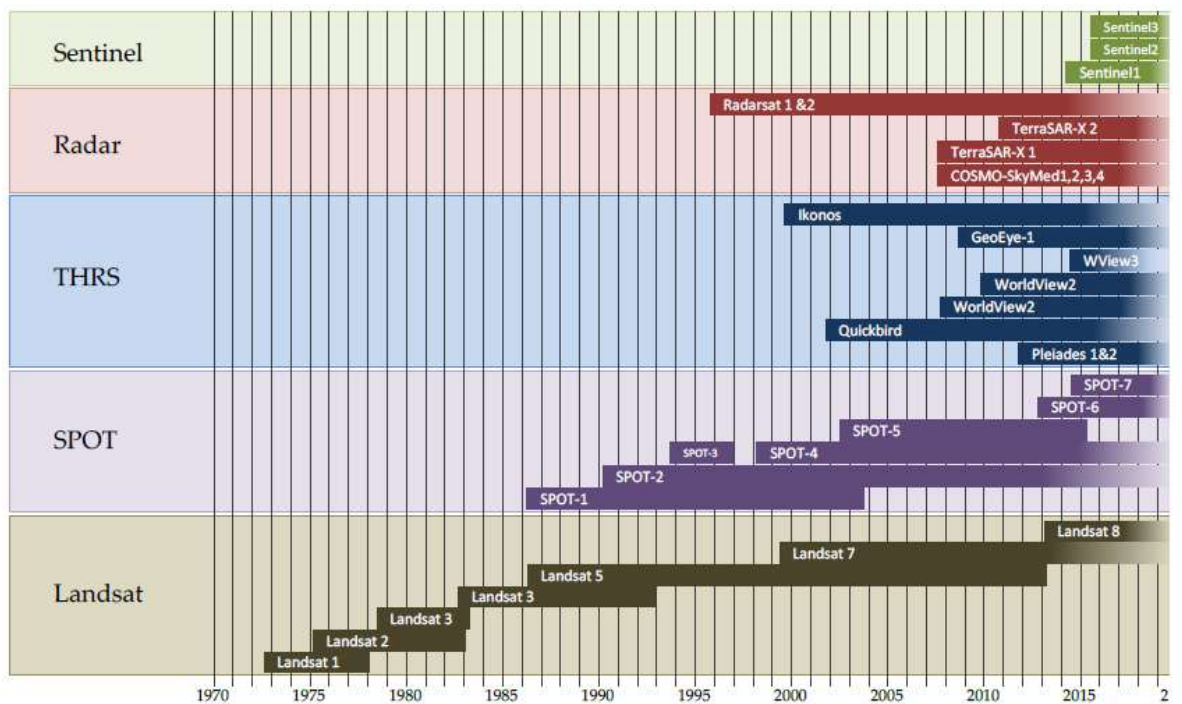


Figure 6: Chronologie de la mise en opération des satellites d'observation de la terre (Begue et al, 2016)

Les images satellite peuvent être classées selon plusieurs caractéristiques : longueur d'onde/fréquence, résolution spatiale, surface

couverte, répétitivité. le tableau suivant donne un panorama de l'offre actuel satellitaire classé selon la résolution spatiale:

Tableau 3: Caractéristique de quelques satellites d'observation de la terre

Catégorie	Satellite	Bande	Résolution spatiale	Etendu	Répétitivité
Très Haute Résolution Spatiale - Multi Spectrale	SPOT 5	Pan	2,5m/5m	60 km	26 jours
		V, R, PIR	10m		
		MIR	20m		
	SPOT 6,7	Pan	1,5m	60 km	26 jours
		B, V, R, PIR	6m		
	IKONOS	Pan	1m	11 km	26 jours
B, V, R, PIR		4m			
QuickBird		Pan	70 cm		
V, R, PIR, MIR	2,8 m				
Haute Résolution Spatiale - Multi Spectrale	Landsat 8	Pan	15m	170km x 185 km	16 jours
		B, V, R, PIR, MIR, IRT	30m		
		IRT	60m		
	Landsat 7	Pan	15m	170km x 185 km	16 jours
		B, V, R, PIR, MIR,	30m		
		IRT	60m		
	SPOT 4	Pan	10m	60 km	26 jours
		V, R, PIR, MIR	20m		
	SENTINEL 2	B, V, R, PIR	10m	290 km	5 jours avec 2 satellites
		R, PIR, MIR	20m		
aérosols vapeur d'eau cirrus		60m			
V, R, PIR, MIR		2,8 m			
Moyenne Résolution Spatiale - Multi Spectrale	NOAA AVHRR	R, PIR, MIR, IRT	1 km	2900 km	1jour
		EOS MODIS	Bande 1-2 (0,62µm - 0,87 µm)		
	Bande 3-7 (0,54µm - 2,15µm)	500m	2330 km	1 jour	
	Bande 8-36 (0,405µm - 14,38µm)	1 km			
Radar à synthèse d'ouverture (SAR)	Sentinel (Bande C)	Stripmap	5m	80 km	Avec 2 satellites: 3jours à 1jours selon la latitude
		Interferometric Wide Swath	5 x 20m	250 km	
		Extra-Wide Swath	20 x 40m	400 km	
		Wave	5 x 5 m	20 km	

II.1.3. Comment choisir et accéder aux images ?

Le choix des données satellitaires, conformément aux objectifs donnés, est une étape cruciale. Vu la grande diversité d'images disponibles, les utilisateurs sont confus et ne tiennent compte que d'un ou deux critères et manquent d'une vue globale pour choisir la meilleure image qui convient pour leur sujet. Plusieurs questions peuvent alors se poser pour préciser cet objectif:

Quelle zone d'étude ?

L'étendue de la zone d'étude est généralement la zone à couvrir par les images, et détermine l'échelle de travail. Le nombre d'images à traiter dépend de la taille des images. La zone d'étude va conditionner le budget et les moyens à mettre en œuvre pour acquérir et traiter les images. Pour des raisons de coût et de volume de données à traiter, à une échelle régionale (millions de km²), on utiliserait plutôt Spot-VEGETATION ou MODIS, alors qu'à une échelle locale, on utiliserait Landsat (milliers/dizaine de milliers de km²), GeoEye ou Ikonos (centaines de km²), la photographie aérienne ou acquise par drone (dizaines de km²).

Quelle résolution spatiale ?

La résolution spatiale des images dépend de la taille des objets (arbre, champ, domaine cultivé,...) que l'on cherche à observer. Avec des images satellite de haute résolutions spatiales (5m-30 cm), il est possible d'isoler les arbres et les champs, alors que pour extraire la végétation à l'échelle de pays, l'utilisation de données moyenne résolution spatiale entre 100 m – 1 km est préconisée.

Quels paramètres à cartographier ?

L'extraction de paramètres biophysiques nécessite la compréhension fine des comportements spectraux des surfaces observées. En fonction des bandes spectrales des images il est possible d'accéder à certains paramètres biophysiques. Par exemple, les paramètres liés à la végétation (biomasse, surface foliaire, taux de couverture) sont obtenus par les bandes dans le visible et le proche infrarouge. D'autres paramètres comme

l'évapotranspiration ou la température de surface sont estimés en utilisant les bandes dans l'infrarouge thermique. Les satellites radar ou micro-onde passive peuvent renseigner sur l'humidité du sol ou la rugosité de surface.

Quelle dynamique rechercher ?

Si l'étude menée requiert une analyse dynamique de la zone concernée, la fréquence d'acquisition (répétitivité) des images est à prendre en compte pour suivre les évolutions pertinentes ses dates différentes. Ainsi, le suivi fin d'une zone de culture nécessiterait par exemple plusieurs images pendant la saison de croissance. Si la période étudiée est passée, il important de connaitre la disponibilité des archives d'images satellite. Attention à la possibilité d'avoir des images nuageuses.

Quel budget ?

Même s'il existe des images satellite gratuites comme Landsat 8 ou MODIS, le coût des images dans une étude n'est généralement pas à négliger. Il dépend de plusieurs facteurs comme la taille de la zone d'étude, de la résolution spatiale, du niveau de prétraitement ou s'il s'agit d'images d'archives ou de programmation.

II.2. Outils logiciels

Les outils logiciel, en relation avec les technologies de l'information géographique, peuvent se distinguer en deux grandes familles, d'une part, **les logiciels de télédétection**, et d'autre part, **les logiciels** Systèmes d'Information Géographiques (SIG). Cette distinction a cependant tendance à s'estomper car les systèmes de traitement d'images intègrent généralement des fonctions SIG et *vice versa*.

II.2.1. Logiciels de télédétection

Un logiciel de télédétection est un outil proposant des fonctionnalités permettant la visualisation, le traitement, l'analyse, et la présentation de nombreux types d'images numériques, dont les images satellites. En particulier, il doit être capable de travailler sur différents types de données

(multispectrale, hyperspectrale, radar), d'intégrer des données de type matriciel (image) et vectoriel et être compatible avec des données de type SIG.

Les fonctionnalités d'un logiciel de télédétection peuvent être classées comme suit :

- Des fonctionnalités de prétraitements qui consistent à réaliser des fonctions de changement de formats des données, de corrections géométriques ou radiométriques, de réaliser des opérations mathématiques (addition, soustraction...), d'ajustement de contraste, de masquage, de visualisation ou de calcul de néo-canaux (texture, indices...);

- Des fonctions de combinaison de données de nature différente. En plus de combiner les bandes spectrales, certaines études combinent des données temporelles (indispensables notamment pour séparer deux cultures), des données altimétriques (altitudes, pentes...) et des données exogènes (cartes digitalisées, relevés de terrain, etc.);

- les techniques de classifications d'images. On distingue deux grands types de classifications d'images : (i) la classification par pixel qui permet d'extraire les informations d'une image à partir de la valeur des pixels dans chacune des bandes spectrales et (ii) la classification par objets qui consiste à classer des groupes de pixels homogènes créés par un algorithme de segmentation. Pour ces deux types, on distingue quatre méthodes principales de classification : les méthodes supervisées qui consistent à rechercher des objets identiques à des objets de référence acquis sur le terrain ; les méthodes automatiques (ou non assistées) offrent la capacité de rechercher une répartition des données sans se référer à des informations relevées sur le terrain ; la méthode expertisée: consiste à traduire la connaissance du terrain que possède un opérateur. Pour cela l'opérateur définit lui-même tous les critères permettant d'extraire une classe ; et enfin, la méthode manuelle permet simplement de digitaliser manuellement tous les éléments d'intérêt. Cette étape est aussi appelée PIAO (Photo-Interprétation Assistée par Ordinateur).

- les fonctions de post-traitements qui consistent à appliquer des filtres pour simplifier les classifications afin de faciliter leur utilisation dans un SIG (lissage pour éliminer les pixels isolés, regroupement de classes...);
- la construction de matrices de confusion qui permettent d'estimer la qualité d'une classification en la comparant à des données de terrain.

II.2.2. Logiciels SIG

Les logiciels SIG sont une collection d'outils informatiques permettant d'organiser des informations provenant de diverses sources de données afin de cartographier et d'examiner les changements sur Terre. Il est conçu pour capturer, stocker, gérer, analyser et visualiser tous les types de données géographiques et permettre l'intégration et l'analyse collective de données géospatiales provenant de sources multiples, y compris l'imagerie par satellite, les enregistrements GPS et les attributs textuels associés à un espace particulier.

La technologie SIG intègre des opérations de base de données courantes telles que les requêtes et l'analyse statistique, avec des cartes. Les SIG gèrent les informations de localisation et fournissent des outils pour afficher et analyser diverses statistiques, notamment les caractéristiques de la population, les opportunités de développement économique et les types de végétation. Le SIG vous permet de relier des bases de données à des cartes pour créer des affichages dynamiques.

II.2.3. Des outils en évolution

Les technologies de l'information géographique évoluent et divergent rapidement. Les fournisseurs de logiciels adaptent progressivement leurs produits afin qu'ils puissent intégrer les contraintes. Les professionnels de la géospatiale ont besoin d'une connaissance approfondie des outils standard qu'ils trouveront sur leur lieu de travail.

Certains logiciels, comme des boîtes à outils générale, proposent l'ensemble des fonctionnalités nécessaires pour mener à bien les projets en relation avec l'information géographique, comme ArcGis. D'autres sont

spécialisés dans un seul domaine, Ainsi, VGT EXTRACT ne proposent que des fonctionnalités pour travailler sur des séries temporelles d'images basse-résolution.

Il existe une autre catégorie, **les logiciels dédiés**, généralement créés dans le cadre de projets. Ils sont souvent gratuits, parfois utilisables en ligne. Ils permettent principalement de faciliter la réalisation de traitements spécifiques, on peut citer le ESA SNAP dédiés pour le traitement d'image Sentinel.

Il y a quelques années, **les produits issus du monde libre** étaient très nombreux dans le domaine des SIG. En effet plusieurs projets concurrents avaient vu le jour, tels que SAGA, QGIS... Actuellement on constate que QGIS est dominant et les développements de nouvelles fonctionnalités et outils se concentrent sur ce produit.

Dans le tableau suivant, quelque logiciel de télédétection et SIG les plus communs dans le monde de la géospatiale:

Tableau 4:exemple de logiciel de télédétection et SIG

Télédétection		
ENVI	Payant	http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVI/ENVI.aspx
IDRISI	Payant	http://www.clarklabs.org/products/idrisi.cfm
ERDAS	Payant	http://geospatial.intergraph.com/products/ERDASIMAGINE/Details.aspx
QGIS	Gratuit	http://www.qgis.org/fr/site/ Via des extensions de Quantum GIS : GDAL/OGR, GRASS, SAGA, etc.
SNAP	Gratuit	https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/ Logiciel de l'ESA pour les images « Sentinel » et +
Systèmes d'Information Géographiques (SIG)		

ArcGIS	Payant	http://www.arcgis.com/features/
Mapinfo	Payant	https://www.pitneybowes.com/us/location-intelligence/geographic-information-systems/mapinfo-pro.html
QGIS	Gratuit	http://www.qgis.org/fr/site/

II.3. Données et produits cartographiques disponibles

Au cours des dernières années, grâce à l'évolution des données d'observation de la terre, Une grande variété de produits d'utilisation / couverture du sol (LULC) basés sur la télédétection sont actuellement disponibles aux échelles régionale, nationale et mondiale.

Cependant, Il existe plusieurs limitations à l'outil de télédétection, notamment en mode multispectral, la Terre ne peut pas être observée à travers les nuages, la poussière et d'autres facteurs atmosphériques. De plus, des cartes mondiales d'occupation du sol, par exemple celles basées sur les données du spectromètre radiomètre imageur à résolution moyenne (MODIS), ne peuvent au mieux être obtenues qu'à des résolutions spatiales relativement basses, 1 km, 500 m et 250 m, ce qui est insuffisant pour appréhender les modes d'utilisation des terres, les changements de terres cultivées et la distribution de différents types de cultures dans certains paysages complexes (Tateishi et al,2011). Jusqu'à récemment, les produits mondiaux de couverture du sol étaient développés à l'aide d'images satellites à résolution grossière; Cependant, avec l'ouverture des archives Landsat en 2008, qui sont disponibles gratuitement à une résolution spatiale de 30 m, des cartes de la couverture du sol à une résolution plus élevée au niveau mondial commencent à être disponibles (Wulder et al, 2016).

Le tableau ci-après résume les produits et les bases de données sur l'occupation du sol disponibles sur les échelles globales et continentales:

Tableau 5: Vue d'ensemble des bases de données d'occupation des sols existantes

Produit	Rés. spat.	Année	Source de données
International Geosphere Biosphere Programme Data and Information Systems (IGBP-DIS)	1km	1992-1993	Advanced Very High-resolution Radiometer (AVHRR)
University of Maryland Global Land Cover (UMd-GLC)	1km	1992-1993	Advanced Very High-resolution Radiometer (AVHRR)
Global Land Cover SHARE (GLC-SHARE)	1km	2000-2014	Globcover 2009, MODIS VCF 2010 and Cropland database 2012
Global Land Cover Map for the Year 2000 (GLC2000)	1km	2000	SPOT-4
MODIS-Based MCD12Q1	1km	2002	MODIS
Collection 5 MODIS Global Land Cover Type Product	500m	2000	MODIS
Global Land Cover by National Mapping Organizations (GLCNMO)	1km	2003	MODIS
The Centre for Sustainability and the Global Environment (SAGE)	10km	2000	Boston University's MODIS-derived land cover product (BU-MODIS) et GLC2000
IIASA-IFPRI CroplandPercentageMap	1km	2005	GlobCover 2005, MODIS v.5, regional maps, such as AFRICOVER, and national maps
GlobCover Global Land Cover Map	300m	2009	MEDium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS)
Global CroplandExtentMap	250m	2000-2008	MODIS
Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover (FROM-	30m	2010	Landsat TM and ETM+

GLC)			
Fine Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover (FROM-GLC-seg)	30m	2013	Landsat TM, ETM+ and MODIS
Global Land Cover (GLC)	30m	2000-2010	Landsat TM and ETM+

II.4. Evaluation de la géomatique à la régénération des forêts après incendie

Les gestionnaires des forêts ont besoin d'information pour tenter de contrôler les feux et pour évaluer le rétablissement de la forêt après l'incendie. Le Canada est le chef de file mondial dans la recherche sur les feux de forêt, il collabore avec des agences spatiales du monde entier pour partager des données de géomatique, qui lui permettent d'intégrer les moyens d'acquisition et de gestion des données à référence spatiale en vue d'aboutir à une information d'aide à la décision. (C.C.T, 1999).

Les applications terrestres de la télédétection sont extrêmement variées, et le champ d'utilisation, pour la surveillance du couvert forestier, à l'aide de traitement de l'imagerie satellitaire numérique, qui est une discipline en constant développement, et la baisse du coût des matériels informatiques a entraîné une augmentation rapide du nombre des utilisateurs (Kergomard, 2004)

Les données multi-spectrales (optiques et proche-infrarouge) sont préférées pour l'observation des stades de croissance et la phénologie dans les zones déjà brûlées. Une couverture spatiale modérée, une résolution spatiale élevée à moyenne et une fréquence d'imagerie élevée sont nécessaires pour la cartographie des zones brûlées. Alors que la détection et la surveillance des feux requièrent une grande couverture spatiale, une résolution moyenne et une fréquence de prises de données élevée sont nécessaires pour assurer un délai de réponse court. (Benkraouda, 2015).Les

images satellitaires donnent une vue globale et fournissent des informations très utiles sur l'environnement, pour une grande gamme d'échelles, de continents entiers aux détails de quelques mètres (Belhadj-Aissa et al, 2003).

L'objectif essentiel du SIG est de fournir une base de prise de décision, dans plusieurs domaines, à partir des données satellitaires (Sitayeb, 2006).

CHAPITRE III.
PRESENTATION DE LA ZONE
D'ETUDE

II.1. Situation géographique

La forêt domaniale de TAFRENT est située dans la daïra de Sidi Boubekeur, elle se répartisse dans les trois communes suivantes : Sidi Boubekeur, Sidi Amar, et Ouled khaled (Figure 7).

Avec une nature juridique domaniale, la forêt de TAFRENT est située au Nord de la wilaya de Saïda, à une distance de 15 km du chef-lieu de la wilaya .Elle est située dans la daïra de Sidi Boubekeur et Chevauche trois communes, à savoir Sidi Boubekeur, Sidi Amar et Ouled khaled. Sa gestion administrative et forestière est assurée par la Circonscription de Sidi Boubekeur Conservation des Forêts de Saïda).

Selon la CC Sidi Boubekeur, la forêt de TAFRENT s'étend sur une superficie de 12228ha.

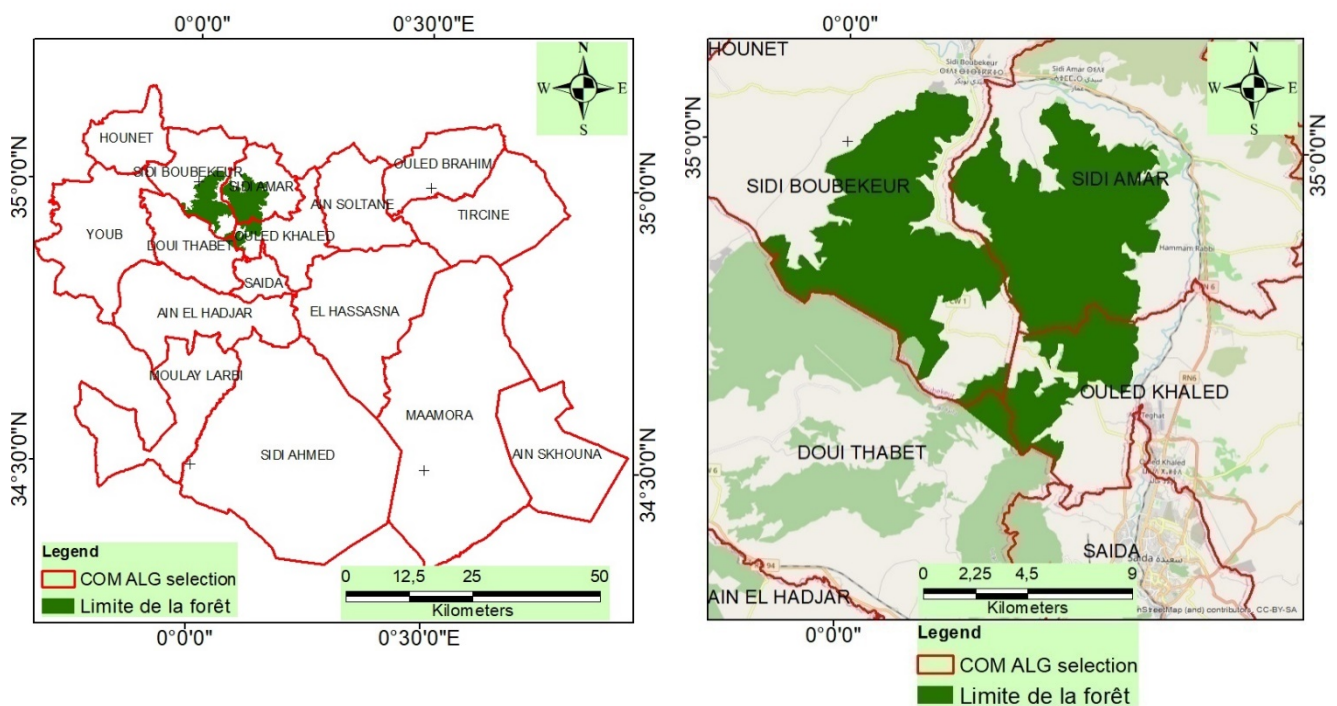


Figure 7: Carte de situation de la zone d'étude

II.2. Description du milieu physique

II.2.1. Topographie

Afin de décrire le relief de la zone d'étude est effectuée par l'utilisation du modèle numérique du terrain (MNT) et ses produits dérivés, à savoir carte des altitudes, carte des pentes et carte des expositions.

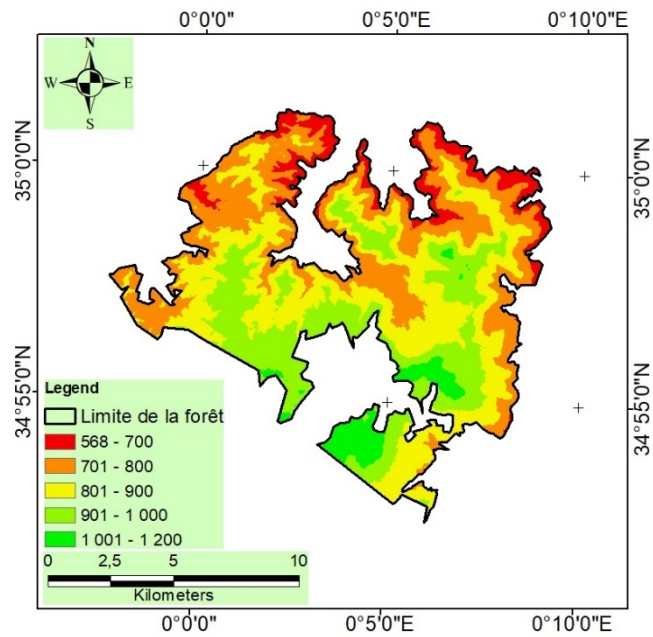


Figure 8: Carte hypsométrique de la forêt de Tafrent

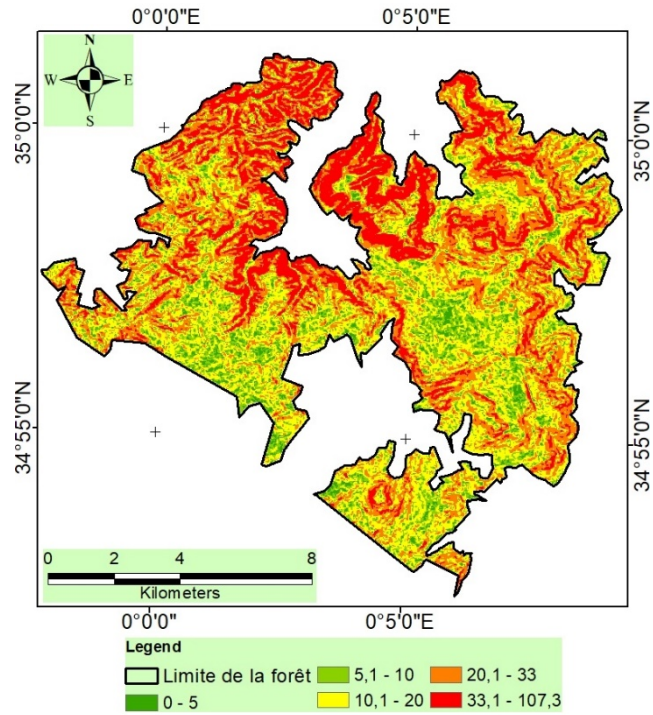


Figure 9: Carte des pentes de la forêt de Tafrent

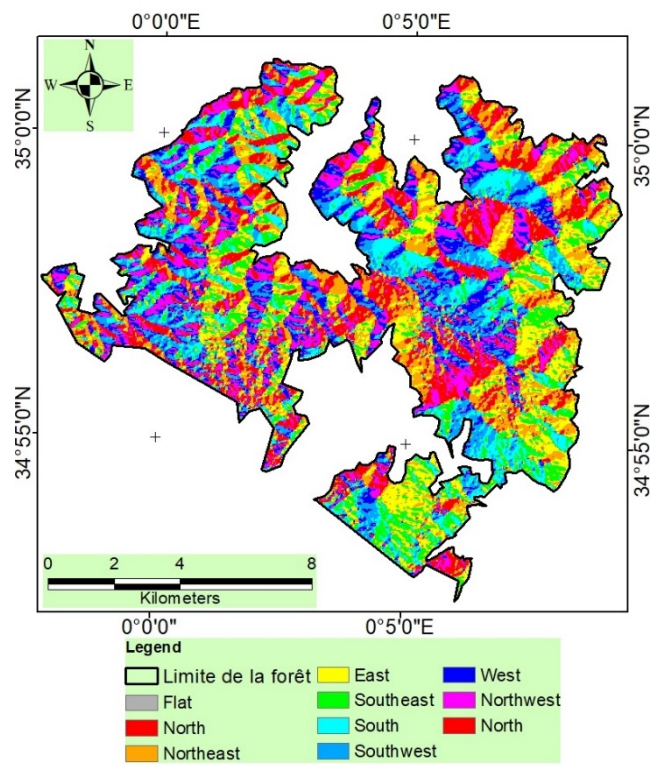


Figure 10: Carte des expositions de la forêt de Tafrent

La forêt de Tefrent est située dans les monts Saïda, orientés de sud-ouest vers le nord-est, faisant partie de l'Atlas Tellien,

Les altitudes sont élevées (1000 m en moyenne) et déclinent progressivement des sommets à la base ; les dénivelées sont en moyenne de l'ordre de 500 m.

II.2.2. Hydrographie

La zone d'étude est caractérisée par un réseau hydrographique très dense parmi les principaux Oueds on peut citer :

- Oued Saïda : alimenté par un réseau d'affluents (Oued Toubba, Oued Nezreg, Tafrent)
- Oued Ben Ehnine situé dans la partie Ouest, il se confond avec Oued Berbour.

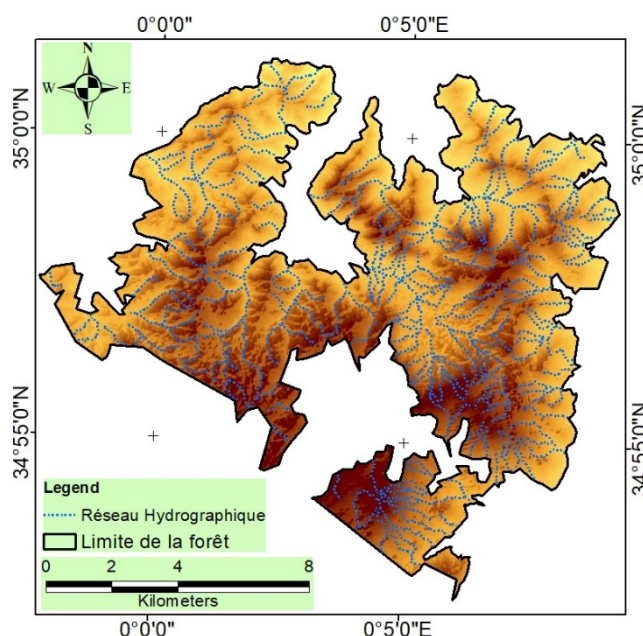


Figure 11: Carte du réseau de drainage de la forêt de Tefrent

II.2.3. Géologie

La carte géologique établie par (SATEC, 1976), montre que les grands djebels de la zone d'étude (forêt domaniale de Tafrent) ont des versants sur grés massif de Franchetti (Lusitanien), lesquels comportent des intercalations de formations carbonatées indifférenciées, Argilo gréseux (Callovo oxfordien) et de Quaternaire.

II.2.4. Pédologie

Les types de sols sont : des sols peu évolués, sols brun calcaires, rendzines, fersiallitiques, calcomagnésiques, et des sols isohumiques marron

II.2.4.1. Sols fersiallitiques :

Ces sols peuvent se former sur substrat (calcaire, grés, schistes...). Nous les trouvons en montagne et suivant le degré de rubéfaction, ils sont bruns, soit rouge. (HADJADJ-AOUEL, 1995 in BENABDELLAH, 2007).

Les sols bruns fersiallitiques:se sont des sols forestiers caractéristiques des régions Méditerranéennes humides. Leur rubéfaction correspond à une phase plus chaude à végétation sclérophylle, et a donné les sols rouges fersiallitiques ou « terra rosa » (DAHMANI, 1997)

Les sols rouges fersiallitiques « terra rosa » : il s'agit d'un paléosol. C'est une argile de décalcification sur affleurements calcaires des régions Méditerranéennes. Elle a subi une décarbonatation par lessivage et une rubéfaction des sels de fer par déshydratation plus ou moins complète. (DUCHAUFOR, 1983).

II.2.4.2. Les sols calcimagnésiques :

C'est un sol du type calcimagnésique humifère ou sol carbonaté généralement c'est des Rendzines, développés sur roches calcaires.

Les sols calcimagnésiques sont très riches en Ca^{2+} et/ou Mg^{2+} , on peut aussi distinguer les sols bruns calcaire sur substrat calcaire et les sols bruns calciques rencontrés sur grés, peu calcaire et schiste.

II.2.4.3. Les sols peu évolués :

Ces sols sont généralement formés par l'action de l'érosion sur versant de fortes pentes. DAHMANI (1997), a distingué les sols squelettiques (lithosols) rencontrés en amont des zones d'ablation où subsiste une couche peu épaisse de sol inférieur ou égale à 10cm sur roche dure, mise à nue aux

endroits les plus pentus et à végétation clairsemée. Sur roche tendre, ce sont des régosols

II.3. Occupation du sol

Selon BNEDER, les formations forestières occupent 17% de la surface répartie entre jeunes et vieilles futaies de pin d'Alep.

Les recrues représentent 40% de pin d'Alep à l'état pur, en mélange au thuya et aux vieilles futaies.

Les reboisements effectués, très importants, occupent plus de 28% de la surface avec des maquis dégradés et des parcours (15%).

Tableau 6:Répartition des formations forestières par commune (BNEDER, 1992)

Commune	Superficie (ha)	Foret Dens e	Foret Claire	Maquis Denses	Maquis Clair	Reboisement	Repeuplement
Sidi Boubekeur	23797	-	596	135	1758	536	420
Sidi Amar	15825	40	1446	612	2987	196	650
Ouled Khaled	18696	-	82	-	2251	399	120
Total	58318	40	2124	747	6996	1131	1190

II.4. La richesse faunistique:

Selon BNEDER (1992), les espèces existantes au niveau du périmètre d'étude sont très diversifiées et abondantes.

II.4.1. Mammifères :

- **Gazelle:** est présenté dans la forêt de Tafrent, cet animal est rare et doit faire l'objet d'importantes mesures de protection.

- **Sanglier** : il très fréquent dans le forêt, l'organisation de nombreuses battues à permis de limiter son extension, ainsi que le Lapin qui est très répandu et occasionnait de nombreux dégâts dans les reboisements, le Lièvre, le Chacal, le Renard, la Mangouste.

II.4.2. Oiseaux :

Ont peut citer parmi les oiseaux les plus répandus dans la foret : Pigeon colombin, Caille de blé, Perdrix gumbra, Guêpier, Huppe faxiée, Pic vert, Chardonneret élégant, Serin ciné, Tourterelle, Outarde houbara, Ganga.

Les rapaces :Busard cendré, Buse féroce, Milan royal, Faucon pèlerin, Corbeau. Ainsi que des reptiles et des insectes tel que : Les Serpent, Lézard, Scorpion, papillon, criquet marocain, la chenille.

II.5. Infrastructures forestières :

La forêt domaniale de Tafrent est traversée par le chemin de Wilaya (CWN° 01), sur 29km, au fond de la forêt, reliant la commune de Sidi Boubekeur à Ouled Khaled (Rebahia)

Tableau 7:Les infrastructures forestières par commune (BNEDER, 1992)

Commune	Pistes	Travaux des Piste Forestière	Maisons forestières	Poste vigie
Sidi Boubekeur	38	-	-	-
Sidi Amar	50	160	-	1
Ouled Khaled	40	40	1	1

II.5.1. Piste :

Selon ASSOUL (1989), les normes théoriques en montagnes sont : 1.7km de piste pour 100 ha de forêt. Dans notre foret la densité théorique et de 208km pour 12228 ha. Selon la Circonscription des forêts de Sidi Boubekeur (2009), la densité réelle est 73km

II.5.2. Tranchées pare-feux:

Selon ASSOUL (1989), les normes théoriques sont : 2ha des tranchées pare-feux pour 100ha de forêt, la densité théorique dans notre cas est de 245 ha. La densité réelle : néant.

II.5.3. Postes de vigie:

La forêt doit disposer des postes de vigie qui domine largement les massifs forestiers de par sa situation géographique (sommets de crêtes). Les postes doivent être bien équipés pour assurer pleinement la surveillance

Tableau 8: Les infrastructures forestières par commune (Circonscription des forêts de Sidi Boubekeur, 2009)

Infrastructure	Localisation	Cordonnées
Poste de vigie N°1 (Ameur 1)	Tiberguemt (Ouled Khaled)	N : 34°54'07.3" E : 00°04'32.6"
Poste de vigie N°1 (Ameur 2)	Tafidount (Sidi Amar)	N : 34°58'15.9" E : 00°06'32.6"
Maison forestière	Ain Foulette	N : 34°54'57.8 E : 00°05'41.6"

II.6. Climat de la zone d'étude

Le climat de l'Algérie a fait l'objet de nombreuses études analytiques et synthétiques, notamment par Seltzer, 1946 ; Bagnouls et Gausson, 1953 ; Emberger, 1939; Stewart, 1975; Bottner, 1981; Le Houerou, 1995. Tous ces auteurs s'accordent à reconnaître l'intégration du climat algérien au climat méditerranéen, caractérisé par une saison sèche et chaude coïncidant avec la saison estivale, et une saison froide et pluvieuse qui coïncide avec la saison hivernale. En Algérie, cette pluviométrie peut être soumise à l'orographie et aux influences maritimes. En effet, tous les auteurs qui ont étudié la pluviométrie en Algérie ont montré que la

répartition de la pluie subit quatre influences .Il s'agit de l'altitude, les conditions de topographie, de la longitude et enfin celle de l'éloignement de la mer.

II.6.1. Pluviométrie

La pluviosité est le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat. En effet, cette dernière conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal (DJEBAÏLI, 1978). L'altitude, la longitude et la latitude sont les principaux gradients définissant la variation de la pluviosité. En effet, la quantité de pluie diminue du Nord au Sud, de l'Est à l'Ouest et devient importante au niveau des montagnes (CHAABANE, 1993). Les zones recevant plus de 400 mm sont considérées comme semi-arides, subhumides ou humides (EMBERGER, 1930) selon l'importance des précipitations. Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat (Le HOUEROU et *al*, 1977). Il convient de signaler que l'origine de pluie en Algérie est orographique. Cependant la tranche pluviométrique à l'ouest est atténuée à celle de l'est du pays et ceci à cause de l'existence d'obstacle topographique, tels que la Sierra Nevada espagnole et l'Atlas marocain.

D'après L'exploitation des données climatiques de la station météorologique de Rebahia (Wilaya de Saïda), on note que :

Dans la zone d'étude, la répartition mensuelle de la pluviométrie montre que les mois les plus humides, en hiver et au printemps, renferment plus de 70 % du total interannuel avec un maximum au mois de Décembre et Janvier (46 et 43.2 mm), et que les mois secs, moins de 30%, se situent en été avec des précipitations non significatives.

Une faible pluviosité est enregistrée durant le mois de Juillet avec une pluviométrie égale à 1.83 mm (Figure 12).

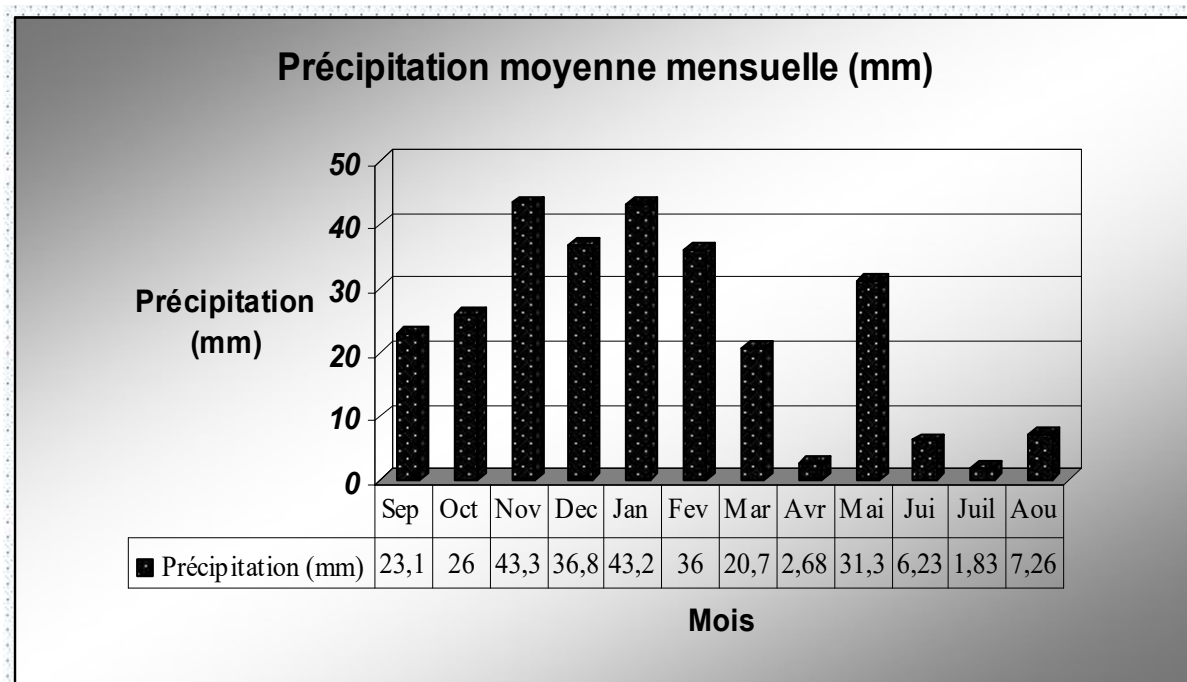


Figure 12: Précipitations mensuelles moyennes de la daïra de sidi boubkeur (1980 à 2015)(Station météorologique Rebahia - Saïda, 2017).

Statistiquement, on observe deux saisons orageuses similaires; l'automne et le printemps, relevant des quantités pluviométrique comparables (environ 56 % du total annuel). L'hiver, de Décembre à Mars, est la saison la plus pluvieuse, représentant ainsi plus de 38.5 % de précipitation annuelle, l'été représente la saison sèche pendant la quelle les précipitations sont assez rares (5 % de précipitation annuelle). Le mois d'octobre constitue le début de la saison pluviale (Tableau 09).

Pour faciliter les traitements des données climatiques, un découpage en saisons de la pluviosité annuelle est indispensable.

C'est MUSSET qui est le premier à avoir défini cette notion. Elle consiste à calculer la somme des précipitations par saison et à effectuer les classements des stations par ordre de pluviosité décroissant en désignant chaque saison par l'initiale P, H, E et A, désignant respectivement Printemps, Hiver, Eté et Automne.

$$\text{Crs} = \frac{\sum (P_{sx4})}{P_a}$$

où Ps : précipitations saisonnières.
 Pa : précipitation annuelles.
 Crs : coefficient relatif saisonnier de **Musset**.

Tableau 9:Répartition saisonnière des précipitations la daïra de sidi boubkeur (1980-2015) (Station météorologique, 2017).

Saison	Automne		Hiver		Printemps		Été		Total
	P (mm)	%	P (mm)	%	P (mm)	%	P (mm)	%	
Valeur	93.19	31	115.79	38.5	76.67	25.5	15.32	5	300

Ce tableau montre aussi que le régime pluvieux de la région est de type HAPE (Figure 13).

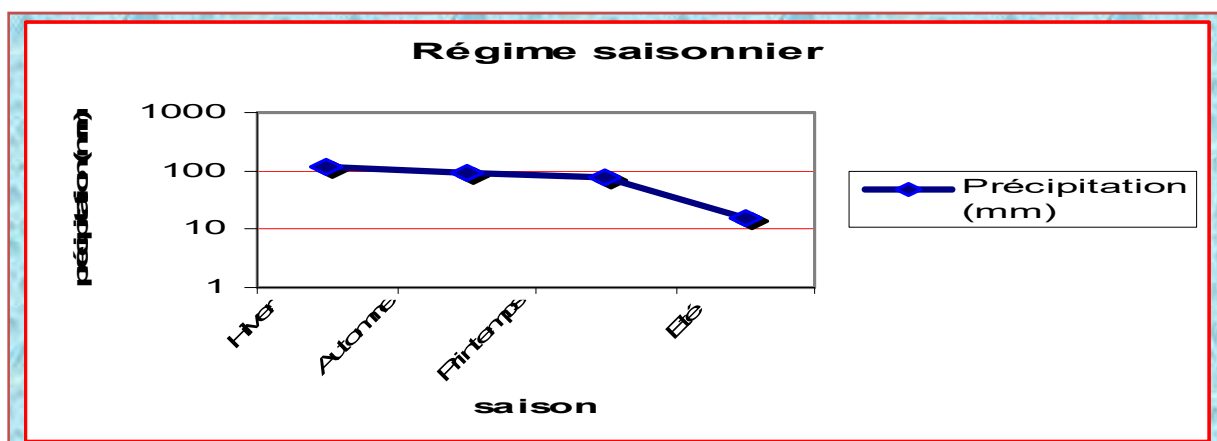


Figure 13:Régime saisonnier de la zone d'étude (1980-2005).

II.6.2. Les températures

La température est un facteur écologique fondamental et un élément vital pour les formations végétales, le facteur climatique a été défini par (PEGUY, 1970) comme une qualité de l'atmosphère et non une grandeur physique mesurable. L'une de nos préoccupations est de montrer l'importance des fluctuations thermiques dans l'installation et l'adaptation des espèces dans la région. La caractérisation de la température en un lieu

donné se fait généralement à partir de la connaissance des variables suivantes :

- Température moyenne mensuelle « T ».
- Température maximale « M ».
- Température minimale « m ».

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de Juillet et Août, où elles atteignent un maximum de 35.7 °C en moyenne, ce qui correspond à une forte évaporation. Les basses températures se manifestent au mois de février avec une température moyenne de 9.1°C et une minimale moyenne de 2.9 °C (figure 14 et tableau 10).

La figure 14 représentée les variations mensuelles de Température sur 25 ans de la région :

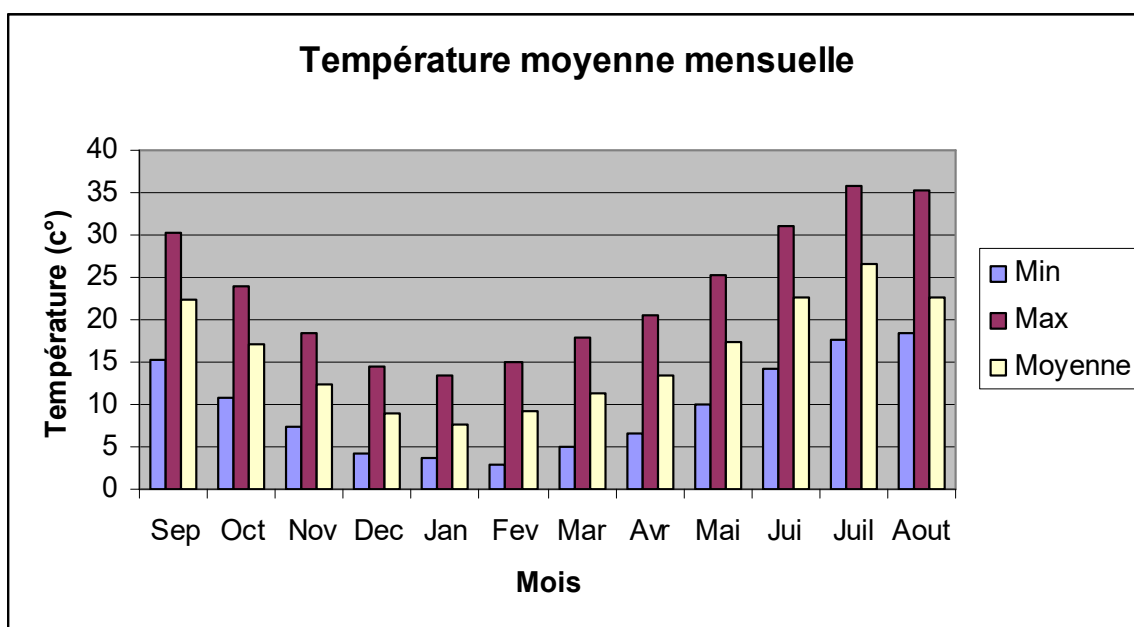


Figure 14: Température moyenne mensuelle daïra de sidi boubkeur(1980-2015).

Cette figure représente les variations mensuelles moyennes de la température. Elle montre une décroissance des températures entre le mois de Septembre jusqu'à Janvier, suivie d'une croissance jusqu'au mois d'Août.

On peut distinguer deux grandes périodes :

- Période froide allant du mois du novembre jusqu'au mois de mars est caractérisée par un minimum absolu de température de 7.56°C, au mois de janvier ;

- Périodes chaudes avec un maximum absolu correspondant à la période allant du mois de Juillet jusqu'au mois d'Août.

Tableau 10:Classification des mois (période 1980-2015) (Station météorologique, 2017).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
P (mm)	23.06	26.0	43.33	36.75	43.20	36.01	20.71	2.68	31.28	6.23	1.83	7.26
T (°C)	22.77	17.68	12.58	9.28	7.56	8.97	10.84	12.30	17.25	24.40	2.90	28.01
2T (°C)	45.54	35.36	25.16	18.56	15.12	17.94	21.68	24.60	34.70	48.80	55.80	56.02
3T (°C)	68.31	53.04	37.74	27.84	22.68	26.91	32.52	36.60	52.05	73.20	83.70	84.03
Classe	S	S	H	H	H	H	S	SS	S	S	S	S

$P \leq 2T$: Mois sec (S), $2T < P \leq 3T$: Mois sub-sec (SS), $P > 3T$: Mois humide (H).

Ce tableau nous montre que la zone est caractérisée par 4 mois humides, un mois sub sec et 7 mois sec.

II.6.3. L'évapotranspiration (ETP)

Elle est définie comme étant la valeur maximale possible de l'évaporation dans des conditions climatiques données. Elle résulte de deux phénomènes l'un physique : l'évaporation, l'autre biologique : la transpiration. L'évapotranspiration potentielle estimée selon la formule de Penman est de 160mm/an (Station météorologique, 2015).

II.6.4. Évaporation

L'évaporation la plus élevée est enregistrée durant les mois de Juillet et Août où elles atteignent un maximum de 300 mm lorsque la température est très élevée (Figure 15).

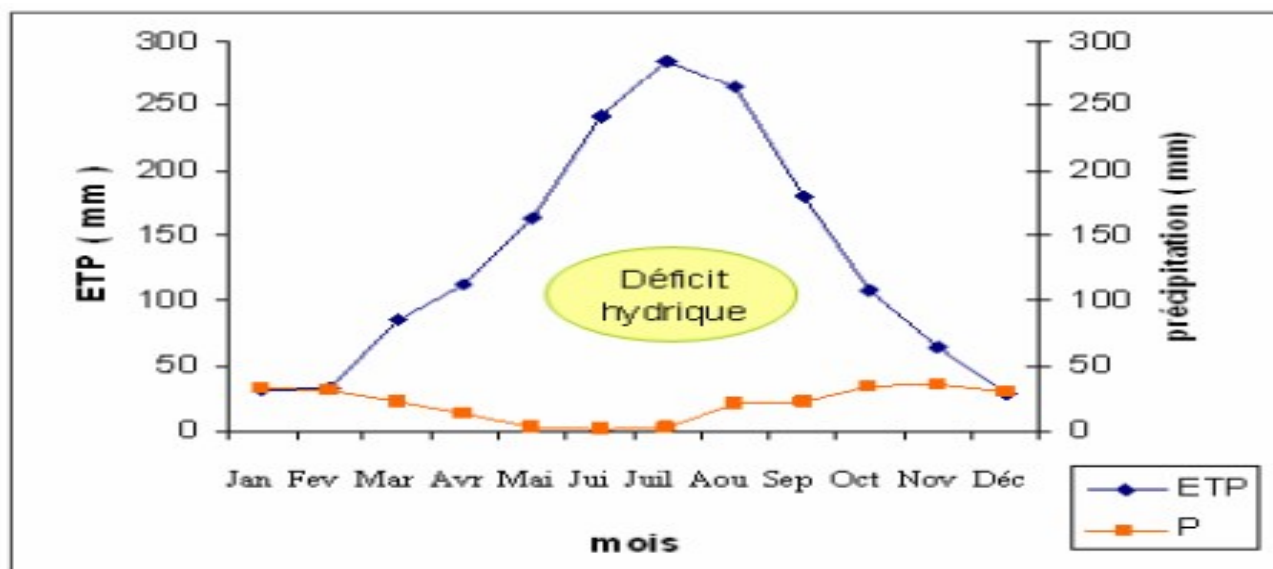


Figure 15: Variation de L'évaporation en fonction des mois (l'évaporation moyenne mensuelle de la station) (1980-2015) (Station météorologique, 2017).

II.6.5. Le vent

fréquents durant toute l'année sauf en été où ils sont substitués par les vents desséchants ou sirocco du Sud et même du Sud-ouest. Le taux de fréquence global varie de 57% à 68% pour la zone d'étude. Le vent chaud et sec Sirocco est aussi défavorable à la végétation de la région d'étude. Il est plus fréquent à l'Est (30j/an) qu'à l'Ouest (15j/an) de notre région. Lorsqu'il souffle au moment où la végétation est en pleine activité, Le vent est l'un des principaux facteurs régissant le façonnement des dunes et la répartition du couvert végétal en déracinant les plantes annuelles, modifiant la morphologie des végétaux et influant sur la répartition des graines lors de leur dissémination. Les vents d'Ouest et Nord-Ouest sont chargés de pluie et sont les plus cause des dégâts plus ou moins importants notamment sur les plantes jeunes (échaudage).

Tableau 11: Direction et types des vents saisonniers de la région la daïra de sidi boubkeur (1980-2015) (Station météorologique, 2017).

Direction	Période	Température	Caractéristique
Nord-Ouest	Automne – Hiver	Moyen 9 C°	Averses
Sud-ouest	Printemps - Été	Moyen 20 C°	Siroco
O-N-Ouest	Printemps	Moyen 18 C°	Averses
NE-NO	Hiver - Printemps	Moyen 13 C°	Pluies

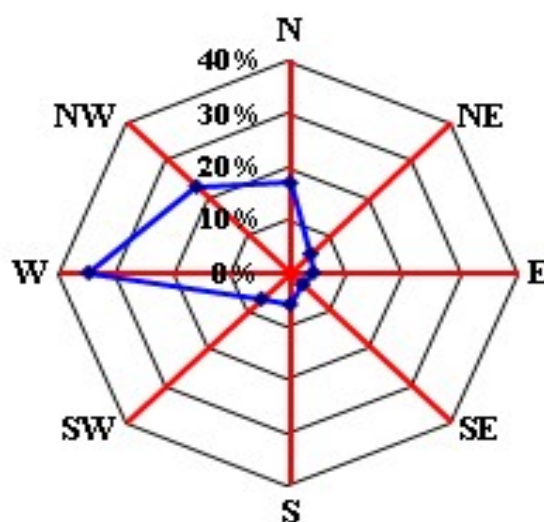


Figure 16: Rose du vent de la zone d'étude (1980-2015) (Station météorologique, 2017).

II.6.6. Synthèse climatique

La synthèse bioclimatique met en évidence les différentes caractéristiques du

climat qui permettent de délimiter les étages de végétation.

Ces étages peuvent aussi être classés en fonction des précipitations ou de la température.

Nous retiendrons :

II.6.6.1. Indice d'aridité de DEMARTONNE

Après avoir analysé les différents éléments du climat, on peut donner une classification de la région de Saida, par l'indice d'aridité annuelle (Ia) de DE MARTONNE (1923) qui est donnée par la formule suivante :

$$Ia = \frac{P}{T + 10}$$

Où :

Ia : Indice d'aridité.

P : Précipitation moyenne annuelle (P=300 mm).

T : Température moyenne annuelle (T=17.86 C°).

Où :

Indice d'Aridité de la zone d'étude = 11.20

L'indice baisse lorsque l'aridité croit (LE HOUEROU, 2004). L'indice d'aridité annuel de MARTONNE définit six zones climatiques en fonction des précipitations moyennes et des températures moyennes. Ces zones sont :

A : zone à écoulement abondant.

B : zone à écoulement exoréique.

C : zone tempérée.

D : zone semi-aride.

E : zone désertique.

F : Hyper aride.

En projetant la valeur de l'indice d'aridité obtenu ($I_a = 11.20$) et la valeur des précipitations moyenne annuelle sur l'abaque de DE MARTONNE (Figure 29) nous pouvons en conclure que le climat de la région est du type semi-aride.

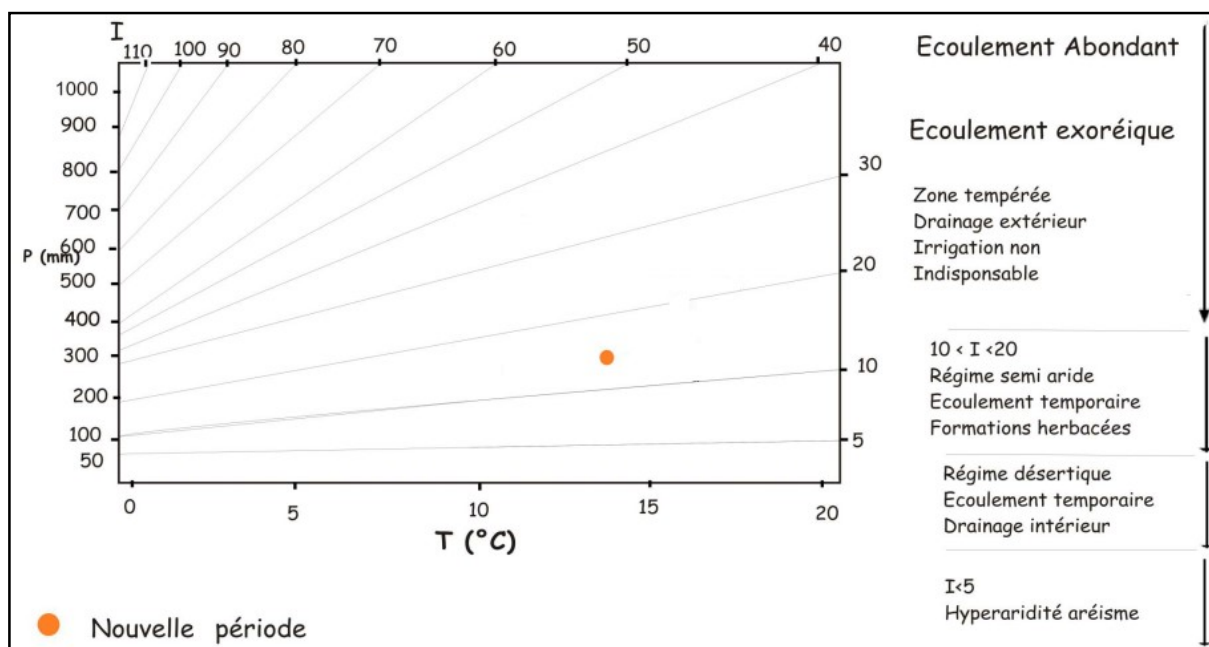


Figure 17: Détermination du climat à partir de l'abaque DE MARTONNE la daïra de sidi boubkeur(1980-2015).

II.6.6.2. Quotient pluviothermique d'EMBERGER

L'indice pluviothermique d'EMBERGER appelé (Q_2) est ainsi formulé :

$$Q_2 = (2000 P) / M^2 - m^2$$

Avec :

Q_2 : Quotient pluviothermique.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

M : Température moyenne mensuelle du mois le plus chaud exprimée en degrés Kelvin.

m : Température moyenne mensuelle du mois le plus froid exprimée en degrés Kelvin.

M-m : Amplitude thermique extrême moyenne.

La valeur du quotient pluviométrique varie en fonction inverse du caractère xérique du milieu. Plus la sécheresse annuelle globale est grande, moins la valeur du quotient est élevée.

Quand :

$50 < Q_2 < 100$: Climat tempéré ;

$25 < Q_2 < 50$: Climat semi-aride ;

$10 < Q_2 < 25$: Climat aride ;

$10 < Q_2$: Climat désertique.

$$Q_2 = (2000 * 357) / 95295.69 - 76618.24$$

$$Q_2 = 38.22$$

En reportant la valeur de Q_2 (38.22) et de m (2.9 c°) sur le climagramme d'EMBERGER (Tableau 05 et Figure 30).

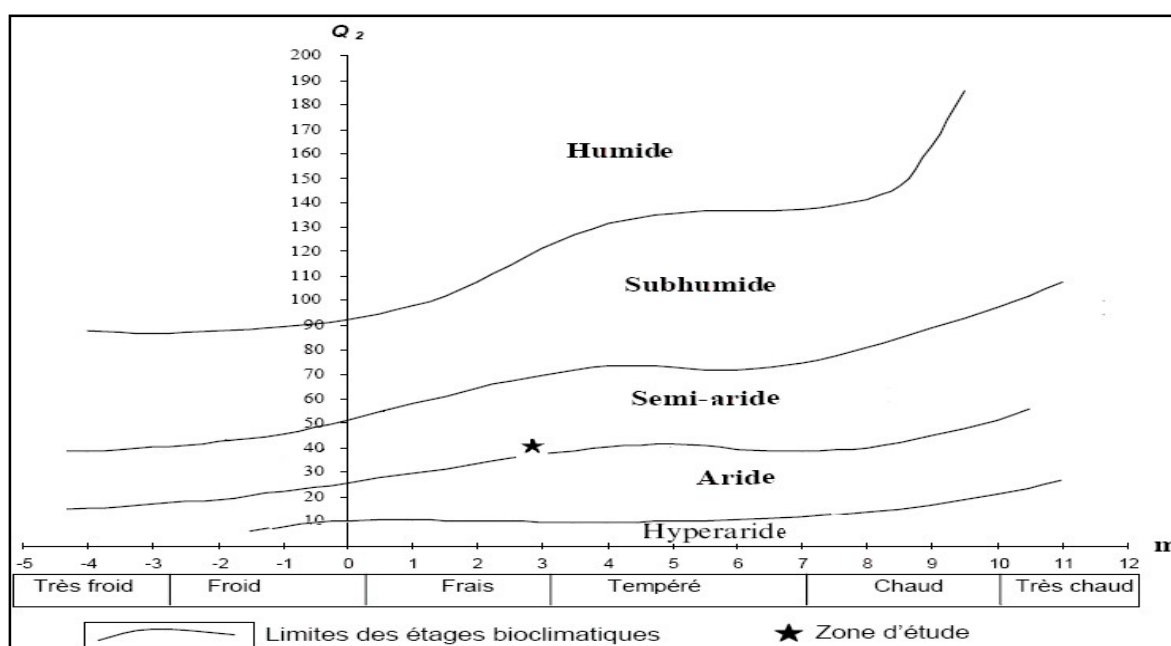


Figure 18: Position de la zone d'étude sur le climagramme d'EMBERGER

II.6.6.3. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS

Les éléments climatiques n'agissent jamais indépendamment les uns des autres. Dans la synthèse climatique, parmi les formules les plus utilisées qui combinent entre les précipitations et les températures.

Nous retiendrons le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN(1953), qui exprime la durée de la période sèche de l'année, et l'indice pluviothermique d'EMBERGER qui demeure l'indice le plus efficace dans la description du climat méditerranéen.

BAGNOULS et GAUSSEN(1953), définissent la saison sèche comme étant : « l'ensemble des mois où le total mensuel des précipitations exprimé en millimètre est inférieur ou égal au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degrés centigrades ($P \leq 2T$). ».

Le diagramme ombrothermique de la station climatique de Saida entre 1980 et 2015 (Figure 33) montre que le climat est de type méditerranéen avec une période de sécheresse longue, qui s'étale sur 6 mois, allant du début du mois de Mai jusqu'à la fin du mois d'Octobre.

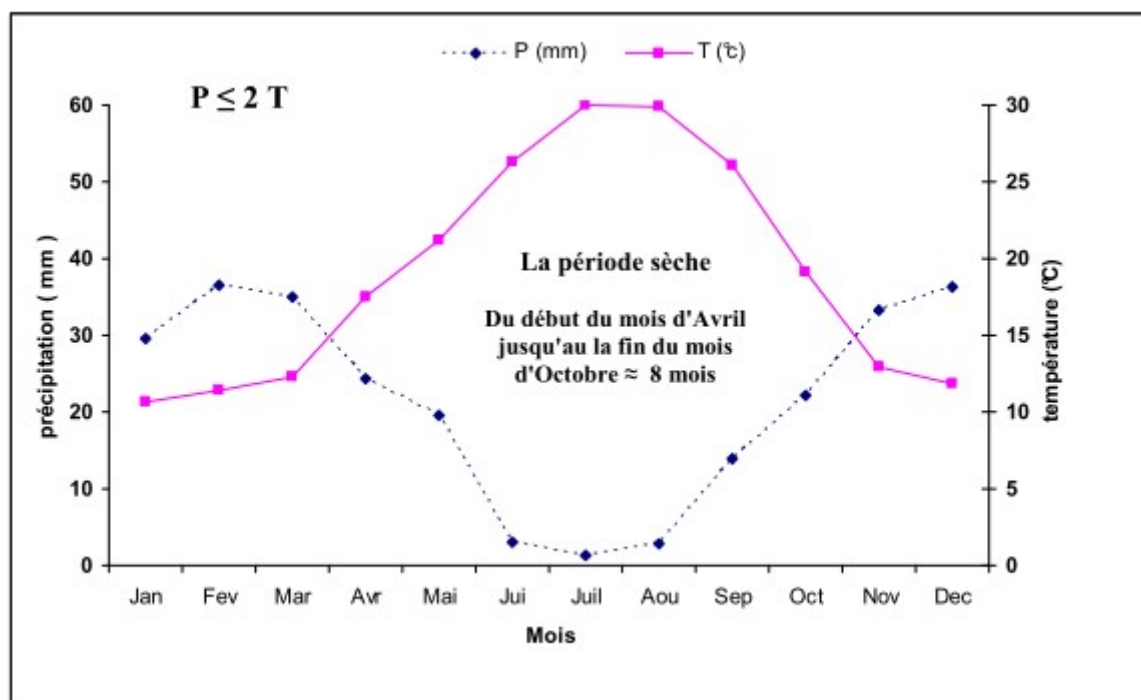


Figure 19: Diagramme ombrothermique de la zone d'étude (1980,2015).

II.6.6.4. Classification des ambiances bioclimatiques en fonction de "T" et "m"

La température moyenne annuelle "T" est utilisée par RIVAS-MARTINEZ (1981) avec la température moyenne des minima comme critère de définition des étages de végétation.

Thermo-méditerranéen : $T > 16^{\circ}\text{C}$ et $m > +3^{\circ}\text{C}$

Méso-méditerranéen : $12^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C}$ et $0^{\circ}\text{C} < m < +3^{\circ}\text{C}$

Supra-méditerranéen : $8^{\circ}\text{C} < T < 12^{\circ}\text{C}$ et $-32^{\circ}\text{C} < m < 0^{\circ}\text{C}$

DAHMANI (1996) confirme que l'Algérie occidentale dans son ensemble correspond au seuil proposé par (RIVAS-MARTINEZ , 1982-1994) excepté la valeur du " $m > 3$ " au thermo-méditerranéen.

Dans notre cas, la zone d'étude occupe le thermo-méditerranéen

II.7. Bilan des incendies de la forêt de Tafrent

Selon la conservation des forêts de la wilaya de Saïda (2022), la forêt de Tafrent a enregistré 73 incendies durant la période de 2012-2022 ; le tableau suivant illustre les statistique d'incendie par commune et par strate :

qui sont des feux la broussaille. Elle est la plus généralement touchée par les incendies en 2000, 2004, 2006 jusqu'à l'été 2016 où les trois grandes années d'incendies pendant la période de (2000-2020) sont 70 ha (26/08/2015 - 30/08/2014); 60 ha (24/10/2016); 40 ha (10/08/2020 - 12/08/2020). L'année 2015 a été la plus catastrophique en incendie détruisant 70 ha du couvert végétal dont 60 ha de pin d'Alep. Pendant 3 jours de sinistre, il est à signaler que les résineux ont été complètement ravagés par les feux. D'autres part les feuillus ont été les moins touchés par l'incendie et ils ont repris de l'allure très vite. Le pin d'Alep a régénéré par germination des graines aux premières pluies. Le Thuya a connu une régénération par souche et beaucoup d'autres espèces ont régénéré facilement.

Tableau 12:Dates d'incendies et superficies brulées de la forêt de Tafrent durant la période 2012-2022 (circonscription des forêts de Sidi Boubkeur)

ANNEE	COMMUNE	FORET	LIEU DIT	SUPERFICIE INCENDIEE				
				FORET	MAQUIS	BROUS	ALFA	TOTAL
2012	Ouled Khaled	TAFRENT	Ain Zerga	-	-	10	10	20
	SidiBoubekour		Lekhtem	8	5	2	-	15
	SidiBoubekour		Tefrent		-	1	-	1
	Sidi Amar		Tefrent		3	4	-	7
	Ouled Khaled		El ouaaaiatTefrent S/U	4	2	-	-	6
	Sidi Amar		Tefrent	1	-	-	-	1
	SidiBoubekour		kachioua	-	-	9	-	9
	SidiBoubekour	TAFRENT	kachioua	0,25	-	-	-	0,25
			sidimerzoug	50	-	120	-	170
			Lakhtem	-	1,5			1,5
Zeraoune			50	100	-	-	150	
2013	Ouled Khaled	TAFRENT	Hamamrabi	-	-	0,5	-	0,5
	Ouled Khaled	TAFRENT	Ouaaiaa	0,5	-	-	-	0,5
	SidiBoubekour		Bled leboukh	-	-	-	4	4
	Ouled khaled		Tafrent	0,5	-	-	-	0,5

CHAPITRE III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

	Sidi Amar		DAALILL	-	2,5	-	-	2,5	
	Ouled khaled		Sonic	-	-	1,5	-	1,5	
	Ouled Khaled	TAFRENT	Ouaaiaa	1	-	-	-	1	
	Ouled Khaled		Aamri				0,5	0,5	
	Ouled Khaled		El waawia	0,5				0,5	
	SidiBoubekour		bouzerdel	2			2	4	
	Sidi Amar		DjbelNejaa		0,25			0,25	
	Ouled Khaled		Houadir	1				1	
	SidiBoubekour		Lakhtem				0,5	0,5	
	SidiBoubekour		Beheirahamrasidimerzoug	6	8			14	
	Ouled Khaled		Djbel Salem	1				1	
	SidiBoubekour		DjbelZaatout		3			3	
2014	SidiBoubekour		TAFRENT	SidiCheikh	-	-	-	3	3
	SidiBoubekour			Ras El Mai	-	5	3	-	8
	Sidi Amar	DouarLhdaidia		-	3	-	-	3	
	Ouled Khaled	Tarfrent		10	-	-	20	30	
	SidiBoubekour	Dghalile		-	15	-		15	
	Ouled Khaled	Teberguemt		2	3	-	-	5	
	SidiBoubekour	lLakhtem		4	-	-		4	
	Ouled Khaled	Kechaoua		5	5	-		10	
	Ouled Khaled	Tberguemt		0,25	-	-		0,25	
	Ouled Khaled	O.Zaid		1				1	
	Ouled Khaled	Tiberguemt		2	3	-		5	
	Sidi Amar	Bouhamar		8	-	-	3	11	
	SidiBoubekour	Diefel		4	-	-		4	
	Ouled Khaled	Teberguemt		1,5	-	-		1,5	
Ouled Khaled	A.Foulette	4	-	-		4			
2015	SidiBoubekour	TAFRENT	DjebalBousaleh	2,5				2,5	
	Sidi Amar	TAFRENT	BehairaHamra		80	20	130	230	
	SidiBoubekour		DJ Chahboune	20	185	15	180	400	
	Ouled Khaled		Ain Foulette	0,75				0,75	
	Ouled Khaled		Ain Foulette	0,5				0,5	
SidiBoubekour	TAFRENT	Djefal	4	4			8		
2016	SidiBoubekour	TAFRENT	Dghalil	-	0,5	-		0,5	
	SidiBoubekour		Tazorta		2			2	
	Ouled Khaled		Tafrent	0,5				0,5	
	Ouled Khaled		TIZGDELT	0,5			0,5	1	
	Sidi Amar		Dealile	4	2			6	

CHAPITRE III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

	Sidi Amar		DJ Bouatrousse		4			4	
	SidiBoubekkeur	TAFRENT	DJ Djefal				2	2	
	Ouled Khaled		Ouaouie		3			3	
	Sidi Amar		Djefal	1				1	
	Ouled Khaled		Ouaouie		0,25			0,25	
	SidiBoubekkeur		DjBousalah			0,5		0,5	
2017	Sidi Amar	TAFRENT	OUAMRIA	0,5			1,5	2	
2018	OULED KHALED	TAFRENT	OULED AICHA		5			5	
	OULED KHALED		SIDI ALI	3		2		5	
	sidiboubkeur		HAMAR BERAHALL	5	25	6	6	42	
2019	OULED KHALED	TAFRENT	DJ KERDAD	1		0,5	1	2,5	
	SIDI AMAR		DJ KACHAOUA	1,2				1,2	
	SIDI AMAR		AOUAMRIA		0,1			0,1	
	OULED KHALED		AIN ZARGUA		2			2	
	SIDI AMAR	TAFRENT	DJ TOUZALA		1,5			1,5	
	OULED KHALED		KHAROUAA	0,5				0,5	
	OULED KHALED		GHERAITE DJ DJEFEL				1	0,7	1,7
	OULED KHALED		AIN ZERGUA OULED AICHA		0,5				0,5
2020	OULED KHALED	TAFRENT	OULED SIDI ALI			0,018	0,002	0,02	
	SIDI AMAR		SIDI BOUAZZA	0,25	0,25			0,5	
2021	SidiBoubekkeur	TAFRENT	SidiMerzoug		38			38	

A partir du graphique suivant, nous avons choisi les quatre années (2014, 2015, 2018 et 2021) qui représentent la plus grande superficie d'incendies enregistrés au cours des dix dernières années (figure 20)

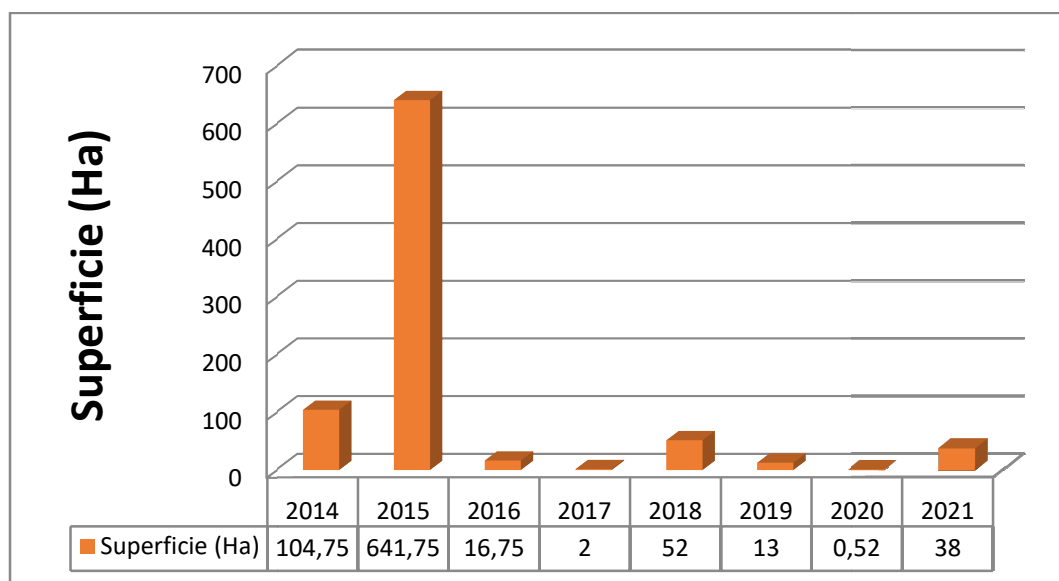


Figure 20: Répartition des surfaces incendiées les dix dernières années dans la forêt de tafrent

CHAPITRE IV. MATERIEL ET METHODES

IV.1. Objectif du travail:

Cette étude est réalisée dans le but d'estimer la reprise de la végétation après un passage du feu au sein de la forêt de Tafrent. Cette dernière a subi quatre (04) grands incendies ces dix (10) dernières années (à savoir 2014, 2015, 2018 et 2021), cependant, une évaluation spatio-temporelle de la reprise de la végétation est réalisée selon le degré de sévérité. Pour se faire, une cartographie des zones incendiées avec degrés de sévérité et celle de la reprise de la végétation sont établies par l'utilisation des outils de la télédétection et des SIG.

IV.2. Matériels utilisés :

IV.2.1. Données satellitaires :

Depuis 2008, lorsque le United States Geological Survey (USGS) a commencé à fournir des images satellite dans un format cohérent, facile à utiliser et gratuit, il a alimenté une croissance rapide de la recherche et des applications scientifiques (Wulder et al., 2012).

Dans le cadre de nos travaux, nous avons utilisé des images Landsat8 OLI des incendies de 2014 et des images multi spectrales des incendies de 2015, 2018 et 2021. L'imagerie Landsat8 (30 m) considérées comme utiles pour l'observation et la surveillance des ressources terrestres. Puisqu'il n'y a pas de limite de coût au nombre d'images et que toutes les images peuvent être acquises dans une zone donnée, une série de méthodes et d'applications ont émergé qui permettent de plus en plus l'observation directe. Processus de changement majeurs à grande échelle spatiale intéressant les écologistes, les agronomes et les forestiers (Kennedy et al., 2012).

Ci-après le tableau décrivant les caractéristiques des satellites Landsat-8

Tableau 13:Caractéristiques des satellites Landsat-8

Satellite	Bande	Résolution spatiale	Etendu	Répétitivité
Landsat 8	Pan	15m	170km x 185 km	16 jours
	B, V, R, PIR, MIR, IRT	30m		
	IRT	60m		

Dans le cadre de ce travail Nous avons téléchargé, à partir de earthexplorer.usgs.gov, les scènes Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) couvrant notre zone d'étude (Path / Row:197/036) et compte tenu de la présence de nuages, nous avons sélectionné deux images avant et après l'incendie de 2014 sans nuage. Mêmes opérations effectuées pour, les images sélectionnées selon les incendies de 2015, 2018 et 2021 Une dernière image du 22/04/2022 est téléchargée pour l'évaluation de la reprise de végétation. (tab. 14).

Tableau 14:Les caractéristiques des images satellitaires utilisées.

Date d'image	Capteur d'image
Incendie de l'été 2014	
08-07-2014	Landsat OLI 8
25-08-2014	Landsat OLI 8
Incendie de l'été 2015	
15-05-2015	Landsat OLI 8
15-10-2015	Landsat OLI 8
Incendie de l'été 2018	
24-06-2018	Landsat OLI 8
08-11-2018	Landsat OLI 8

Incendie de l'été 2021	
17-02-2021	Landsat OLI 8
11-07-2021	Landsat OLI 8

IV.2.2. Outils logiciel

Dans le cadre de ce travail et vu la démarche envisagée, on a choisi les logiciels ENVI et ARCGIS; ENVI Pour le traitement des images satellitaires et ArcGis pour l'analyse spatiale et la mise en page cartographique

IV.2.2.1. Le logiciel ArcGis:

ArcGis reste incontestablement le logiciel de cartographie de référence, permettant la création de cartes de sévérité des incendies depuis de nombreuses années (2014-2015-2018-2021). Résolvez des problèmes, accomplissez des tâches, augmentez votre efficacité, prenez de meilleures décisions, communiquez, visualisez et comprenez des informations géographiques. Pour ce faire, les utilisateurs utilisent ArcGIS Desktop pour effectuer une gamme de tâches SIG des plus simples aux plus avancées. (Darrab et al., 2017), (Tir-elhadj, 2015)

IV.2.2.2. Le logiciel ENVI

ENVI (Environment for Visualization) est un logiciel de lecture et de traitement d'images satellitaires (Tir-elhadj, 2015). Il fournit une très bonne visualisation et analyse des données pour des images de tailles et de formats différents. (Darrab et al. 2017).

Dans son approche de traitement d'image, il combine des techniques (basées sur les fichiers) et (basées sur les bandes) avec des fonctions interactives. Lors de l'ouverture d'un fichier image, chaque bande est stockée dans une liste, qui peut ensuite être manipulée par toutes les fonctions du système. Si plusieurs fichiers sont ouverts en même temps, vous pouvez choisir les bandes à traiter.

ENVI contient toutes les fonctions de base pour le traitement d'images. Comme des outils d'analyse spectrale, de transformation de données, de filtrage, de classification et de correction géométrique. ENVI ne limite pas le nombre de bandes spectrales à traiter.

Dans l'ensemble, le logiciel dispose essentiellement de tous les outils nécessaires aux différentes disciplines de traitement d'images et permet à chacun de mettre en œuvre sa propre stratégie d'analyse. (Darrab et al. 2017).

IV.3. Approche méthodologique

L'organigramme suivant décrit le processus de cartographie des zones brûlées et de la régénération de la végétation à l'aide de techniques de télédétection et d'outils SIG : (organigramme général)

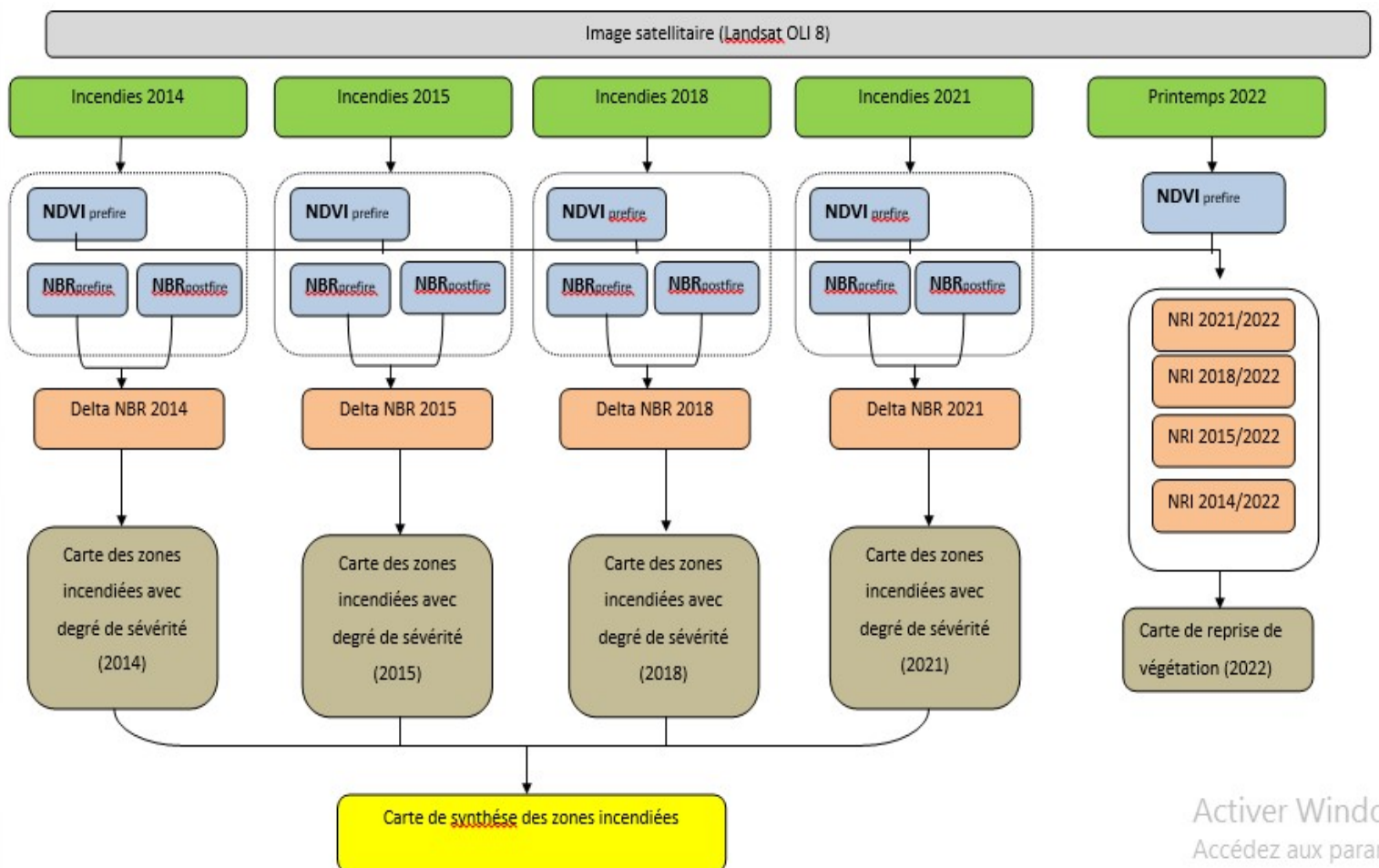


Figure 21: approche méthodologique pour la réalisation des cartes thématiques

Pour chaque date, c'est-à-dire (2014, 2015, 2018 et 2021), nous avons

Calculé un indice de combustion normalisé (NBR) post-incendie et avant-incendie, ce qui nous a permis de réaliser une carte des zones d'incendies avec leur degré de sévérité pour chacune des années.

L'utilisation de l'outil SIG nous permet d'obtenir une carte de synthèse des zones brûlées de la forêt de Tafrent par la superposition des 04 (quatre) date.

Pour cartographier la régénération de la végétation dans notre zone d'étude, l'indice de régénération NRI a été utilisé, qui compare l'indice de végétation NDVI pour l'année en cours (2022) par rapport à l'état de la végétation avant le feu par le calcul de l'indice de végétation avant les feux de 2014, 2015, 2018 et 2020. En superposant les quatre (04) cartes, nous avons généré une carte de régénération de 2022.

IV.4. Calcul du NBR :

L'indice de combustion normalisé (NBR) est un indice conçu pour mettre en évidence les zones de combustion dans une grande zone d'incendie. La formule est similaire au NDVI, sauf qu'elle combine l'utilisation des longueurs d'onde du proche infrarouge (PIR) et du moyen infrarouge (MIR). Une végétation saine a une réflectivité très élevée dans le NIR et une faible réflectivité dans le moyen IR (Figure 21) (Source : U.S. Forest Service)

– Contrairement à la situation dans les zones endommagées par le feu. Les zones récemment brûlées ont montré une faible réflectance en PIR et une réflectance élevée en MIR, c'est-à-dire que la différence entre la réponse spectrale de la végétation saine et la zone brûlée a culminé dans les zones NIR et MIR du spectre.

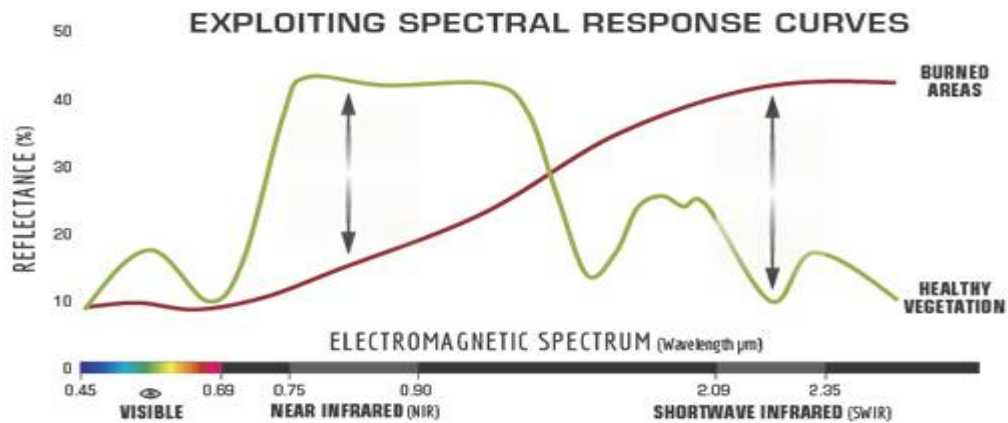


Figure 22: Comparaison de la réponse spectrale de la végétation saine et des zones brûlées (Service des forêts des États-Unis)

Pour bénéficier de l'amplitude des différences spectrales, NBR utilise le rapport entre les bandes MIR et PIR selon la formule suivante. Des valeurs NBR élevées indiquent une végétation saine, tandis que des valeurs faibles indiquent un sol nu et des zones récemment brûlées. La zone non brûlée se voit généralement attribuer une valeur proche de zéro.

$$NBR = \frac{PIR - MIR}{PIR + MIR}$$

PIR : bande 5 (Proche Infra-Rouge) du capteur Landsat,

MIR : bande 7 (Moyen Infra-Rouge) du capteur Landsat,

La différence entre le NBR pré-incendie et post-incendie obtenu à partir des images est utilisée pour calculer le delta NBR (dNBR ou ΔNBR), qui peut ensuite être utilisé pour estimer la gravité (sévérité de la brûlure). Des valeurs dNBR plus élevées indiquent plus de dégâts, tandis que les zones avec des valeurs dNBR négatives peuvent indiquer une repousse après un incendie. La formule utilisée pour calculer le dNBR est la suivante

$$dNBR \text{ ou } \Delta NBR = NBR(\text{avant incendie}) - NBR(\text{après incendie})$$

L'United States Geological Survey (USGS) a proposé un tableau de classification pour interpréter les degrés de sévérité, que l'on peut voir ci-dessous (tab 15).

Tableau 15: Degrés de sévérité obtenus en calculant le dNBR, proposés par l'USGS

Severity level	dNBR Range(scaled by10 ³)	dNBR Range (not scaled)
EnhanceRegrowth,high (post-fire)	-500 a -251	-0.500 a -0.251
Enhanced Regrowth,low (postfire)	-250 a -101	-0.250 a -0.101
Unburned	-100 a +99	-0.100 a +0.99
Low severity	+270 a +439	+0.100 a +0.269
Moderate-low severity	+440 a +659	+0.270 a +0.439
Midrate-high severity	+440 a +659	+0.440 a +0.65
High severity	+660 a +1300	+0.660 a +1.300

IV.5. Calcul de NDVI :

Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est un indice qui fournit une estimation de la "verdure" d'une forêt, dérivée de l'analyse de données satellitaires. (Menezes-Tovar, 2011). Cet indice peut être utilisé efficacement pendant la saison de croissance des plantes à forte activité chlorophyllienne. (Rouse et al., 1974). Il est sensible à la vitalité et à la quantité de végétation. (Darrab et al. 2017).

Le NDVI est le rapport entre la différence des réflectances des canaux PIR et R à leur somme (Brun, 2004).

Il est donné par la formulation suivante :

$$\text{NDVI} = \frac{\text{PIR} - \text{R}}{\text{PIR} + \text{R}}$$

PIR : Proche-infra-rouge.

R : Le rouge.

Les valeurs NDVI sont comprises entre -1 et +1, avec des valeurs négatives correspondant à des surfaces autres que le couvert végétal, comme la neige, l'eau ou les nuages, où la magnétorésistance du rouge est supérieure

à celle du proche infrarouge. Pour un sol nu, la magnétorésistance pour la lumière rouge et proche infrarouge est à peu près du même ordre de grandeur, de sorte que le NDVI présente une valeur proche de 0.

La flore, en revanche, a des valeurs NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. La valeur la plus élevée correspond à la couverture la plus dense. (Seller, 1985) dans (Arfa et al., 2019).

IV.6. Calcul du NRI:

Le NRI (Normalized Régénération Index) est un indicateur dérivé du NDVI, appelé Régénération Index (IR) ou Normalized Regeneration Index. (Riano et al., 2001)

L'indice NRI est utilisé pour quantifier les changements de la végétation dans les zones brûlées, en tenant compte des conditions avant le feu. (Mathilde Caspard et al. 2015)

Il utilise explicitement la combinaison entre le NDVI avant et après incendies, Il est donné par la formulation suivante :

$$\text{NRI} = \frac{2\text{NDVI}(\text{après feu})}{\text{NDVI}(\text{avant feu}) + \text{NDVI}(\text{après feu})}$$

Avec :

NDVI (avant feu) : indice normalisé après feu

NDVI (après feu) : indice normalisé avant le feu

Théoriquement, l'IRN montre si la chlorophylle de la végétation est revenue à son état d'origine (Chabaane et al., 2005)

Une valeur de 0 indique une récupération après feu nulle et ne fournit aucune indication sur l'état de la végétation avant feu.

L'indice NRI varie entre 0 et 1; une valeur de 1 indique que le taux de récupération de la végétation après un feu est égal à celui de l'état avant feu (S Mokhtari, 2018)

Si la valeur NRI est supérieure à 1, la végétation post-incendie a une teneur en chlorophylle plus élevée que la végétation pré-incendie. (Chabaane et al. 2005)

**CHAPITRE V.
RESULTATS ET
DISCUSSION**

Dans cette étude, on a exploré l'état de la couverture végétale dans l'ensemble de la forêt de Tafrent en général et spécifiquement dans les zones parcourues par les grands incendies, et qui estiment par son rôle le degré de sévérité. Pour cela, nous avons réalisé des cartes thématiques d'indice NBR, ainsi que l'indice NRI à partir d'indice de végétation NDVI.

IV.1. Cartes des zones incendiées et de leur degré de sévérité

IV.1.1. Carte d'incendie de Tafrent (2014).

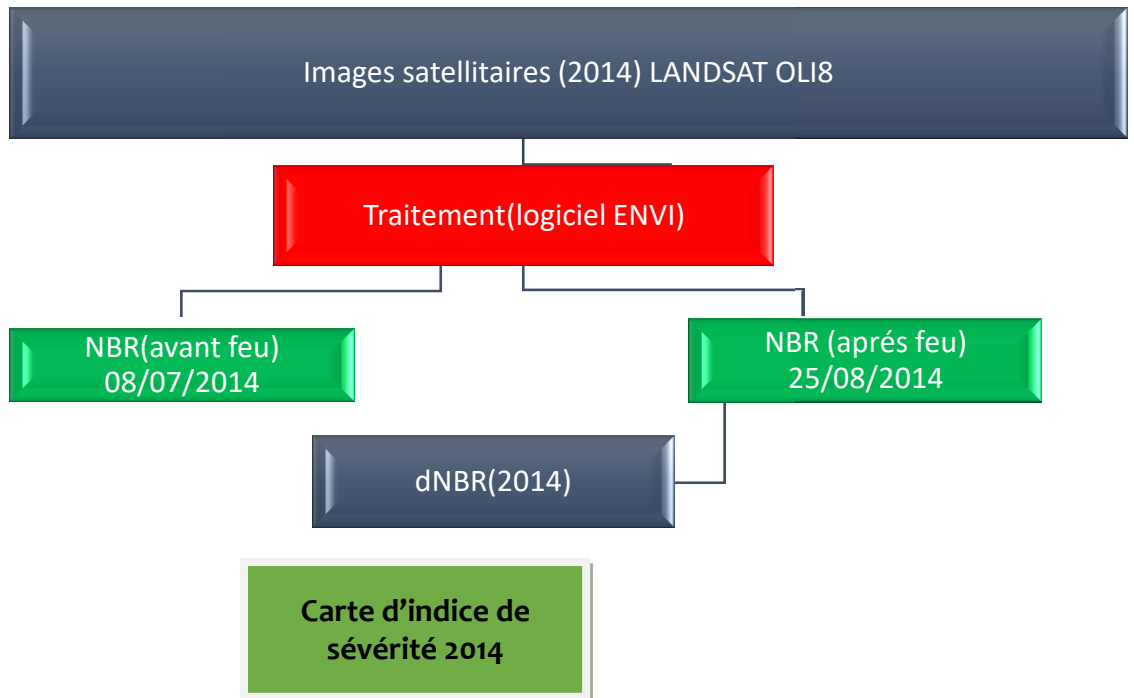


Figure 23: Organigramme pour la réalisation de carte de sévérité (2014).

Nous avons utilisé les fonctionnalités du logiciel ENVI étape par étape pour collecter et exploiter l'information de l'imagerie satellitaire pris par LANDSAT OLI8. Ensuite, Le formule présenté plus haut Offre la possibilité de calculer l'indice NBR (avant incendie à savoir le 08/07/2014 et après incendie le 25/08/2014, pour estimer la sévérité de l'incendie. Le résultat c'est une carte qui représentée degré de sévérité de l'incendie 2014 qui suit :

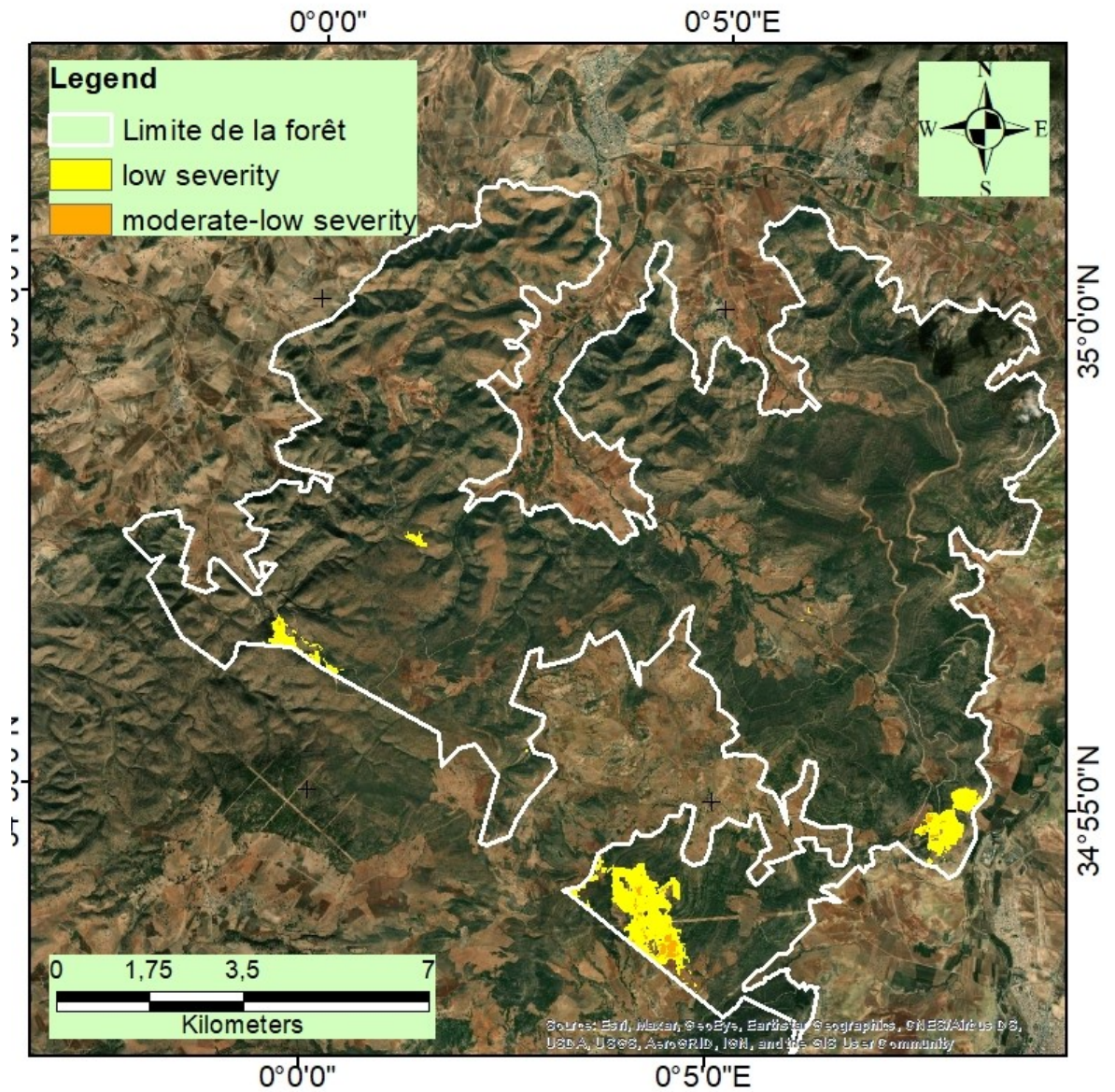


Figure 24: Carte de degré d e sévérité de l'incendie 2014 (tafrent)

Les résultats obtenus par la carte d'incendies 2014 montre que :

L'incendie 2014 affecte des grandes superficies cependant, générant une intensité faible à moyenne pour la majorité de la surface, tandis que une très petite surface apparaît avec une sévérité moyennement élevée, selon la légende de la carte on note que (la couleur jaune représente une sévérité faible, et la couleur orange pour une sévérité moyennement élevée).

IV.1.2. Carte d'incendie de tafrent(2015).

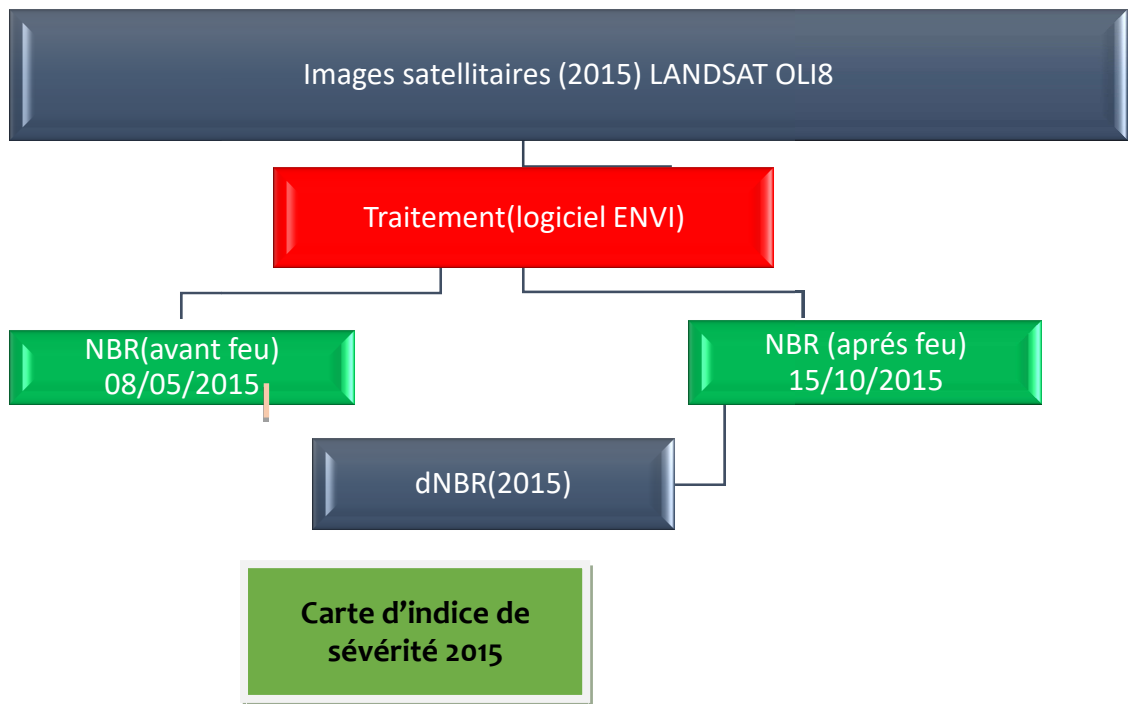


Figure 25: Organigramme pour la réalisation de carte de sévérité (2015).

les fonctionnalités du logiciel ENVI nous a permis de collecter et exploiter l'information des images satellitaires capturées par le satellite landsat8, et avec la même formulation cité au-dessus, on a effectué le traitement d'indice NBR pour deux dates différentes le 08/05/2016 qui représente la période avant incendie, et le 15/10/2015 qui représente la date après incendie. Le logiciel fournit un résultat sous forme d'une carte de degrés de sévérité de l'incendie 2015 qui suit :

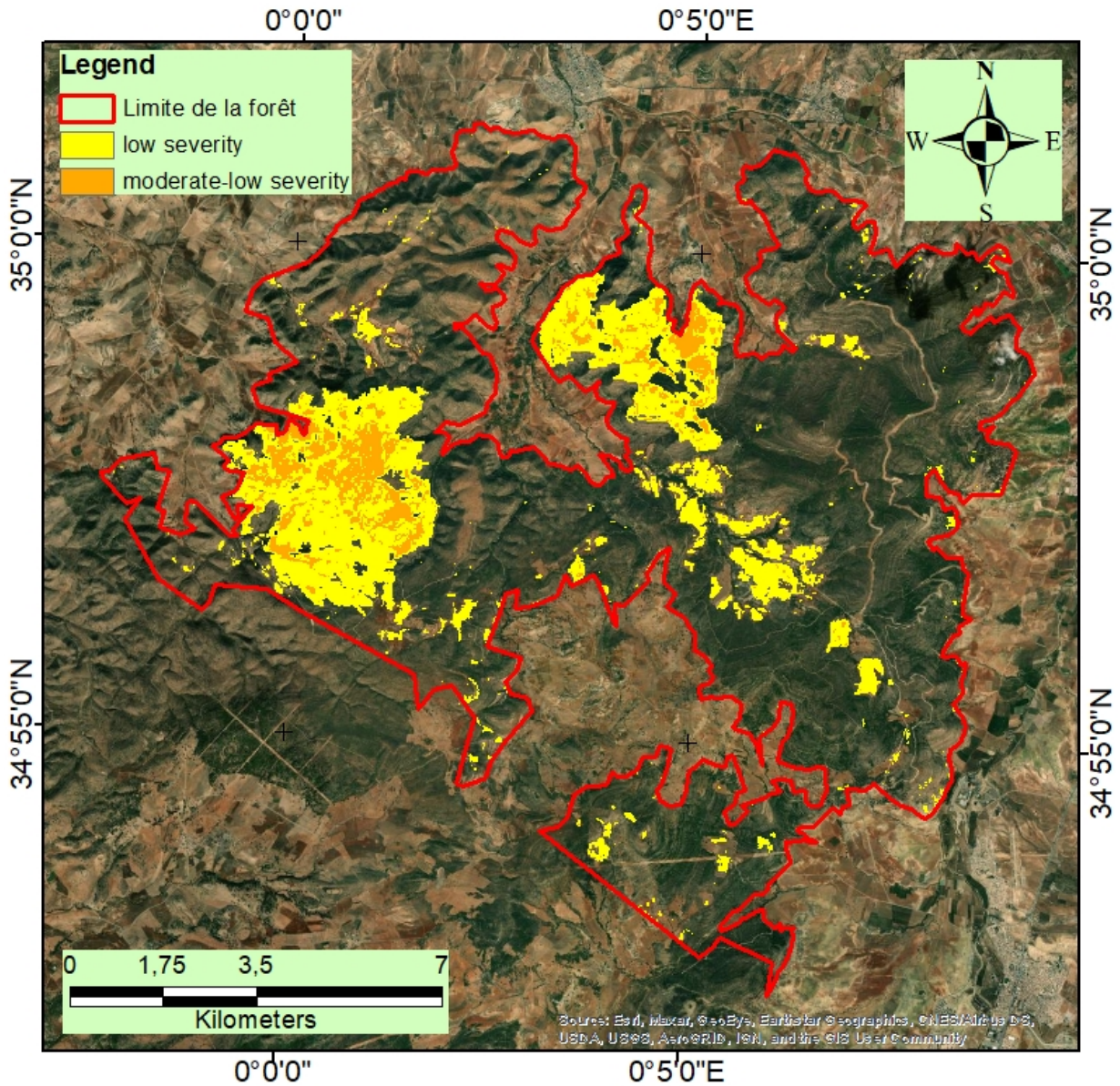


Figure 26: Carte de degré de sévérité de l'incendie 2015 (tafrent)

Les résultats obtenues par la carte d'incendies 2015 montre que :

L'incendie 2015 affecte des grandes superficies cependant, générant une intensité faible a moyenne pour la majorité de la surface, tandis que une très petite surface apparait avec une sévérité moyennement élevée, selon la

légende de la carte on note que (la couleur jaune représente une sévérité faible, et la couleur orange pour une sévérité moyennement élevée).

IV.1.3. Carte d'incendie de tafrent (2018)

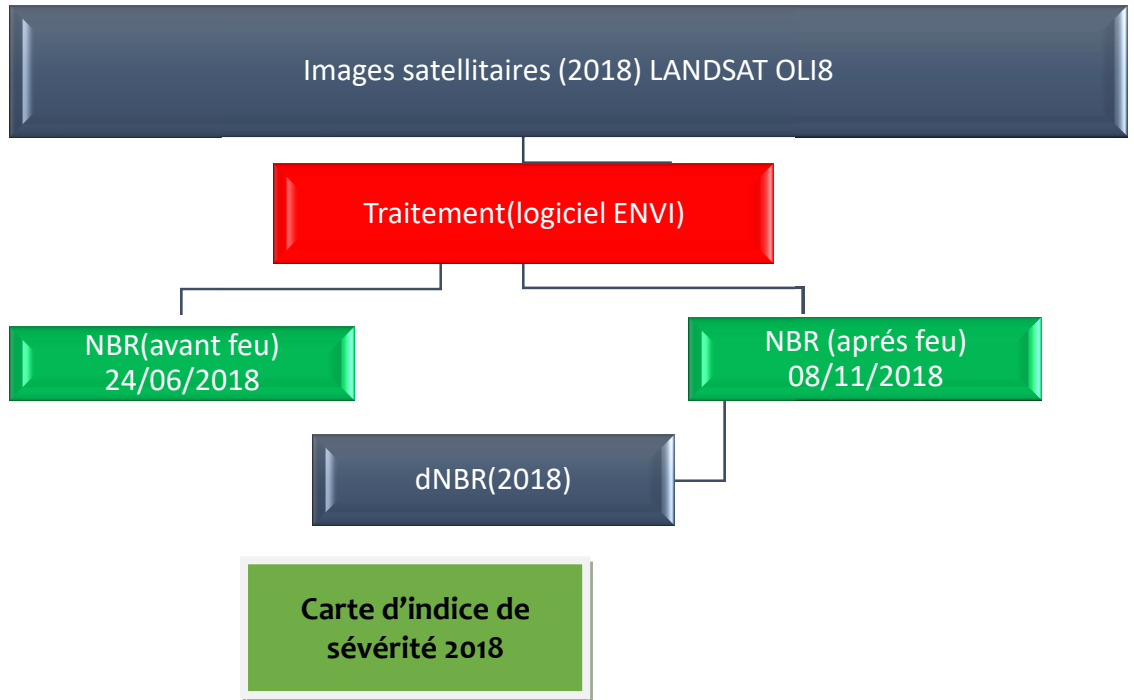


Figure 27: Organigramme pour la réalisation de carte de sévérité (2018).

L'utilisation de logiciel ENVI, nous a permis d'exploité et collecté les informations des imageries satellitaires extrait par le satellite landsat8, et de calculé des valeurs de l'indice NBR (avant et après incendie), pour la date 24/06/2018 qui représente l'état avant incendie 2018 et le 08/11/2018 qui représente la date après incendie. Le résultat c'est une carte de degrés de sévérité de l'incendie 2018 qui suit :

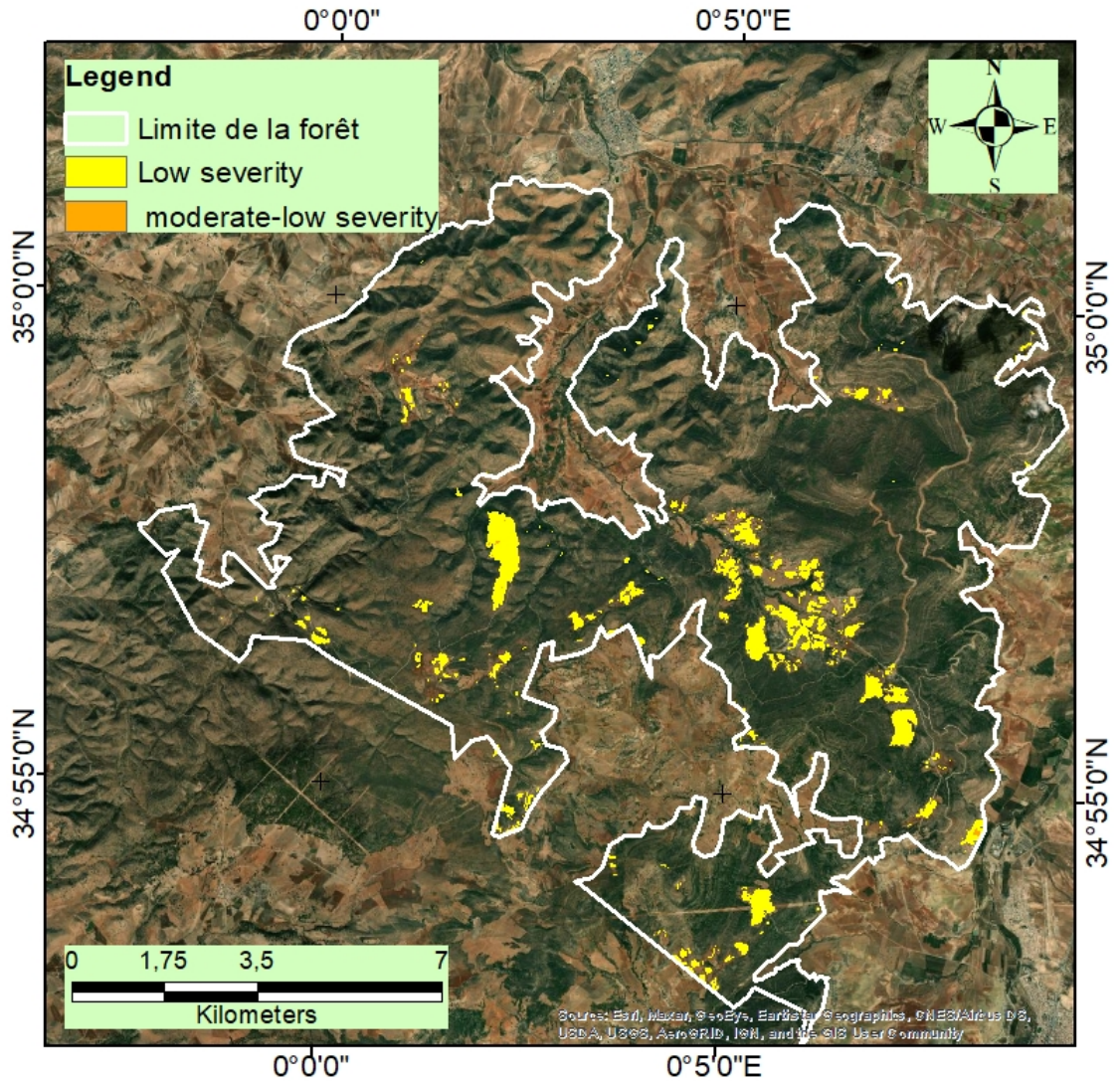


Figure 28: Carte de degré de sévérité de l'incendie 2018 (tafrent)

Notre carte obtenue montre que :

D'après l'observation de la carte qui représente la sévérité de l'incendie de l'année 2018, on peut dire que L'incendie détruit des petites surfaces dans la forêt de tafrent avec un taux de sévérité élevé sur la majorité de la superficie, d'après la légende de la carte (la couleur jaune représente une

sévérité faible sur une superficie faible, la couleur oronge représente une sévérité moyennement faible sur une superficie limitée.)

IV.1.4. Carte d'incendie de tafrent (2021).

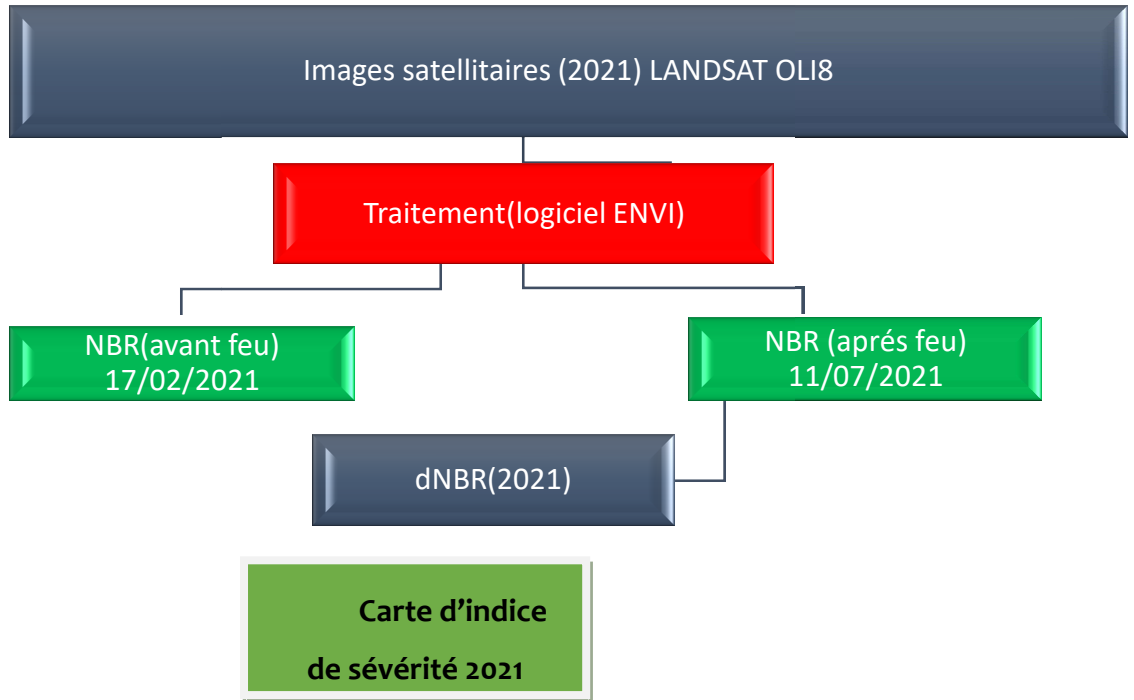


Figure 29: Organigramme pour la réalisation de carte de sévérité (2021).

L'utilisation de logiciel ENVI, nous a permette d'exploité et collecté les informations des imageries satellitaires extrait par le satellite landsato8,et de calculé des valeurs de l'indice NBR (avant et après incendie), pour la date 17/02/2021 qui représente l'état avant incendie 2021 et le 11/07/2018 qui représente la date après incendie. Le résultat c'est une carte de degrés de sévérité de l'incendie 2021 qui suit :

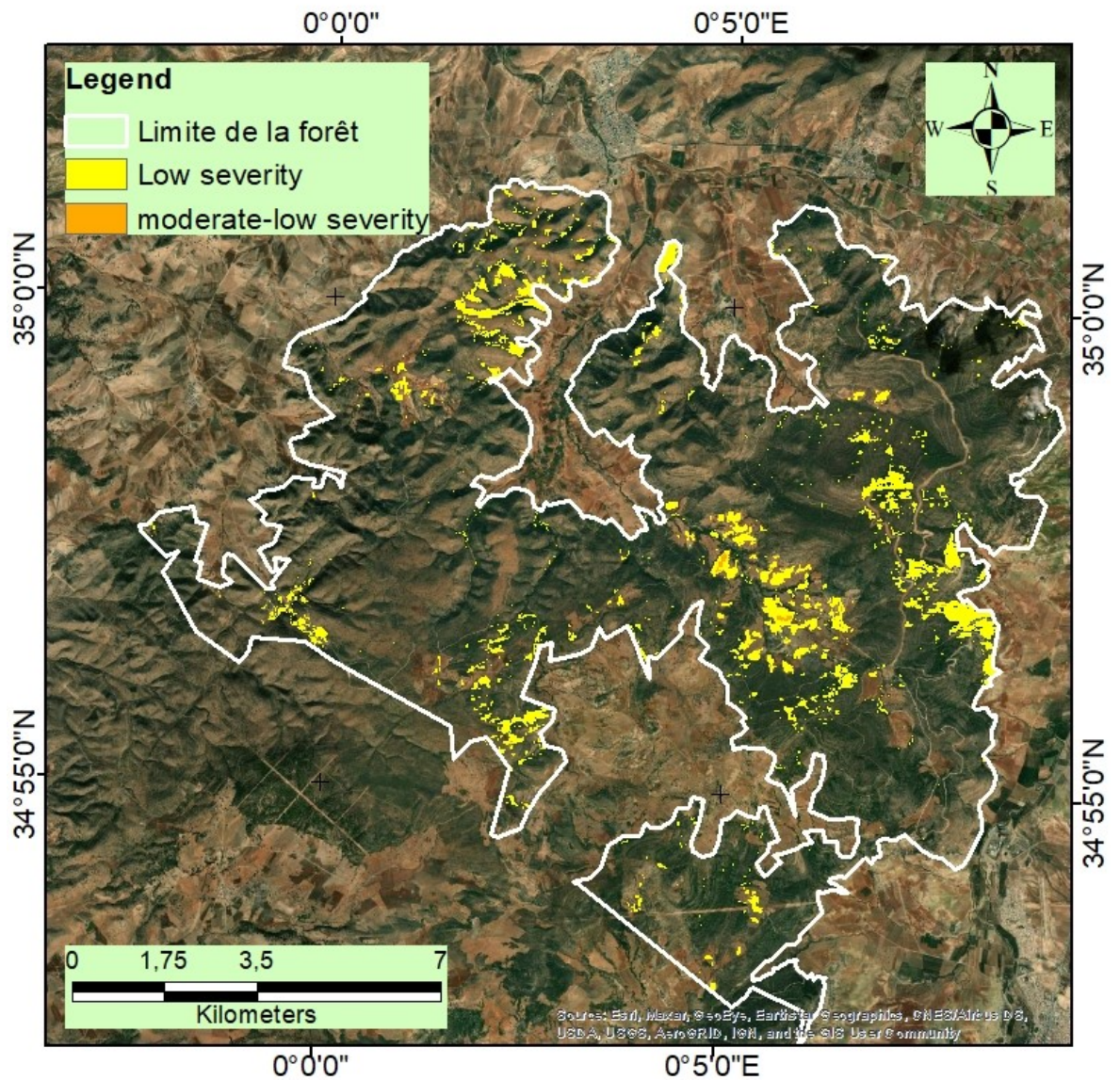


Figure 30: Carte de degré de sévérité de l'incendie 2021(tafrent)

Notre carte obtenue montre que :

D'après l'observation de la carte qui représente la sévérité de l'incendie de l'année 2021, on peut dire que L'incendie détruit des petites surfaces dans la forêt de tafrent avec un taux de sévérité élevé sur la majorité de la superficie, d'après la légende de la carte (la couleur jaune représente une sévérité faible sur une superficie faible, la couleur oronge représente une sévérité moyennement faible sur une superficie limitée.)

IV.2. Carte des zones incendiées 2014-2015-2018-2021 de la forêt de tafrent

La superposition des (04) quatre cartes réalisées ci-dessus, nous a permis de réaliser une carte de synthèse indiquant les zones incendiées depuis 2014 de la forêt de tafrent

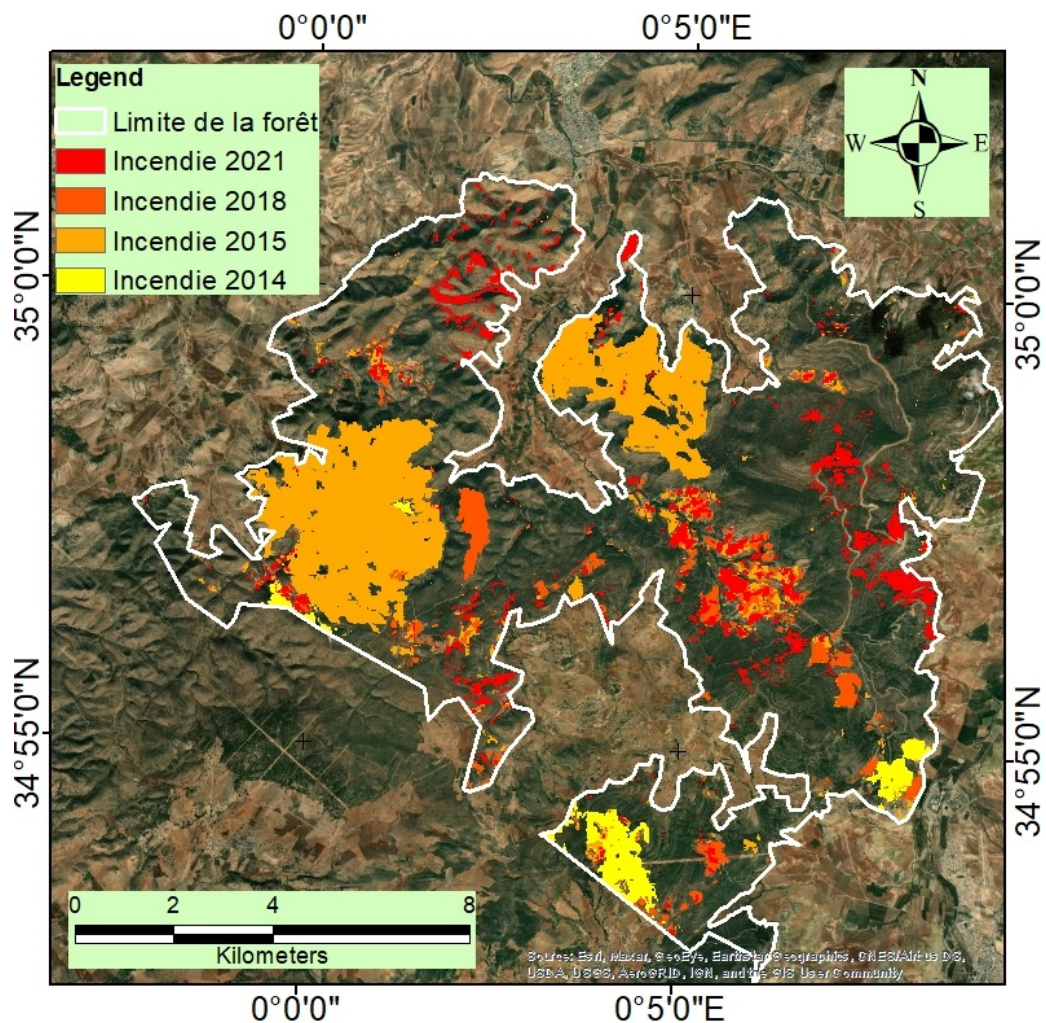


Figure 31: Carte des zones incendiées 2014-2015-2018-2021 par superposition de la forêt de tafrent

Selon la légende de la carte, qui montre (la couleur jaune pour l'incendie de 2014, le orange pour l'incendie de 2015, le rouge pour l'incendie de 2018 et le rouge brique pour l'incendie de 2021)

On remarque qu'il y a des zones qui ont été touché (02) deux fois, (03) trois fois et même (04) quatre fois par le feu des années (2014, 2015, 2018 et 2021); ceci aura un impact négatif sur la reprise de la végétation et l'évolution dans le peuplement forestier après le feu. Ces zones vont se dégrader sous l'effet d'incendie répétitif.

IV.3. Superficie des zones incendiées

Le logiciel ENVI a permis de donner, d'une façon automatique, les statistiques des surfaces incendiées selon la classification des dNBR en fonction du critère de sévérité. La superficie (ha) totale de chaque année est la somme des superficies de chaque degré de sévérité.

Les résultats des statistiques des superficies brûlées sont organisés dans le tableau suivant :

Tableau 16: Les superficies brûlées pour l'année (2014-2015-2018 et 2021).

Statistique Issus du traitement d'image satellitaire				Stat donnée par la DGF
Incendie2014				
		nbr pixel	S ha	
Lowseverity	0.11 to 0.269	10025	902,25	
Moderatelow	0.269 to 0.439	520	46,8	
Moderate High	0.439 to 0.47391	1	0,09	
Total			949,14	104,75
Incendie2015				
Lowseverity	0.1 to 0.27	18695	1682,55	
Moderatelow	0.27 to 0.44	4858	437,22	
Moderate High	0.44 to 0.66	0	0	
High severity	0.66 to 0.824278	0	0	
Total			2119,77	641,75
Incendie 2018				
Lowseverity	0.1 to 0.27	4939	444,51	
Moderatelow	0.27 to 0.44	23	2,07	
Moderate High	0.44 to 0.66	0	0	
High severity	0.66 to 0.770317	0	0	
Total			446,59	52
Incendie2021				
Lowseverity	0.1 to 0.27	7237	651,33	
Moderatelow	0.27 to 0.44	82	7,38	
Moderate High	0.44 to 0.66	0	0	
High severity	0.66 to 0.824278	0	0	
				38

Total		658,71	
-------	--	--------	--

D'après les résultats dans le tableau, la première remarque est la grande différence entre les superficies déclarées par la DGF et celle calculées par les traitements d'images satellitaires. Sachant que le rapport des incendies émis par la DGF manque de carte indiquant la répartition spatiale des zones brûlées et ce rapport ne donne aucune information sur la méthode de levé.

Les incendies de 2015 ont touché plus de superficie par rapport à celles de 2014, 2018 et 2021, d'après la DGF, c'est un feu qui a duré du 26/08/2015 au 30/08/2015 (soit 5 jours de propagation).

IV.4. Carte de reprise de la végétation

Pour le suivi de la reprise de la végétation et de la santé des paysages incendiés, le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), développé par Rouse et al. (1974), est l'indice le plus utilisé pour l'évaluation de la reprise chlorophyllienne post-incendie.

D'autres indices, généralement dérivés du NDVI, ont également été exploités dans le même objectif ou la régénération est mesurée en comparant les indices pré- et post-incendie. À cet effet, l'indice de régénération normalisée (NRI : Normalized Regeneration Index) a été dérivé du NDVI.

$$NRI = 2 * NDVI_{postfire} / (NDVI_{prefire} + NDVI_{postfire})$$

Où :

NDVI pré-incendie et NDVI post-incendie sont les indices de végétation normalisés avant et après incendie.

L'organigramme qui suit illustre les étapes de réalisation du NRI :

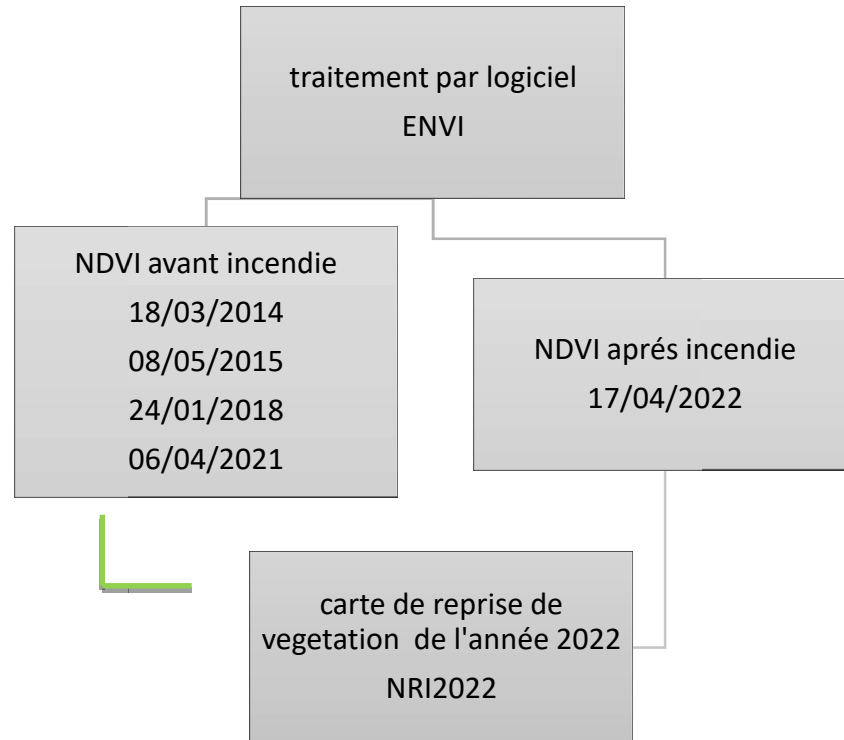


Figure 32: Organigramme pour élaborer une carte de reprise végétative

on a traité les images satellitaires téléchargés à partir du site déjà cité au-dessus, par le logiciel ENVI 5.3 (Environnement pour la Visualisation des Images), et on a choisi les bandes du rouge et infrarouge, ensuite on s'est orienté pour effectuer le calcul de l'NDVI qui été appliqué en deux états différents, L'un pour l'état de la végétation avant incendie pour chaque date à savoir (18-03-2014) pour le NDVI avant l'incendie survenu en 2014, (08-05-2015) pour le NDVI avant l'incendie survenu en 2015, (24-01-2018) pour le NDVI avant l'incendie survenu en 2018, et (06-04-2021) pour le NDVI avant l'incendie survenu en 2021.

Le NDVI post-fire est calculé à partir de l'image du 17/04/2022 à savoir l'état actuel de la végétation.

Le calcul du NRI sous le logiciel ENVI nous a permis de réaliser une carte de synthèse indiquant l'état de régénération végétative de la forêt de tafrent dans les zones incendiées en 2014, 2015, 2018 et 2021. (voir la figure suivante)

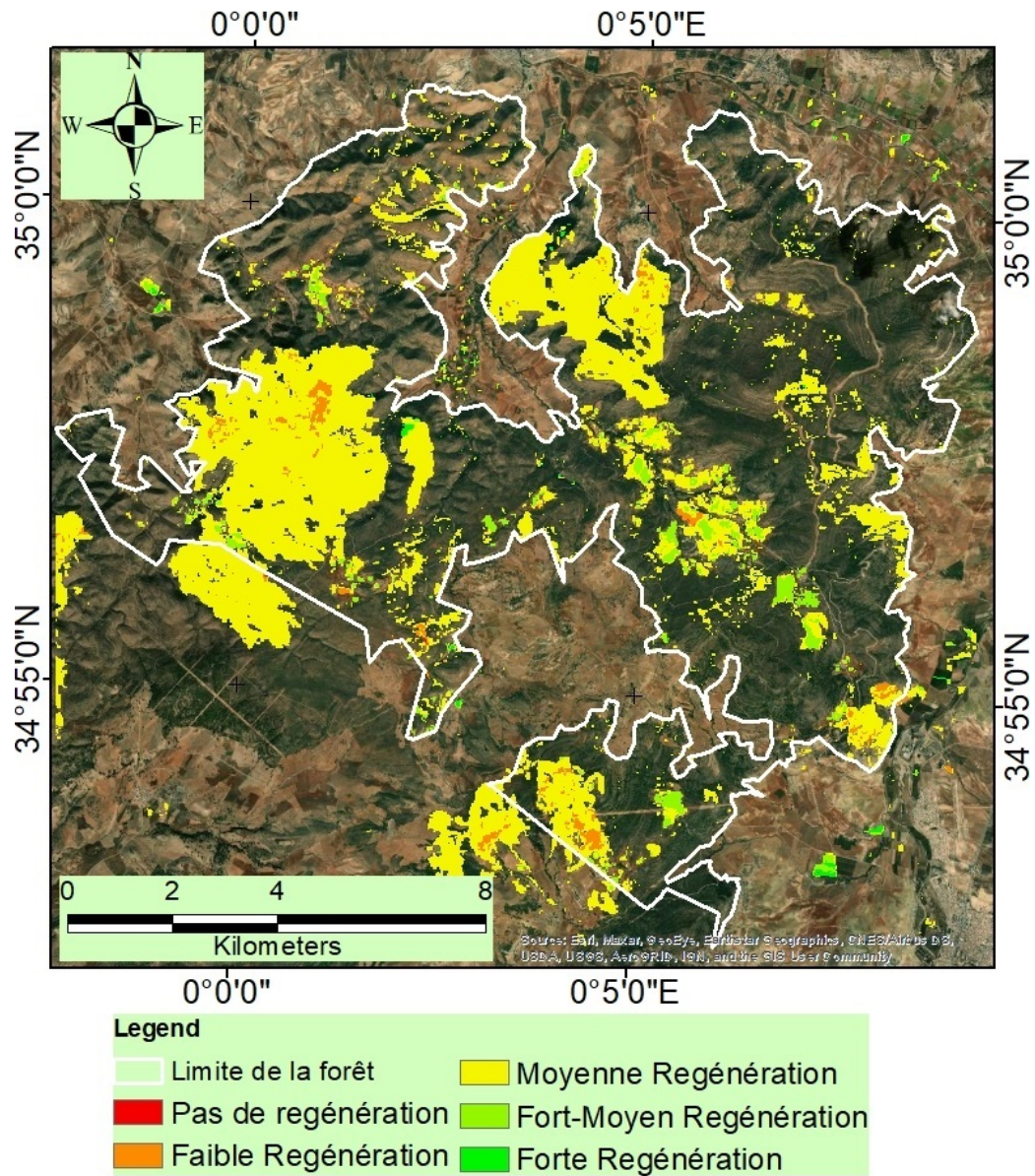


Figure 33: Carte d'indice NRI de reprise de végétation (2014.2015.2018.2021)

Théoriquement, L'indice NRI varie entre 0 et 1 ; la valeur 1 indique un important taux de reprise de la végétation après incendie.

Le NRI a été classé en cinq (05) classe de régénération :

$NRI < 0,6$ pas de régénération

$0,6 < NRI < 0,8$ faible régénération

$0,8 < NRI < 1$ Moyenne régénération

$1,0 < \text{NRI} < 1,2$ Fort-moyen régénération

$1,2 < \text{NRI}$ Forte régénération

On remarque une dominance de Moyenne régénération dans les zones incendiées de la forêt de Tafrent, c'est-à-dire que notre zone d'étude peine à retourner à l'état végétatif pré-incendie, cela peut s'expliquer par le caractère répétitif des feux et la diminution de la pluviométrie dans la zone d'étude.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

Dans ce travail de fin d'étude, nous avons exploré l'apport des techniques géomatiques dans l'étude de la régénération post-incendie de la forêt de Tafrent (W. Saïda) ;

Dans un premier temps, on a abordé la cartographie et l'évaluation de la gravité des brûlures, ainsi que l'estimation des superficies affectées par les feux qui ont touché notre site d'étude en 2014, 2015, 2018 et 2021. L'utilisation de l'indice NBR sur les images multi-spectrales Landsat-8 OLI pour 2014, 2015, 2018 et 2021, nous a permis d'identifier clairement les zones incendiées avec leur degré de sévérité.

Dans l'objectif d'évaluer la dynamique de régénération forestière post-incendie, l'indice NRI a été utilisé, et nous a permis d'établir une carte de synthèse montrant l'état de régénération des zones incendiées ; cette carte servira d'outils puissants d'aide à la décision, permettant de mieux orienter les investissements à entreprendre dans la forêt de Tafrent et aussi d'en assurer l'efficacité escomptée.

Les tâches restant à accomplir sont considérables. Il ne s'agit là que d'une modeste contribution à la maîtrise de l'utilisation des outils géomatiques comme outils d'investigation pour une problématique de taille. Elle ouvre la porte des fantastiques perspectives enviables qui mettront en œuvre des modèles pour mieux prédire l'évolution probable des parcelles incendiées.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Abbas, H ; Barbero, M ; Loisel, R., (1984). *Ecologia Mediterranea* 1984
Réflexions sur le dynamisme actuel de la régénération naturelle du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) dans les pinèdes incendiées en Provence calcaire, 2 p

Agnès BEGUE, Louise LEROUX, Danny LO SEEN, Jean-Philippe TONNEAU et Philippe MORANT. (2016). Observation spatiale pour l'agriculture en Afrique : potentiels et défis. NOTES TECHNIQUES

Ammor, M. S., Flórez, A. B., & Mayo, B. (2007). Antibiotic resistance in non-enterococcal lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Food microbiology*, 24(6), 559-570.

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

Ayari, A., (2012). Influence des différents facteurs environnementaux sur la fructification du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mille) en Tunisie. Thèse de doctorat en sciences biologiques Faculté des sciences de Tunis, 230 p.

B.N.E.D.R,
(1992): Etude du développement agricole dans la wilaya de Saida. Aménagement des zones forestières et montagne, rapport principal, Tipaza, Algérie, 226p.

BAGNOULS, F. & GAUSSEN, H. (1953) Saison sèche et indice xérothermique. *Bull.Soc. Hist.Nat. Toulouse*, 193-239 pp.

BELHADJAISSA, (2003): Application du SIG et de la télédétection dans la gestion des feux de forêts en Algérie. CNTS d'Arzew, 16p

Benyahia, A ; Tadjine, H., (2017). Mémoire Master. Analyse de la recolonisation après incendie par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) au Parc Nationale de Gouraya, 09-10 Pp.

Bottner, P., Coûteaux, M. M., & Vallejo, V. R. (1995). Soil organic matter in Mediterranean-type ecosystems and global climatic changes: a case study—the soils of the Mediterranean Basin. In *Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems* (pp. 306-325). Springer, New York, NY.

Chaabane, A. (1993). Etude de la végétation du littoral septentrional de Tunisie: typologie, syntaxonomie et éléments d'aménagement (Doctoral dissertation, Aix-Marseille 3).

Chabaane, Z., (2005). Télédétection et analyse spatiale de la régénération forestière postincendie dans le massif de boukornine au sud de Tunis (Télédétection, 2005 vol. 5, n°1-2-3) 161-181.

D.P.A.T (2011). Revue, Monographie De La Wilaya De Saida

D.S.A (2013). Bilan Annuel du Secteur de l'Agriculture de la Wilaya de Saida

DAHMANI M. (1997). Le Chêne vert en Algérie. Syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse Doctorat Es Sciences : Université des Sciences et Technologie, Alger. 384 p.

Dahmani-Megrerouche, M. (1996). Diversité biologique et phytogéographique des chênaies vertes d'Algérie. *Ecologia mediterranea*, 22(3), 19-38.

Darrab, S., & Ergenc, B. (2017). Vertical pattern mining algorithm for multiple support thresholds. *Procedia computer science*, 112, 417-426.

DE MARTONNE E. (1926). Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité. *La météo*. 449-459

DGF (2000). Evaluation des ressources forestières nationales. 39p.

DGF (2013). Bilan des incendies de forêt en Algérie (1963-2013).

DJEBAILI S. (1984). La steppe algérienne, phytosociologie et écologie, O.P.U, Alger, 127p

Djebaili, S. (1978). Recherches phytosociologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien (Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat ès-science, Univ. Montpellier, France).

DJEBAILI, Y. (2004) : Thèse, Inventaire des potentialités hydriques

DUCHAUFOR Ph. (1983). Pédologie. 1 pédogenèse et classification. Ed. Masson. 2^{ème} Ed. Paris, 491 p.

Elhadj, T., Driss, H., Belgacem, N., & Benchohra, M. Spatial analysis of the regeneration after fire in forest of Lardjem (Wilaya of Tissemsilt, Algeria).

EMBERGER L. (1930). La végétation forestière et préforestière de la Tunisie. Typologie et éléments pour la végétation. Thèse Doctorat. Es Sciences. Univ. Aix Marseille III. 120 p.

EMBERGER L. (1939). Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc à 1/1 500 000. Veröff. geobot. Inst., Zürich, 14 : 40-15

EMBERGER L. (1942). Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographie. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, France, 77, 97-124.

FAO - Agriculture Organization of the United Nations. Soil Resources, & Conservation Service. (1996). *Agro-ecological zoning: Guidelines* (No. 73). Food & Agriculture Org.

FAO - Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 1978. Rapport sur le projet de zones agro-écologiques. FAO, Rom

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2012). Etat actuel des ressources génétiques forestières en Algérie.

HADJADJ-AOUL S. (1995). Les peuplements du thuya de berbérie (*Tetraclinis articulata*, Vahl, Master) en Algérie : phytoécologie, Syntaxonomie et potentialités sylvicoles. Thèse Doc. D'Etat : Université Aix-Marseille III. 159 p.

Hadjadj-Aoul, S. (1995). Les peuplements du thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*, (Vahl) Masters) en Algérie: phytoécologie, syntaxonomie, potentialités sylvicoles (Doctoral dissertation, Aix-Marseille 3).

HOUEROU H.N., CLAUDIN J., POUGET M., (1977). Etude bioclimatique des steppes Algériennes avec une carte bioclimatique au 1/1000.000. Bull. Soc. Hist. Afr. Nord. pp : 36-40

ITT Visual Information Solutions, 2009. Atmosphere correction module: QUAC and FLAASH user's guide, Version 4.7, pp. 44.

Karam. Z. (1998). Bactéries lactiques isolées de lait de *Camelusdromedarius*: Etude microbiologique et biochimique, caractéristiques technologique, élaboration de ferments lactiques mésophiles et fabrication de fromages. Université d'Oran: Thèse doctorat d'état. <https://theses.univ-oran1.dz/document/TH5086.pdf>.

Kennedy, R. E., Andréfouët, S., Cohen, W. B., Gómez, C., Griffiths, P., Hais, M., ... & Zhu, Z. 2014. Bringing an ecological view of change to Landsat-based remote sensing. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(6), 339-346.

Khouja, M.L., (2020). Le pin d'Alep en Tunisie, écologie gestion et usage ; institue nationale de la recherches en génie rural, eaux et forêts. Université de Carthage, Edition 2020, pp 4682-202.

LE HOUEROU H.N. (1995). Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique : diversité biologique, développement durable et désertisation, Options méditerranéennes, série B : recherches et études pp 1-396.

LE HOUEROU H.N. (1995). Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique : diversité biologique, développement durable et désertisation, Options méditerranéennes, série B : recherches et études pp 1-396.

LE HOUEROU, H.N. (1997)Etudes bioclimatique des steppes Algérienne. Rapport de mission de consultation et d'évaluation. Ministère de l'agriculture, Alger, 1-42 pp.

LE HOUEROU, H.N. (2004) An Agro-Bioclimatic Classification of Arid and Semiarid Lands in the Isoclimatic Mediterranean Zones. *Arid Land Research and Management* 18, 301-346 pp.

Martinelli, M., & Pedrotti, F. (2001). A cartografia da unidade de paisagem: questões metodológicas. *Revista do Departamento de Geografia*, 14, 39-46.

Mclean, D. A., (1983). The role of fire in northern circumpolar ecosystems. Based on conference held 22-24 October 1979, by fire science Center, University of New-Brunswick, Fredericton. Publ. On behalf of SCOPE/CSU. John Wiley and Sons, New-York, 322 p.

Meddour, O. S ; Meddour, R; Derridj, A., (2007). Historique des feux de forêts en Algérie Analyse statistique descriptive (période 1876-2005). *Revue Campus*, n°10, 53 p.

Meddour, O. S ; Meddour, R; Derridj, A., (2007). Historique des feux de forêts en Algérie Analyse statistique descriptive (période 1876-2005). *Revue Campus*, n°10, 53 p.

Meddour, O., (2014). Les feux de forêt en Algérie ; Analyse de risque, étude des causes, évaluation du dispositif de défense et des politiques des gestions. Thèse de doctorat en foresterie. Université. Tizi-Ouzou, 295 p.

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

Mermelstein, N. H. (2018). Combating antibiotic resistance. *Food Technology*, 72(3), 62-68.

Mokhtari, S., (2018). Contribution à la gestion des connaissances en gestion des risques : application aux feux de forêt dans le massif des Aurès, Pp 19-20-73.

Moya, D ; Delas-Heras, J ; Lopez-Serrano, F. R ; Leone, V., (2008). Optimal intensity and age of management in young Aleppo pine stands for post-fire resilience. *For Ecol Manag* 255: 3270-3280.

Murray, P. R., Rosenthal, K. S., & Pfaller, M. A. (2020). *Medical Microbiology E-Book*. Elsevier Health Sciences.

Nathan, R; Safriel, U. N ; Noy-Meir, 1 ; Schiller, G., (1999). Seed release without fire in *Pinus halepensis*, a mediterranean serotinous wind-dispersed tree. *Journal of Ecology* 87, 659-669.

Ne'eman, G; Goubitz, S ; Nathan, R., (2004). Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire - a critical review. *Plant Ecol.* 171, Pp 69-79.

OLDACHE, E. H. (2003): impact des incendies sur la biodiversité, Recueil des Communications de l'atelier N°2 «Menaces pesant sur la diversité biologique» MATE-GEF/PNUD, Projet ALG97/G31, pp 69-78

OMS, (2020). *Résistance aux antimicrobiens*. Organisation mondiale de la santé. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>.

Péguy, M. (1970). Quelques *Feldmannia* Hamel, 1939 (Phaeophyceae-Ectocarpales) des côtes d'Europe. *Vie et milieu*, 137-188.

Riâno, D ; Chuvieco, E ; Ustin, S; Zomer, R; Dennison, P; Roberts, D ; Salas, J. (2001). Assessment of vegetation regeneration after fire through multitemporal analysis of AVIRIS images in Santa Monica Mountains. *Remote Sensing of Environment*, 79: 60-71.

Roose, E., (2004). Exemple de GCES en moyenne montagne méditerranéenne d'Algérie. *Synthèse sécheresse*, Vol. 15, No 1. 9 (18): Pp 54-66.

Rowe, J. S; Scotter., (1973). The ecological results of periodic fire ignited by lightning and man in the boreal forest of North America, Vol. 3, Pp 444-464

S.A.T.E.C, (1976): Etude du développement de la Daïra de Saïda.

S.A.T.E.C, (1976): Etude du développement de la Daïra de Saïda

SELTZER P. (1946). Le climat de l'Algérie. Inst. Météorologie. Et Phys. Du Globe. Univ. Alger. 219 p + Carte h.t.

Sghaier, T ; Khaldi, A ; Khouja, M. L ; Nsibi, R., (1997). Estimation du rendement en cônes et en graines du pin d'Alep dans les forêts d'Ouergha (Sakiet sidi Youssef- Tunisie). *Ann Rech For Maroc* 20 : Pp 84-89.

SITAYEB, T. (2006): Thèse, Application de la géomatique dans l'étude de la dynamique de la végétation dans la plaine de la Macta. Thèse de magistère, centre universitaire de Mascara,

STATION METEOROLOGIQUE de REBAHIA (wilaya de saïda).

Tapias, R.; Gil, L.; Fuentes-Utrilla, P.; Pardos, J. A., (2001). Canopy seedbanks in Mediterranean pines of south-eastern Spain: a comparison between *Pinus halepensis* Mill, *P. pinaster* Ait, *P. nigra* Arni, *Ecol* 89: 629-638.

Tateishi, R.; Uriyangqai, B.; Al-Bilbisi, H.; Ghar, A.; Tsend-Ayush, J.; Kobayashi, T.; Kasimu, A.; Hoan, N.T.; Shalaby, A.; Alsaadeh, B.; et al. (2011). Production of global land cover data GLCNMO. *Int. J. Digit. Earth*, 4, 2249

Tatem, A. J., Goetz, S. J., & Hay, S. I. (2008). Fifty years of earth observation satellites: Views from above have led to countless advances on the ground in both scientific knowledge and daily life. *American Scientist*, 96(5)390

Trabaud, L., (1990). Influence du feu sur les propriétés chimiques des couches superficielles d'un sol de garrigue. *Revue d'Ecologie et de biologie du sol*, 27: 383-394.

Vennetier, M.; Girard, F.; Didier, C.; Ouamim, S.; Ripert, C., (2011). Adaptation phénologique du pin d'Alep au changement climatique. *Forêt méditerranéenne*, 32(2): 151-167p

Vennetier, M.; Ripert, C.; Brocheiro, F.; Rathgeber, C.; Chandrioux, O.; Esteve, R., (2010). Évaluation de la croissance du pin d'Alep en région méditerranéenne française. *Revue Forestière Française* LXII 5: Pp 11-17-503-524

Verkaik, I.; Espelta, J. M., (2006). Post-fire regeneration thinning, cone production, serotiny and regeneration age in *Pinus halepensis* For *Ecol Manag* 231: Pp 155-163.

Wein, R. W., (1983). An overview of fire in northern ecosystems. Pp 1-18

Wulder, M. A., & Coops, N. C. (2014). Satellites: Make Earth observations open access. *Nature News*, 513(7516), 30.

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, pp. 2-10.X

Wulder, M. A., White, J. C., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Belward, A. S., Cohen, W. B., ... & Roy, D. P. (2016). The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. *Remote Sensing of Environment*, 185, 271-283.

ANNEXE

IV.1. Annexe 1

Les infrastructures forestières par commune

Commune	Pistes	Travaux des Piste Forestière	Maisons forestières	Poste vigie
Sidi Boubekeur	38	-	-	-
Sidi Amar	50	160 km	-	1
Ouled Khaled	40	40 km	1	1

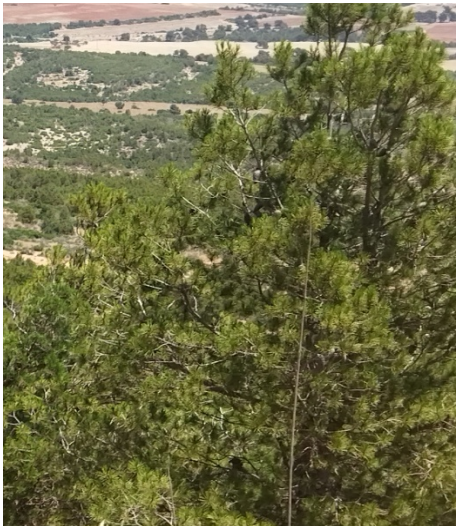
Source: Circonscription des forêts de Sidi Boubekeur,

Infrastructure	Localisation	Cordonnées
Poste de vigie N°1 (Ameur ^`	Tiberguemt (Ouled Khaled)	N : 34°54'07.3" E : 00°04'32.6"
Poste de vigie N°1 (Ameur ^`	Tafidount (Sidi Amar)	N : 34°58'15.9" E : 00°06'32.6"
Maison forestière	Ain Foulette	N : 34°54'57.8 E : 00°05'41.6"

Source: Circonscription des forêts de Sidi Boubekeur,

IV.2. Annexe 2

Des espèce pérennes



figur 1 :Pinus Halepensis.



figur 2 :Tetraclinis articulata



figur 3 : Ferula communis.



figur 4 : Genista erioe

IV.3. Annexe3

ESTIMATION DE LA POPULATION PAR COMMUNE ET PAR TRANCHE
D'AGES ANNEE2011

COMMUNES	0-4 ANS	5-9 ANS	10-14 ANS	15-19 ANS	20-24 ANS	25-29 ANS	30-34 ANS	35-39 ANS	40-44 ANS	45-49 ANS	50-54 ANS	55-59 ANS	60-64 ANS
SAIDA	12 998	9 731	10 794	11 712	13 776	13 874	12 638	10 920	9 780	7 334	6 453	4 444	2 777
DOUI THABET	610	378	416	481	561	623	609	492	312	189	173	142	131
AIN ELHADJAR	3 148	2 454	2 773	2 995	3 370	3 430	2 958	2 467	2 069	1 600	1 340	1 013	577
OULED KHALED	3 191	2 288	2 519	3 091	3 976	3 705	3 270	2 741	2 058	1 556	1 412	1 075	611
MOULAY LARBI	1 204	799	958	1 097	1 475	1 451	1 125	823	658	421	433	311	231
YOUB	1 739	1 046	1 271	1 535	2 000	2 211	1 888	1 622	1 178	779	855	658	341
HUNET	390	285	339	435	563	634	594	407	303	202	250	159	121
SIDI AMAR	905	607	663	789	1 100	1 123	961	773	565	472	379	328	201
SIDI BOUBEKEUR	1 818	1 368	1 475	1 884	2 478	2 585	2 014	1 569	1 147	797	786	635	501
HASSASNAS	1 387	940	1 102	1 346	1 671	1 862	1 319	995	783	557	622	384	241
MAAMORA	779	602	617	647	821	951	740	556	330	273	242	202	141
SIDI AHMED	1 639	1 237	1 316	1 480	1 772	1 712	1 405	1 029	759	614	607	409	311
AIN SKHOUNA	681	619	665	754	884	856	733	569	399	343	307	205	121
OULED BRAHIM	1 986	1 433	1 570	1 826	2 474	2 385	1 958	1 703	1 214	894	950	777	471
TIRCINE	843	648	621	736	896	896	756	605	406	243	290	282	181
AIN SOLTANE	786	593	563	626	826	903	765	529	347	258	278	228	141
WILAYA	34 103	25 027	27 661	31 434	38 643	39 201	33 732	27 799	22 309	16 531	15 378	11 253	7 141

IV.4. Annexe4

Localisation de la station météorologique de Saida

Station	Latitude	Longitude	Altitude
Saida	34°55'00"Nord	00°09'00" Est	750

Source: Circonscription des forets de Sidi Boubekeur,

IV.5. Annexe5

Répartition des formations forestières par commune

Commune	Superficie (ha)	Foret Dense	Foret Clair	Maquis Dens	Maquis Clair	Reboisement	Repeuplement
Sidi Boubekeur	23797	-	596	135	1758	536	420
Sidi Amar	15825	40	1446	612	2987	196	650
Ouled Khaled	18696	-	82	-	2251	399	120
total	58318	40	2124	747	6996	1131	1190

Source: Circonscription des forets de Sidi Boubekeur,

IV.6. Annexe6

Facteurs de dégradation ou la régénération se trouve



Photo 5 : La Surpâturage



Photo 6: Coupe des sujets



Photo 07 :incendie ou niveau de tafrent cliché 2021

IV.7. Annexe7

Régénération naturel I: Espèces de régénération importantes dans la forêt de Tefrent.

Espèce	A%	D%	F%	IVI
Pin d'alep	20,78	28,29	12,50	62,60
Thuya	12,99	7,09	10,42	30,49
lentisque	11,70	4,3	8,33	24,33



Photo 08 : Régénération importantes dans la forêt de Tefrent