

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

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



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

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

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

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

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

N° d'ordre :
N° de série :

Intitulé :

**Estimation et cartographie par télédétection des surfaces brûlées par
les feux de forêt durant l'été 2021 : cas de la wilaya de Tizi-Ouzou**

Présenté par : BOUBIDI Djihen
BOUBESLA Asma

Le Juin 2022

Jury d'évaluation :

Encadreur : ARFA Azzedine Mohamed Touffik

MCB - UFM Constantine 1

Examineur 1 : ALATOU Djamel

Prof - UFM Constantine 1

Examineur 2 : ALATOU Hana

MAB - UFM Constantine 1

**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 الإخوة منتوري قسنطينة I
Frères Mentouri Constantine I University
Université Frères Mentouri Constantine I

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

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

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

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

N° d'ordre :
N° de série :

Intitulé :

**Estimation et cartographie par télédétection des surfaces brûlées par
les feux de forêt durant l'été 2021 : cas de la wilaya de Tizi-Ouzou**

Présenté par : BOUBIDI Djihen
BOUBESLA Asma

Le Juin 2022

Jury d'évaluation :

Encadreur : ARFA Azzedine Mohamed Touffik

MCB - UFM Constantine 1

Examineur 1 : ALATOU Djamel

Prof - UFM Constantine 1

Examineur 2 : ALATOU Hana

MAB - UFM Constantine 1

**Année universitaire
2021 - 2022**

REMERCIEMENTS

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier "Dieu" le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

*Nos profonds remerciements à notre encadreur Dr **Anfa Azzedine Mohamed Touffik** enseignant à l'**UFMC 1**, qui nous a fourni le sujet de ce mémoire, pour sa disponibilité durant toutes les étapes de ce travail, pour ses remarques pertinentes et pour ses conseils judicieux qui sans cesse ont permis l'amélioration de la qualité de ce travail. Merci beaucoup monsieur.*

*Nos sincères remerciements sont adressés à notre examinateur, Mr **ALATOU Djamel** Professeur à l'**UFMC 1** et Dr **ALATOU Hana** enseignante à l'**UFMC 1** d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

Nos remerciements s'adressent aussi à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation universitaire dans la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

À nos familles, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

À tous ces intervenants, nous présentons nos remerciements, notre respect et notre gratitude.

DEDICACES

Dédicaces

Je dédie cet humble et modeste travail avec grand amour,

sincérité et fierté :

À mes chers parents, source de tendresse, de noblesse et d'affectation, source de ma fierté, mon courage et mon défi devant tous les obstacles que j'ai rencontrés, aucune dédicace ne pourrait exprimer à leur juste valeur la gratitude et l'amour que je vous porte. Merci pour votre affection et vos sacrifices.

Que Dieu vous garde.

À mes chers frères et mes sœurs, surtout Yousra en témoignage de la fraternité, avec mes souhaits de bonheur, de santé et de succès.

À mon encadreur monsieur Arfa A.M.T, et à Mon partenaire dans ce travail et mon ami Asma.

À tous mes amis et

À toute personne qui aime la nature.

BOUBIDI

Djihen

Dédicaces

*Tous les mots et les phrases que j'écris n'exprimeront pas l'amour,
le respect et l'appréciation...*

Je dédie ce travail à :

MON Père

*Ma force dans la vie, Merci pour ta patience, pour ton travail acharné
tout au long de mes années d'études, et pour ton amour que tu as
porté à tes enfants*

Ma Chère Mère

*Ma lumière dans la vie, est enfin arrivée ce que tu attendais, merci
pour tes sacrifices et tes encouragements.*

Mes frères

Radwan, Housseem et Chouaib

Mes Sœurs

Roukia, Chaima et Khadidja

Mon binôme Djihan

Mes amies

BOUBESLA ASMA

SOMMAIRE

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

Liste des abréviations

Table des illustrations

Introduction..... 01

Chapitre I : Présentation des massifs forestiers de la wilaya de Tizi-Ouzou

1. Localisation géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	02
2. Climat.....	03
3. Relief et morphologie.....	03
3.1 La chaîne côtière.....	03
3.2 La vallée de l'oued Sebaou.....	03
3.3 Le massif de grande Kabylie.....	04
3.4 La zone collinaire de Tizi-Ghennif	04
3.5 La dépression de Draà El Mizan.....	04
3.6 La chaîne du Djurdjura.....	04
4. Patrimoine forestier de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	04
4.1 La forêt de Mizrana.....	06

4.2 La foret de Beni Ghobri.....	06
4.3 La foret de l'Akfadou.....	06
4.4 Le reboisement industriel d'Azeffoun.....	06
4.5 La forêt de Yakouren.....	07
4.6. La foret de Tigrine.....	07
4.7 La foret de Azouza.....	07

Chapitre II : Matériels et méthodes

1. Méthodologie de travail.....	08
1.1 Acquisition des images satellites.....	08
1.2. Calcul de l'indice de végétation NDVI.....	09
1.3. Découpage des images.....	09
1.4. Classification de l'NDVI.....	09
1.5. Comparaison multi-dates.....	10
1.6. Cartographie.....	10
2. Matériels utilisés.....	10
2.1. Images Sentinel-2.....	10
2.2. Logiciels utilisés.....	11
2.2.1. SNAP.....	11
2.2.2. ENVI 5.1.....	12
2.2.3. ArcGIS 10.3.....	12

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Acquisition des images satellitaires et sélection des dates.....	13
2. Calcul de l'indice de végétation NDVI.....	13
3. Classification supervisée de l'NDVI des différentes dates.....	17
4. Cartographie des surfaces brûlées au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou durant l'été 2021.....	22
5. Comparaison entre les surfaces brûlées estimées par télédétection et celles estimées par les agents forestiers sur terrain.....	24
Conclusion.....	25
Références bibliographiques.....	26

Résumé

*LISTE DES
ABRÉVIATIONS*

Liste des abréviations

- NDVI :** Normalized Difference Vegetation Index
- ENVI :** Environnement For Visualing Images
- DPSB:** Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires
- PIR:** Proche Infra Rouge
- SIG:** Systèmes d'Information Géographique
- SNAP:** SentiNel Application Plateform
- ESA:** Agence Spatiale Européenne (European Space Agency)
- Esri:** Environmental Systems Research Institute

*TABLE DES
ILLUSTRATIONS*

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition juridique du patrimoine forestier de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	05
Tableau 2 : Les principales essences forestières de la wilaya de Tizi-Ouzou et leurs superficies.....	07
Tableau 3 : Caractéristiques des satellites Sentinel-2.....	11
Tableau 4 : Dates et références des images satellites sélectionnées.....	13
Tableau 5 : Evolution des classes végétation et hors végétation du 13 juin au 16 octobre 2021.....	18

Liste des figures

Figure 1 : Etapes adoptées pour l'estimation et la cartographie des surfaces brûlées.....	08
Figure 2 : La mission Sentinel-2.....	11
Figure 3 : Surfaces incendiées durant l'été 2021 estimées par télédétection et par la conservation des forêts de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	24

Liste des cartes

Carte 1 : Situation géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	02
Carte 2 : Type de formation végétale de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	05
Carte 3 : NDVI du 13 juin 2021 de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	14
Carte 4 : NDVI du 23 juillet 2021 de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	14
Carte 5 : NDVI du 28 juillet 2021 de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	15
Carte 6 : NDVI du 07 aout 2021 de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	15
Carte 7 : NDVI du 12 aout2021 de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	16
Carte 8 : NDVI du 22 aout2021 de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	16
Carte 9 : NDVI du 16 octobre 2021 de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	17
Carte 10 : Classification supervisée de l'NDVI du 13 juin 2021.....	18
Carte 11 : Classification supervisée de l'NDVI du 23 juillet 2021.....	19
Carte 12 : Classification supervisée de l'NDVI du 28 juillet 2021.....	19
Carte 13 : Classification supervisée de l'NDVI du 07 aout 2021.....	20
Carte 14 : Classification supervisée de l'NDVI du 12 aout 2021.....	20
Carte 15 : Classification supervisée de l'NDVI du 22 aout 2021.....	21
Carte 16 : Classification supervisée de l'NDVI du 16 octobre 2021.....	21
Carte 17 : Evolution des surfaces incendiées au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou du 13 juin au 16 octobre 2021.....	23

INTRODUCTION

*« Quand un arbre tombe, on l'entend ; quand la forêt
pousse pas un bruit. »*

Proverbe africain

Introduction

La forêt est une zone de diversité biologique exceptionnelle, en matière de ressources à double plan, écologique et économique (Arfa *et al.*, 2009). Elle constitue un élément essentiel de l'équilibre physique, climatique et social. C'est la base de la vie sur terre (Arfa, 2008).

La forêt algérienne avec une surface primitive qui s'élève à 7.318.000 ha contre 2.910.000 ha actuellement. Le taux de boisement est donc passé de 27.17% à 11%, malgré son exploitation elle ne s'est jamais prétendue être une forêt de haute production sylvicole (Alatou, 2015). La forêt Algérienne a été le théâtre de diverses agressions qui ont réduit considérablement sa superficie et provoqué la régression ou la disparition de nombreuses espèces animales et végétales (DGF, 2016).

Certes, les incendies de forêt constituent l'un des principaux risques naturels des forêts dans le monde, mais restent le facteur de dégradation le plus redoutable de la forêt algérienne et méditerranéenne, qui bénéficie de conditions physiques et naturelles favorables à son éclosion et à sa propagation.

En Algérie, chaque année plus de 36.000 hectares de forêts sont détruits par les feux. Les pertes économiques dans le secteur forestier générées par ces feux entre 1985 et 2006 se chiffrent à plus de 113 milliards de dinars algériens. Cette évaluation financière ne prend en compte que la valeur marchande des produits perdus (bois, liège, broussailles, alfa, arboriculture...), sans tenir compte des dépenses annuelles pour la lutte (Arfa, 2019).

Chaque année les conservations des forêts des wilayas d'Algérie sont confrontées à un problème majeur qui consiste à transmettre à la direction générale des forêts, dans des délais très courts, l'estimation précise des surfaces incendiées.

La finalité de ce travail est de proposer aux services forestier d'Algérie une méthode pratique, rapide et précise de cartographie des surfaces brûlées durant la campagne des incendies de forêts afin de disposer de carte et de bilan de feux de forêt plus précis avec des délai d'exécution court.

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes intéressés à la wilaya de Tizi-Ouzou qui présente de très bonnes potentialités forestières et une forte sensibilité aux feux, avec comme objectif l'estimation et la cartographie des surfaces incendiées par les feux de forêt catastrophique de l'été 2021.

CHAPITRE I :

PRÉSENTATION DES MASSIFS

FORESTIERS DE LA WILAYA

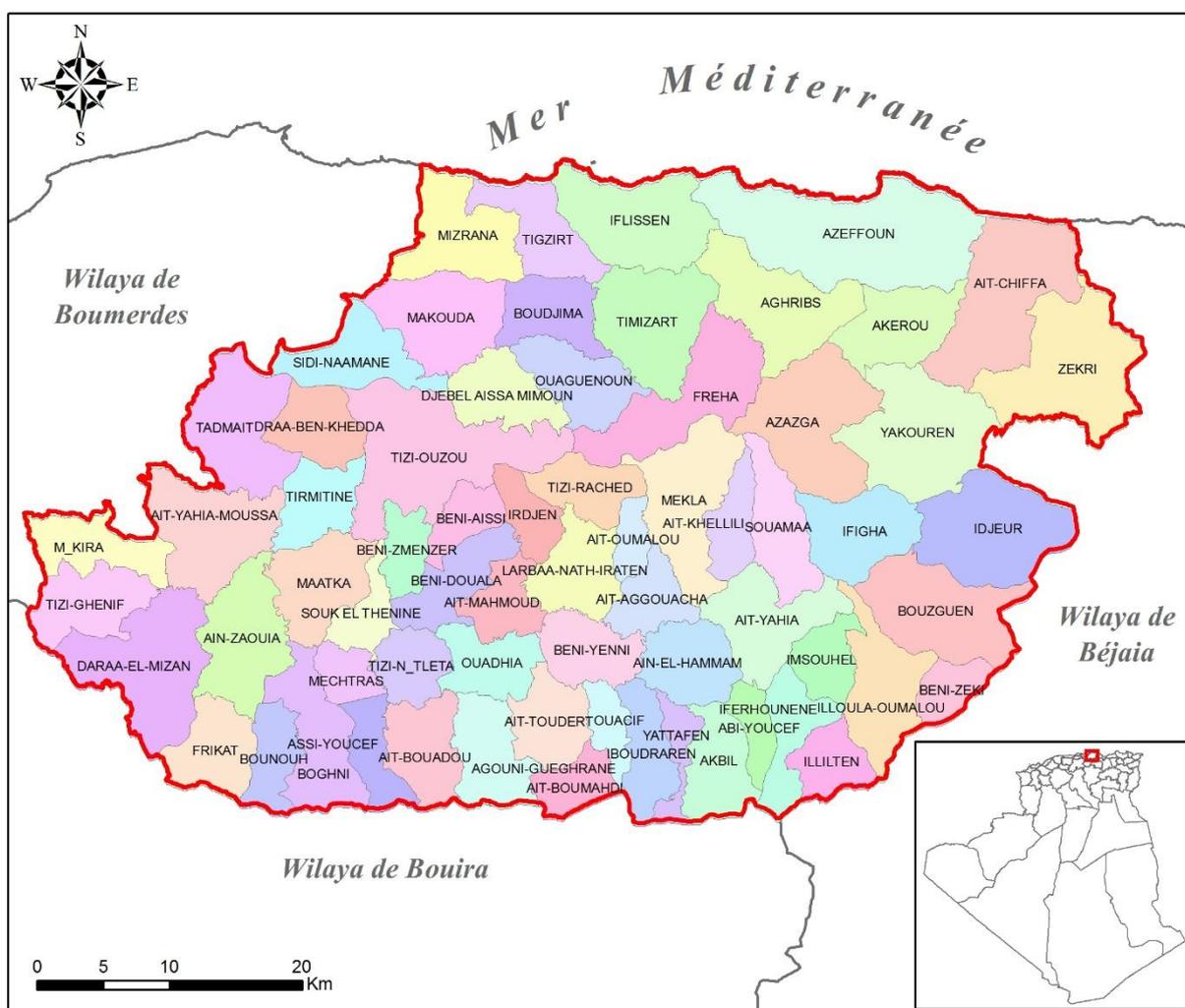
DE TIZI-OUZOU

Chapitre I : Présentation des massifs forestiers de la wilaya de Tizi-Ouzou

1. Localisation géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou

Tizi-Ouzou, est une wilaya algérienne d'une superficie de 295.793 ha. Elle est située dans la région de la Grande Kabylie au nord de l'Algérie (Carte 1), comprise entre les coordonnées géographiques de 36°28' et 36°55' de latitude Nord, et entre 03°45' et 04°31' de longitude Est (D.P.S.B., 2019). La wilaya de Tizi-Ouzou est limitée au nord par la mer Méditerranée, avec une façade maritime de 85 km, à l'est par la wilaya de Bejaia, à l'ouest par la wilaya de Boumerdes et au sud par la wilaya de Bouira. Cette wilaya compte le nombre de communes le plus élevé d'Algérie (soit 67) (Derridj et Meddour, 2010).

Carte 1 : Situation géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou.



2. Climat

La wilaya de Tizi-Ouzou se situe sur la zone de contact et de lutte entre les masses d'air polaire et tropical. Le territoire de cette wilaya est entièrement soumis aux bioclimats subhumide (47%) et humide (53 %), dans les variantes thermiques d'hiver douce et tempérée.

Le climat de Tizi-Ouzou reflète bien les caractéristiques du climat méditerranéen, en l'occurrence la concentration des pluies durant la période froide, mais peu rigoureuse de l'année, et la coïncidence de la période sèche, avec les grandes chaleurs (Derridj et Meddour, 2010). La pluviométrie moyenne se situe entre 600 et 1000 mm d'eau par an.

3. Relief et morphologie

Le relief de la wilaya de Tizi-Ouzou est marqué par la succession et la juxtaposition de différents ensembles topographiques, du Nord au Sud, disposés de la manière Suivante :

- la chaîne côtière ;
- la vallée de l'oued Sebaou ;
- le massif de grande Kabylie ;
- la zone collinaire de Tizi-Ghennif ;
- la dépression de Draà El Mizan ;
- la chaîne du Djurdjura.

3.1. La chaîne côtière

Elle présente une orientation Est-Ouest bien distincte. Cette chaîne se présente comme un arc montagneux parallèle au littoral, traversée par des dépressions synclinales. L'altitude maximale se situe dans la partie Est au niveau de Djebel Targot (1.278 m). La chaîne côtière est constituée des unités suivantes : massif côtier de Tizirt, massif d'Azefoun et Zone collinaire d'Azazga (D.P.S.B., 2019).

3.2. La vallée de l'oued Sebaou

Cette vallée occupe la partie Centre-nord de la wilaya, l'oued Sebaou prend sa source dans la partie orientale de la chaîne du Djurdjura. Il coule d'Est en Ouest entre le massif montagneux de la grande Kabylie et la chaîne côtière (D.P.S.B., 2019).

3.3. Le massif de grande Kabylie

Il constitue le centre de la grande Kabylie. Les pentes dépassent 20% sur l'ensemble de cette zone, avec un point culminant à Tirourda (1.395 m), l'altitude moyenne de ce massif varie cependant entre 600 et 700m (D.P.S.B., 2019).

3.4. La zone collinaire de Tizi-Ghennif

Cette zone est localisée dans la partie Sud-ouest de la wilaya. Elle se caractérise par un relief mamelonne dont l'altitude moyenne est située entre 400 et 500 m, alors que les pentes sont généralement comprises entre 12,5 et 25% (D.P.S.B., 2019).

3.5. La dépression de Draà El Mizan

C'est une étroite vallée comprise entre le massif montagneux de grande Kabylie et la terminaison occidentale de la chaîne du Djurdjura. Les pentes oscillent entre 3 et 12,5% sur l'ensemble de la zone et l'altitude moyenne est de l'ordre de 350 m. Le point le plus bas est à 231 m (D.P.S.B., 2019).

3.6. La chaîne du Djurdjura

Elle constitue la limite Sud de la wilaya. Cette zone se caractérise par une altitude moyenne de 1.000 m et des pentes fortes et très fortes, supérieures à 40%, le point le plus élevé de la wilaya de Tizi-Ouzou se situe sur cette chaîne, plus précisément à Ras-Timedouine, à une altitude de 2305m (D.P.S.B., 2019).

4. Patrimoine forestier de la wilaya de Tizi-Ouzou

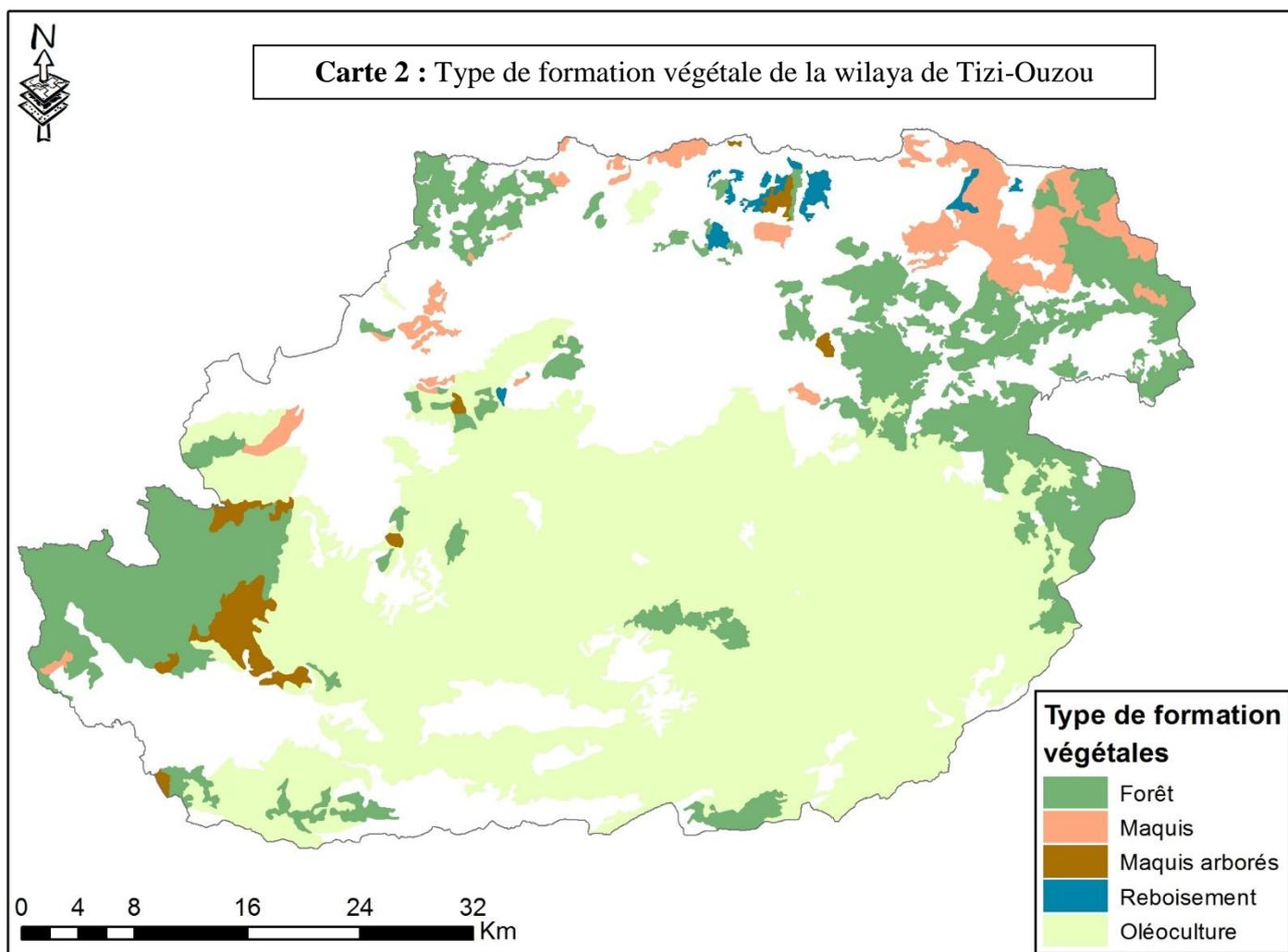
La wilaya de Tizi-Ouzou recèle une très grande richesse naturelle tant faunistique que floristique. La couverture végétale s'étale sur une superficie de plus de 112.180 ha (dont 50.589,94 ha appartenant au domaine public et 61.590,70 ha au domaine privé) correspondant à un taux de boisement d'environ 38% (Ammiche et Oumezzaouche, 2018).

La répartition du patrimoine forestier, selon la nature juridique, se caractérise par une dominance des maquis soit 47% de la superficie forestière totale (Tableau 1). Les forêts domaniales occupent la seconde place avec 27% soit plus de 15.786 ha, la plus petite superficie est occupée par les reboisements et les forêts sectionales avec respectivement 3% et 1% (Chenoune, 2017).

Tableau 1 : Répartition juridique du patrimoine forestier de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Nature juridique des forêts	Superficie (Ha)	Pourcentage
Forêts domaniales	30.768,94	27%
Forêts communales	15.786,75	14%
Forêts privées	8.779,04	8%
Forêts séctionales	729,25	1%
Maquis privés	52.811,6	47%
Reboisements	3.305	3%
Total	112.180,64	100%

Source : Conservation des forêts de Tizi-Ouzou, 2014



Source des données : BENEDER IFN, 2009

4.1. La forêt de Mizrana

La forêt de Mizrana est située dans la zone littorale méditerranéenne de la Kabylie. Au nord-ouest, le massif s'étend sur deux communes, de la wilaya de Tizi-Ouzou : Mizrana et Tizirt. Cette forêt couvre une superficie de 2.904,71 ha, le relief est plus ou moins accidenté, la pente de terrain est rarement inférieure à 25 %, le point le plus élevé est à 984 m (Benbelkacem et Messaoudene, 2019).

Elle est constituées principalement de Chêne-liège (*Quercus suber*), auquel vient se mélanger parfois le Chêne zeen (*Quercus canariensis*) qui trouve des conditions propices pour s'y installer suite aux différents incendies au niveau de la subéraie, mais aussi du maquis arborescent (Belkaid, 2016).

4.2. La forêt de Beni Ghobri

La forêt domaniale de Béni Ghobri couvre une superficie est de 6.939 ha et s'étend sur trois communes : Azazga, Ifigha et Yakourene. Ghobri. C'est est une forêt de chênes dominée par le chêne-liège, le chêne zéen et le chêne afares (Boudedja et Abdelhakim, 2013).

4.3. La forêt de l'Akfadou

La forêt de l'Akfadou qui dépend administrativement des wilayas de Béjaïa et de Tizi-Ouzou, s'étend sur une superficie d'environ 11.000 ha. Le relief est assez accidenté (pentes de 15 à 45%), notamment dans sa partie sud-orientale, avec une altitude variant de 800 à 1646 m. Cette forêt est constituée essentiellement de peuplements de chêne zéen (*Quercus canariensis Willd.*), de chêne afarès (*Quercus afares Pomel*) et de chêne liège (*Quercus suber L.*). Le chêne zéen est l'essence dominante jusqu' à 1646 m d'altitude, où il occupe environ 45% (Messaoudene et al., 2007).

4.4. Le reboisement industriel d'Azeffoun

Le reboisement industriel d'Azeffoun est dominé par une strate arborescente d'Eucalyptus et de résineux, accompagnée par une strate arbustive et une strate herbacée du groupement Chêne-liège et des pins introduits ainsi que des maquis. La strate arbustive est constituée essentiellement de *Pistacia lentiscus*, *Daphne gnedium*, *Erica arborea*, *Cistus*

monspenliensis, et *Calycotome spinosa*. Les essences allochtones, dites à croissance rapide, sont représentées dans les boisements artificiels, essentiellement par divers Eucalyptus (*E. globulus*, *E. sideroxylon*, *E. gomphocephala*, *E. cladocalyx*, *E. botryoides*, *E. occidentalis*, *E. maideni*) et divers Pins (*Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pinus canariensis*) (Belkaid, 2016).

4.5. La forêt de Yakouren

La forêt de Yakouren a une superficie de 5.721,86 ha, elle est bordée par des villages, de hameaux et la ville d'Azazga au Sud. Le chêne liège, le chêne zéen et le chêne afarès, sont les essences dominantes, avec d'autres espèces végétales, comme la bruyère, l'arbousier, le lentisque, etc.

4.6. La forêt de Tigrine

Le massif forestier de Tigrine dénommé également massif forestier d'Aït Chafaâ, couvre une superficie de 1.047,06 ha. Elle est gérée par la circonscription d'Azefoun et est composée essentiellement de chênes et de boisements artificiels.

4.7. La forêt d'Azouza

La forêt d'Azouza est située dans la partie Est de la wilaya de Tizi Ouzou. Sa superficie est de 2.157,62 ha et elle est composée de Chêne-liège, Chêne zeen et Chêne afarès.

5. Les principales essences forestières de la wilaya de Tizi-Ouzou

Selon la conservation des forêts de Tizi-Ouzou (2015), les principales essences forestières de la wilaya et leurs superficies sont représentées dans le tableau 2.

Tableau 2 : les principales essences forestières de la wilaya de Tizi-Ouzou et leurs superficies

Essences forestières	Superficie occupée (Ha)
Chêne liège	23.100
Chêne zeen	5.500
Chêne afares	3.500
Eucalyptus	6.000
Résineux	5.000

Source : Conservation de Forêt de la wilaya de Tizi-Ouzou, 2015

CHAPITRE II :
MATÉRIELS ET
MÉTHODES

Chapitre II : Matériels et méthodes

1. Méthodologie de travail

La démarche adoptée pour répondre aux objectifs arrêtés, afin de faire l'estimation et la cartographie des surfaces brûlées par les feux de forêt, se résume comme suit :

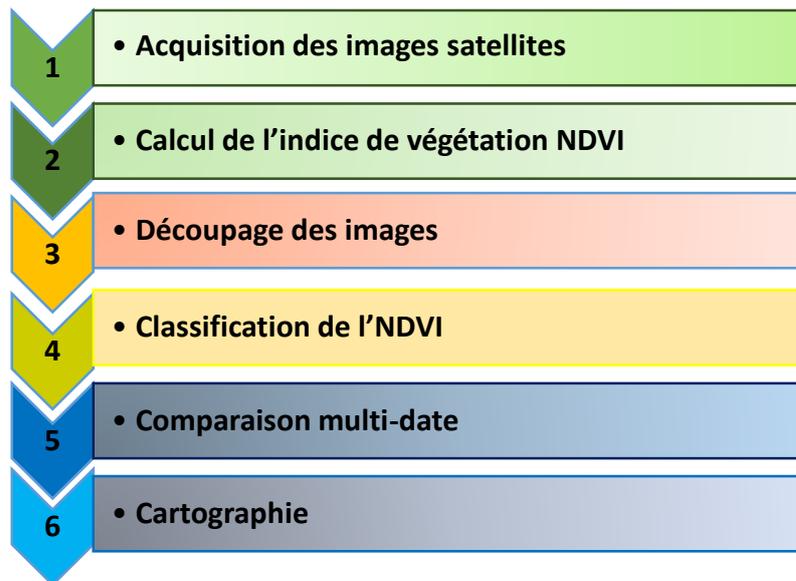


Figure 1 : Etapes adoptées pour l'estimation et la cartographie des surfaces brûlées.

1.1. Acquisition des images satellites

Parmi les différents types de capteurs qui existent sur le marché des images satellites, les images du capteur Sentinel-2 ont été choisies pour les raisons suivantes :

- ✓ elles ont une résolution spatiale de 10 m ;
- ✓ elles ont une résolution temporelle de 5 jours (avec 2 satellites A et B) ;
- ✓ elles sont disponibles moins de 48h après la date de prise de vue ;
- ✓ elles sont disponibles gratuitement via le site web copernicus hub ;
- ✓ elles sont disponibles au niveau de correction 2A (réflectance au bas de l'atmosphère) idéales pour les activités de recherche car elles permettent une analyse plus poussée sans appliquer de corrections atmosphériques supplémentaires.

1.2. Calcul de l'indice de végétation NDVI

L'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ou indice de végétation par différence normalisée est le plus ancien et le plus utilisé des indices de végétation. Il permet de mesurer l'activité physiologique des plantes chlorophyllienne et la discrimination de la végétation. Il est calculé à partir des bandes spectrales rouges (R) et proches infra rouge (PIR) selon l'équation suivante : $NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$.

Cet indice est sensible à la vigueur et à la densité de la végétation. Les valeurs de l'NDVI sont comprises entre -1 et +1. Les valeurs négatives correspondent aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge. Pour les sols nus, la réflectance étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, l'NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs positives, généralement comprises entre 0,2 et 0,8. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses (Sellers, 1985).

1.3. Découpage des images

Au vu de la zone où l'étude est réalisée, un masque a été créé afin de retirer les pixels n'ayant pas d'intérêt à être étudiés qui correspondent aux zones non forestières. L'application de ce masque sur toutes les images satellitaires téléchargées permet de minimiser la taille de l'espace mémoire occupé par ces scènes et par conséquent de réduire le temps d'exécution des calculs effectuée par les logiciels de télédétection et du SIG (Laala et Alatou, 2016).

1.4. Classification de l'NDVI

La classification de l'NDVI permet de classer l'image, selon la valeur de l'NDVI en deux classes thématiques distinctes : végétation et hors végétation. Il existe deux méthodes de classification des images : la classification non supervisée et la classification supervisée.

Dans notre étude, nous avons choisi la classification supervisée, qui est basé sur l'identification des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs des deux types de surfaces (végétation et hors végétation).

1.5. Comparaison multi-dates

Cette étape consiste à comparer les images classées de l'NDVI des différentes dates choisies. La comparaison se fait entre deux dates qui se suivent et de façon chronologique (de la plus ancienne à la plus récente) pour voir l'évolution des zones en fonction du type de classe (végétation ou hors végétation).

Si la stabilité des deux classes signifie l'absence d'incendie de forêt, le basculement d'une zone de végétation en zone hors végétation peut signifier deux chose : soit il y a eu un incendie, soit il y a la présence de nuages sur l'image.

La seule façon de distinguer les incendies de forêt des nuages est de comparer l'ensemble de la série multi-date. Si le basculement de la végétation vers la zone hors végétation est continu dans le temps cela reflète bien l'occurrence d'un incendie de forêt, par contre si le basculement est réversible durant les dates suivantes cela exclu la présence d'un feu et confirme celle d'une masse nuageuse.

1.6. Cartographie

Cette dernière étape permet de réaliser les différentes cartes et graphiques qui illustrent bien les résultats de ce travail et aussi le calcul des surfaces incendiés.

2. Matériels utilisés

2.1. Images Sentinel-2

Sentinel-2 a été développé et est exploité par l'Agence spatiale européenne, et les satellites ont été fabriqués par un consortium dirigé par Airbus Defence and Space (Figure 2). Il a deux plateformes (Sentinel-2A et 2B). Pour notre étude, nous avons utilisé le niveau de traitement L2A.

Les données des missions Sentinel sont disponibles sur le web à l'adresse suivante : <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>.

Le programme EU COPERNICUS est une source d'informations pour les décideurs, l'industrie, les scientifiques, privés et publics, il a deux composantes : Espace et Services. Le Open Access Hub est un portail interactif unique pour toutes les données satellitaires

Copernicus : user self-registration, requêtes géographiques (ROI) et Téléchargement (Gaetano, 2018). Les caractéristiques techniques du Sentinel-2 sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractéristiques des satellites sentinel-2.

Satellites	2 vaisseaux en configuration jumelle
Programme	Copernicus
Bandes spectrales	13 dans les domaines visible, proche et moyenne infrarouge
Résolutions spatiales	10m / 20m / 60m
Orbite	Héliosynchrone à 786 km (LTDN 10:30am)
Fauchée	290 km
Couverture géographique	Systematique sur surfaces continentales et traits de côte
Répétitivité	5 jours à l'équateur (avec 2 satellites et sans considérer les nuages)
Durée de vie	7.25 ans extensible à 12 ans



Figure 2 : La mission sentinel-2.

2.2. Logiciels utilisés

Trois logiciels ont été utilisés pour l'estimation et la cartographie des surfaces brûlées par les feux de forêt durant l'été 2021 au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou.

2.2.1. SNAP

Le SNAP (SentiNel Application Platform) est un logiciel ESA pour le traitement et l'analyse de données Sentinel, il se caractérise par un large ensemble d'outils pour le traitement

des images Sentinel-2, notamment pour l'extraction d'informations en lien avec la végétation et une documentation plutôt claire et exhaustive (Gaetano, 2018).

Dans notre étude le calcul de l'indice de végétation NDVI a été réalisé grâce à ce logiciel.

2.2.2. ENVI 5.1

L'ENVI (Environnement For Visualing Images) est un logiciel permettant la lecture et le traitement des images satellitaires et données numériques dans le domaine de la télédétection spatiale. Il a été utilisé pour réaliser la classification supervisée des images NDVI afin de distinguer les zones végétales des zones dépourvues de végétation.

2.2.3. ArcGIS 10.3

ArcGIS est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute, Inc.).

Ce logiciel permet de visualiser, d'interroger, d'analyser et de mettre en page les données géographiques. Il fournit des outils interactifs pour explorer, sélectionner, afficher, éditer, analyser, symboliser et classifier les données ou pour créer automatiquement, mettre à jour ou gérer les cartes et métadonnées (Ouamara, 2013).

La version 10.3 d'ArcGIS a été utilisée lors de cette étude pour la comparaison multi-date, la confection des cartes et le calcul des surfaces brûlées par les feux de forêt.

CHAPITRE III
RÉSULTATS ET
DISCUSSION

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Acquisition des images satellitaires et sélection des dates

Durant l'été 2021, au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou, nous avons dénombré 28 scènes Sentinel-2. Après consultation des images et élimination de celles contenant d'importantes couvertures nuageuses, il ne reste plus que 07 dates : le 13/06, le 23/07, le 28/07, le 07/08, le 12/08, le 22/07 et le 16/10 (Tableau 4).

Tableau 4 : Dates et références des images satellites sélectionnées.

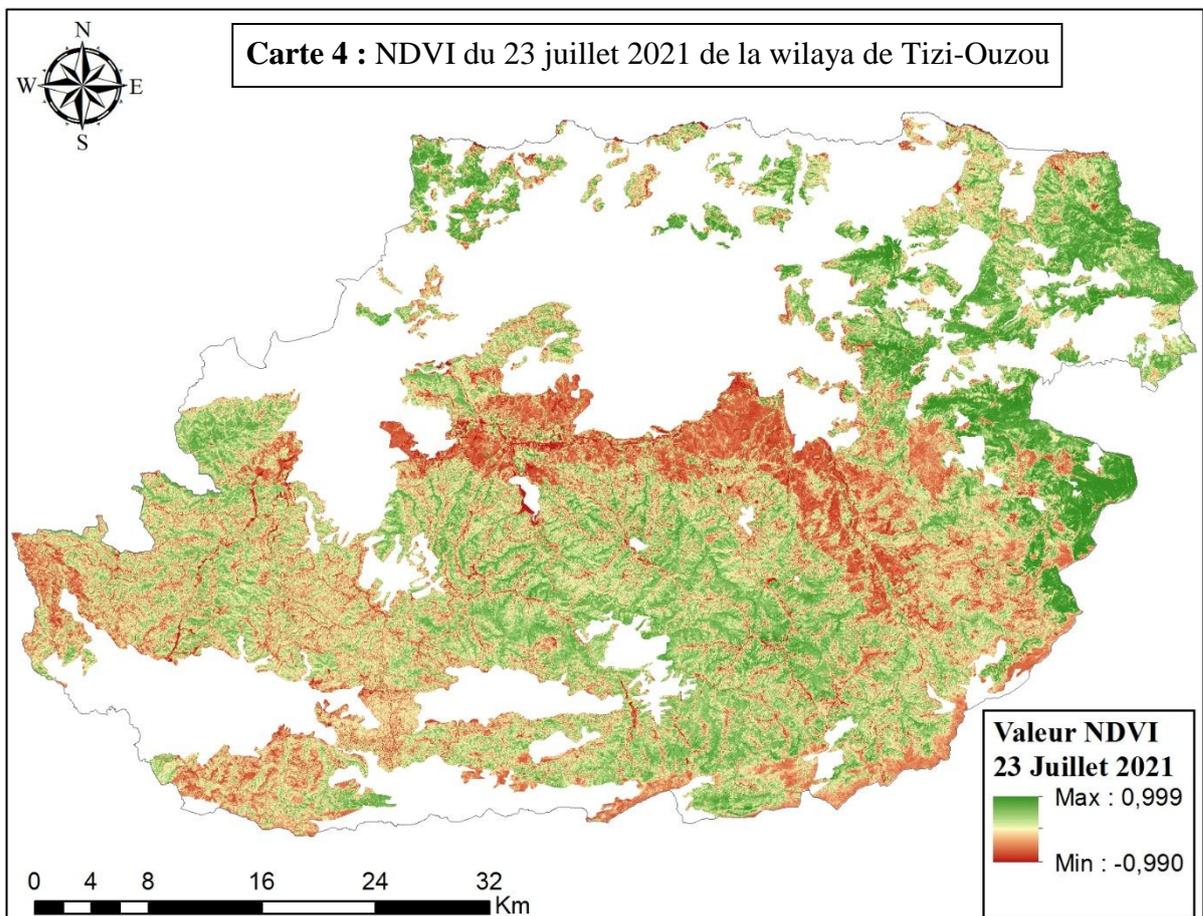
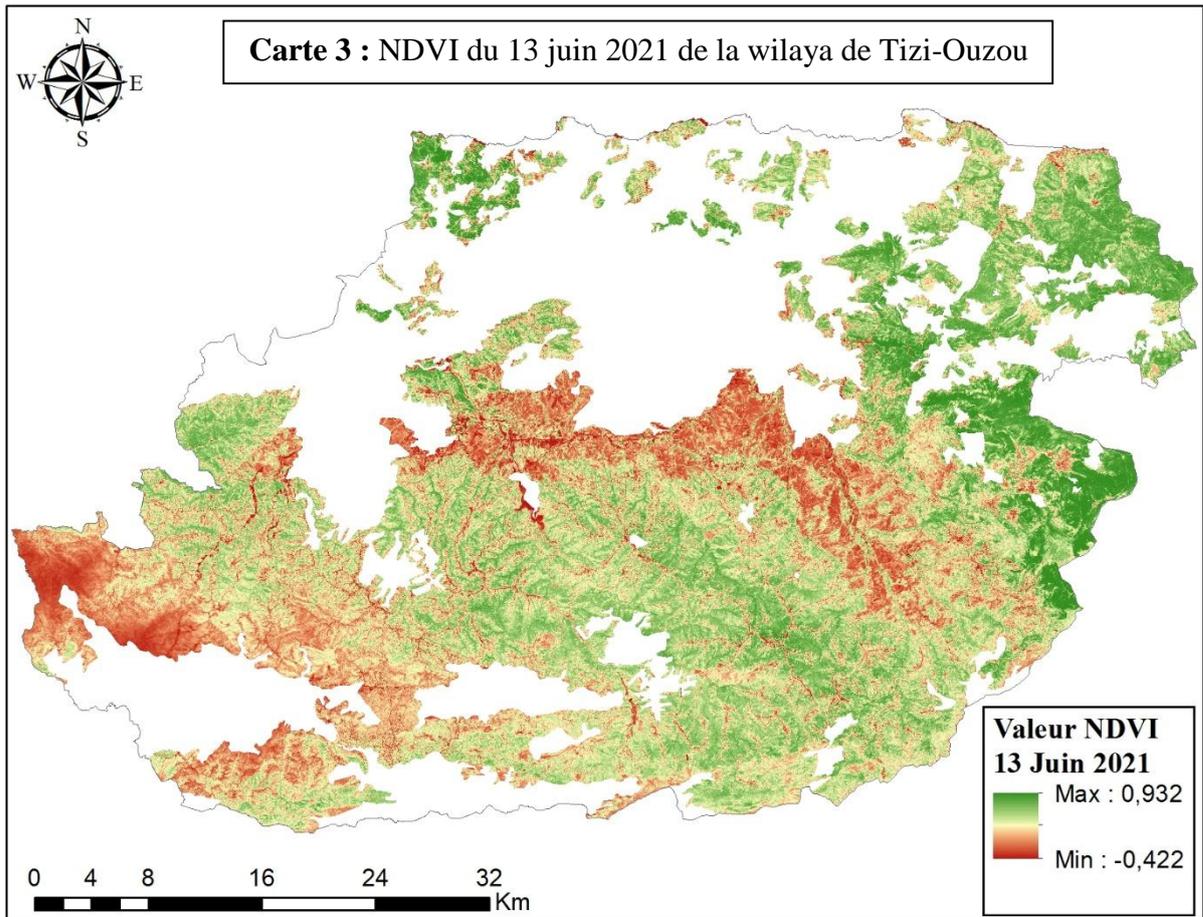
Satellite	Dates	Références
Sentinel-2	13/06/2021	S2A_MSIL2A_20210509T103021_N0300_R108_T31SFA_20210509T133016
Sentinel-2	23/07/2021	S2B_MSIL2A_20210723T102559_N0301_R108_T31SEA_20210723T133534
Sentinel-2	28/07/2021	S2A_MSIL2A_20210728T103031_N0301_R108_T31SEA_20210728T152601
Sentinel-2	07/08/2021	S2A_MSIL2A_20210807T103031_N0301_R108_T31SEA_20210807T140335
Sentinel-2	12/08/2021	S2B_MSIL2A_20210812T102559_N0301_R108_T31SEA_20210812T134751
Sentinel-2	22/08/2021	S2B_MSIL2A_20210822T102559_N0301_R108_T31SEA_20210822T133528
Sentinel-2	16/10/2021	S2A_MSIL2A_20211016T103031_N0301_R108_T31SEA_20211016T133750

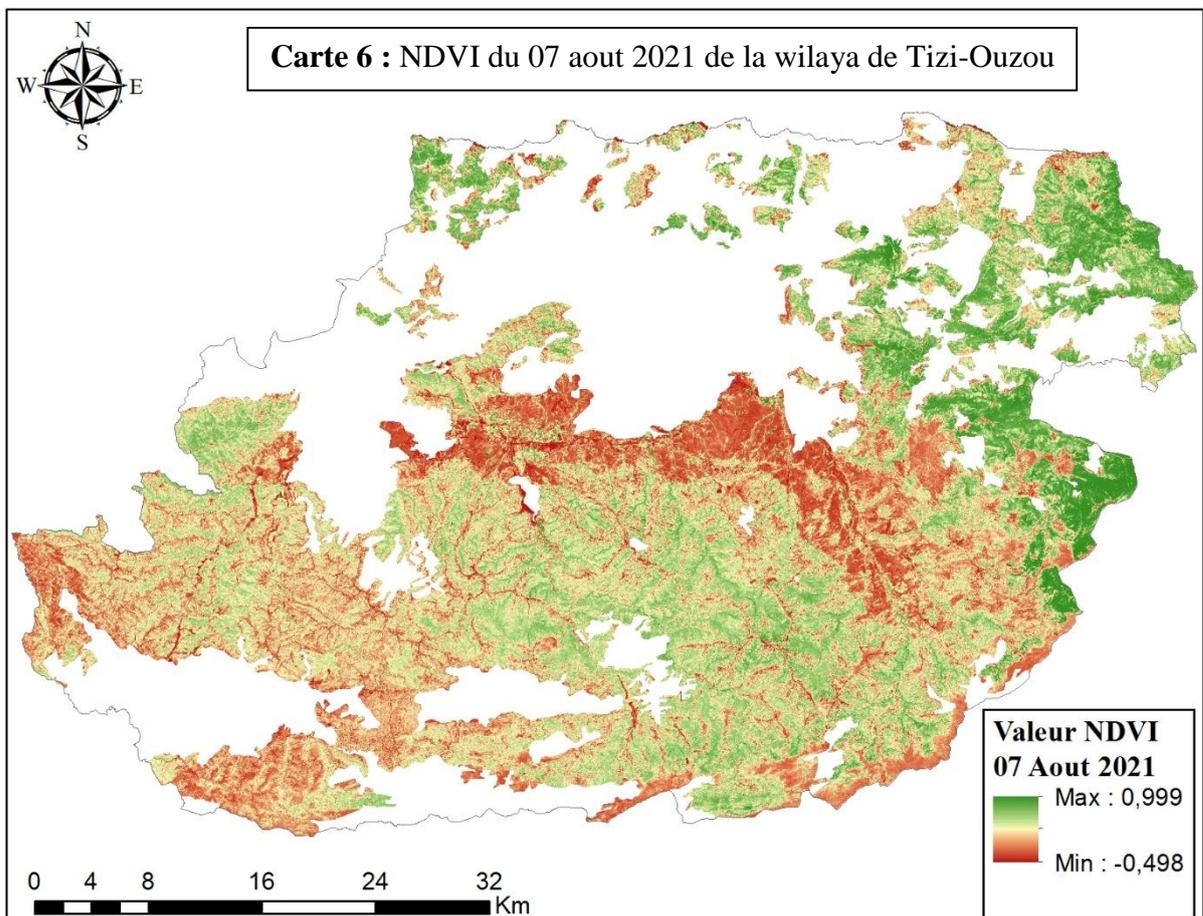
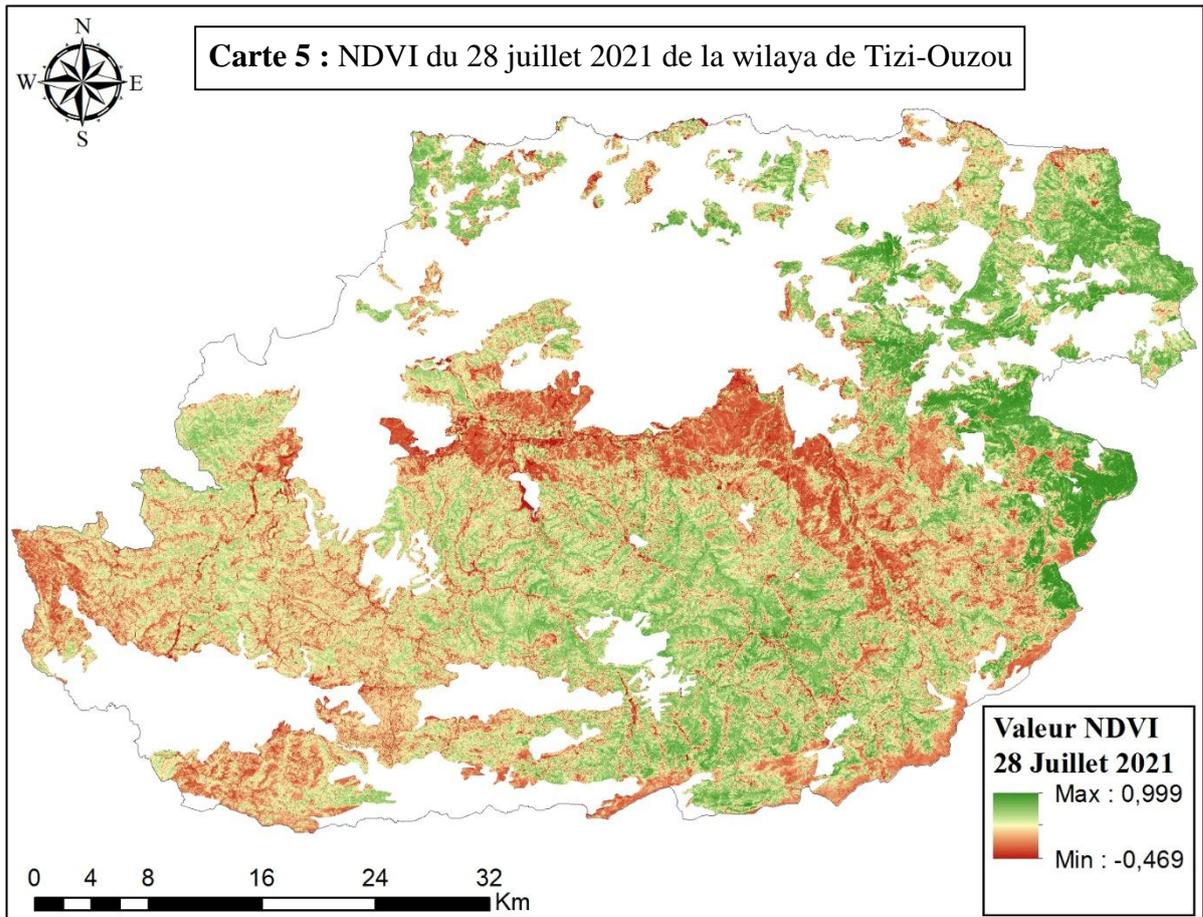
2. Calcul de l'indice de végétation NDVI

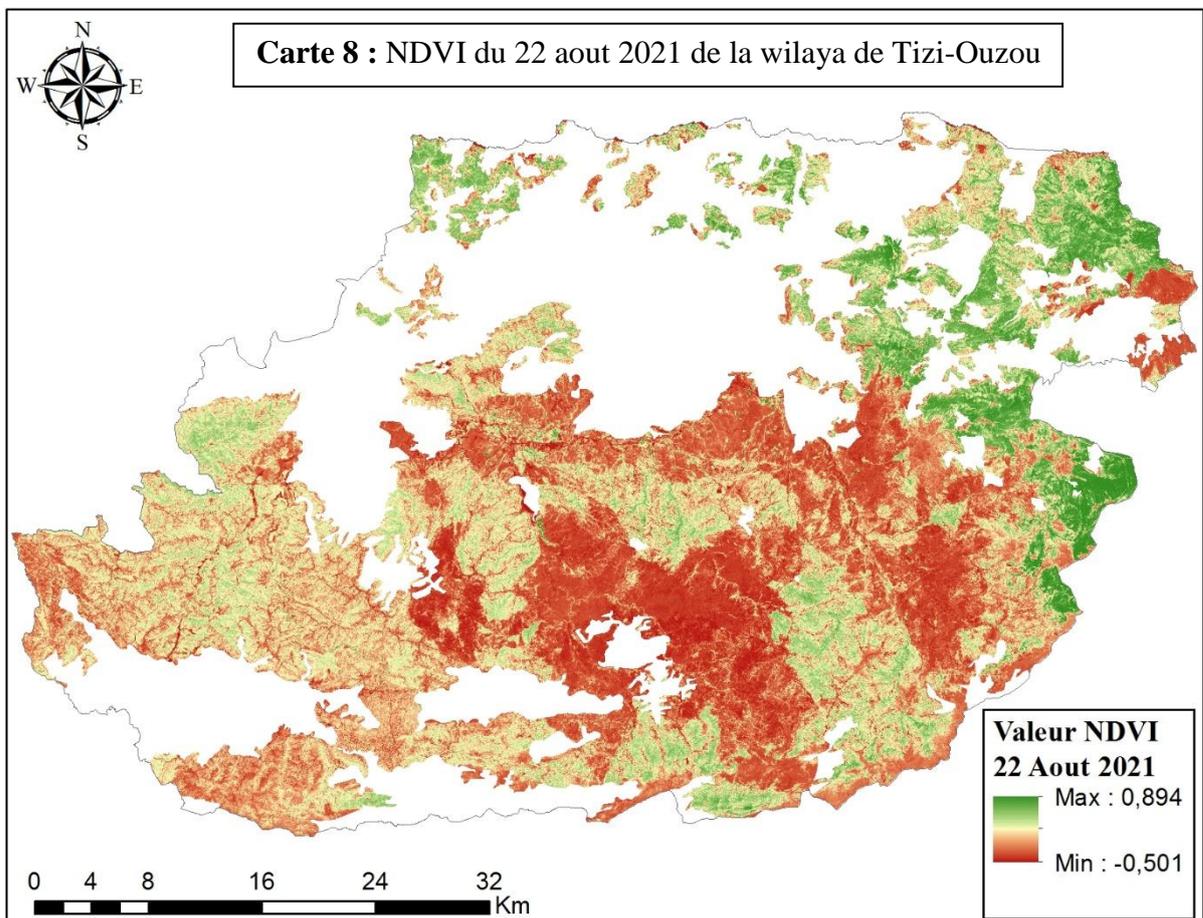
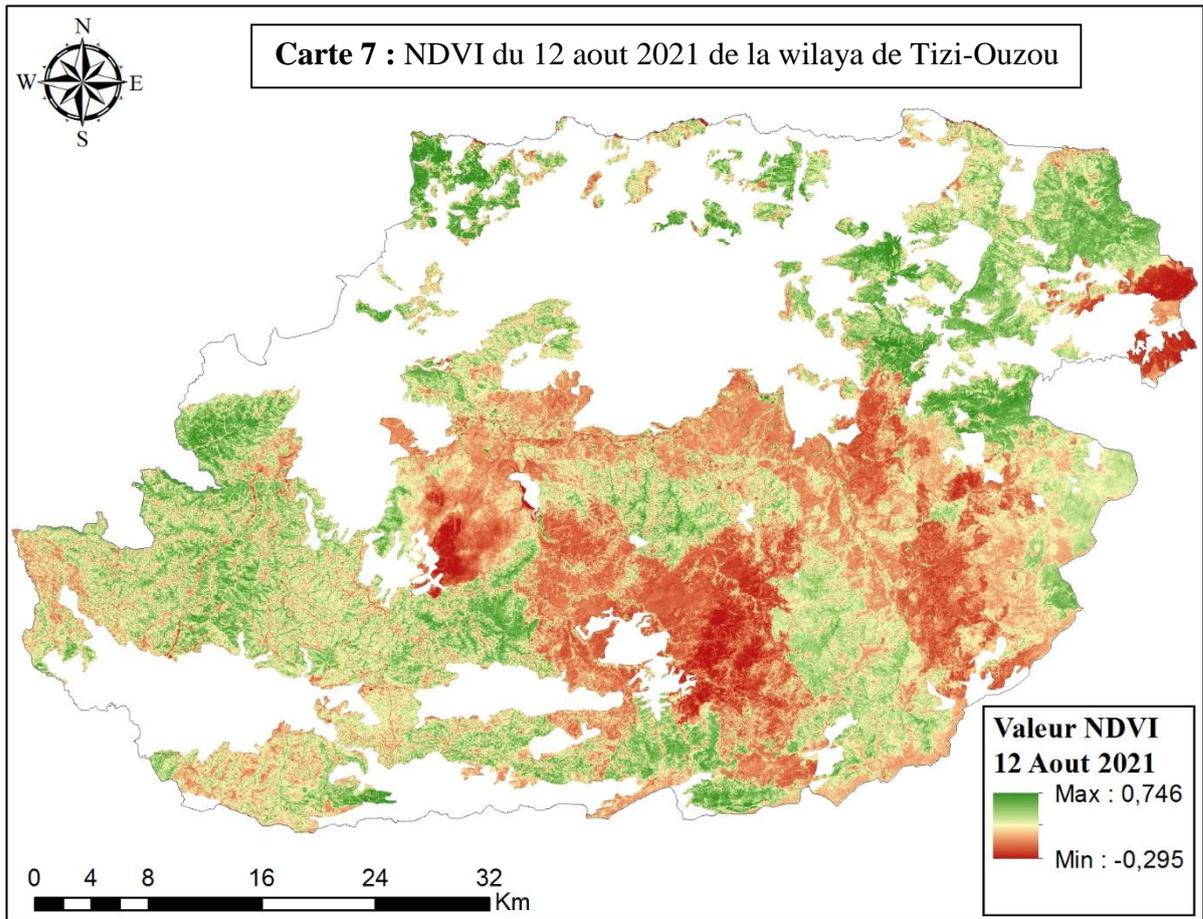
Les valeurs de l'NDVI calculées pour l'ensemble des massifs forestiers de la wilaya de Tizi-Ouzou sont comprises entre - 0,994 et + 0,999. Les valeurs les plus faibles, représentées par des tons rouges, correspondent aux zones dépourvues de végétation (sol nu, roches, eau, nuage, bâtis, route, etc...). Les valeurs positives plus élevées de l'NDVI représentées par des tons verts, correspondent aux zones couvertes par la végétation.

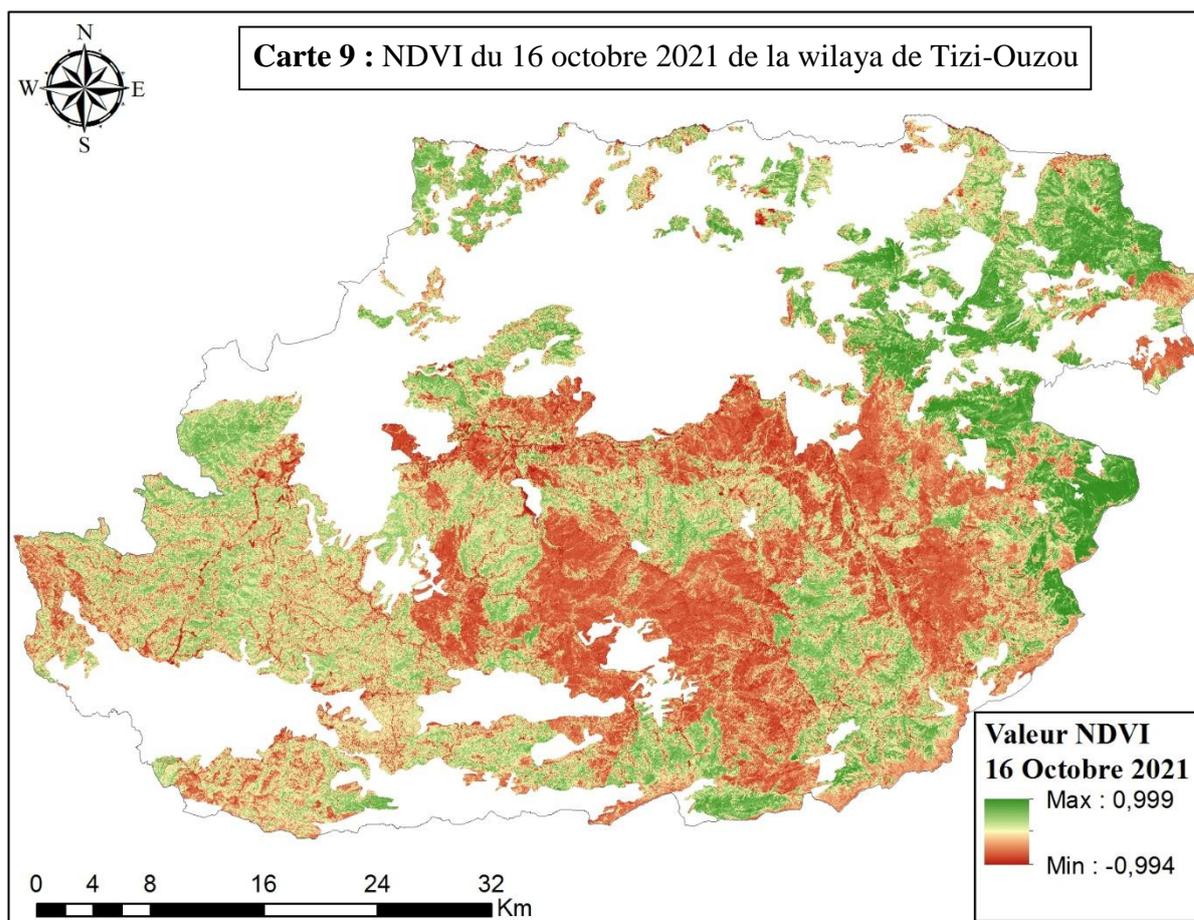
Les limites des types de formation végétale de la wilaya de Tizi-Ouzou, à savoir : forêt, maquis, maquis arborés, reboisement et oléo-culture (représenté dans la carte 2), ont été utilisées comme masque pour découper l'image satellite. Ceci a permis d'exclure des images satellites les zones urbaines, l'agriculture, les parcours et les plans d'eau.

Les résultats du calcul de l'NDVI pour les différentes dates sont présentés dans les cartes 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9.









3. Classification supervisée de l'NDVI des différentes dates

Le résultat de la classification supervisée de l'NDVI des images sentinel-2 des 7 dates, sont présentées dans les cartes de 10 à 16. Ce sont des cartes bien précises pour la différenciation entre les deux classes « végétation » et « hors végétation. Les seuils de l'NDVI utilisés pour la classification supervisée sont :

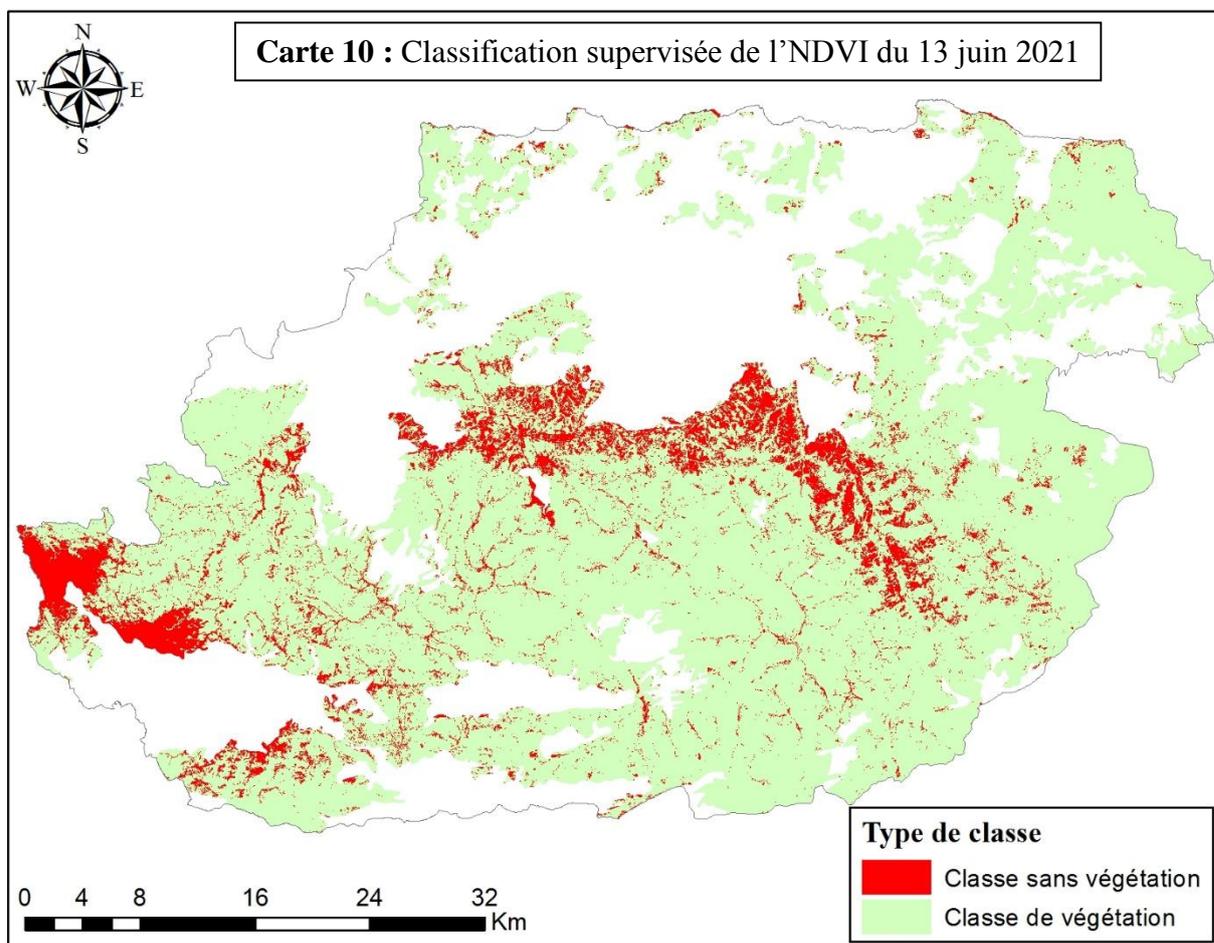
- $-1 \leq \text{NDVI} \leq +0,20$ pour la classe hors végétation ;
- $+0,20 < \text{NDVI} \leq +1$ pour la classe végétation.

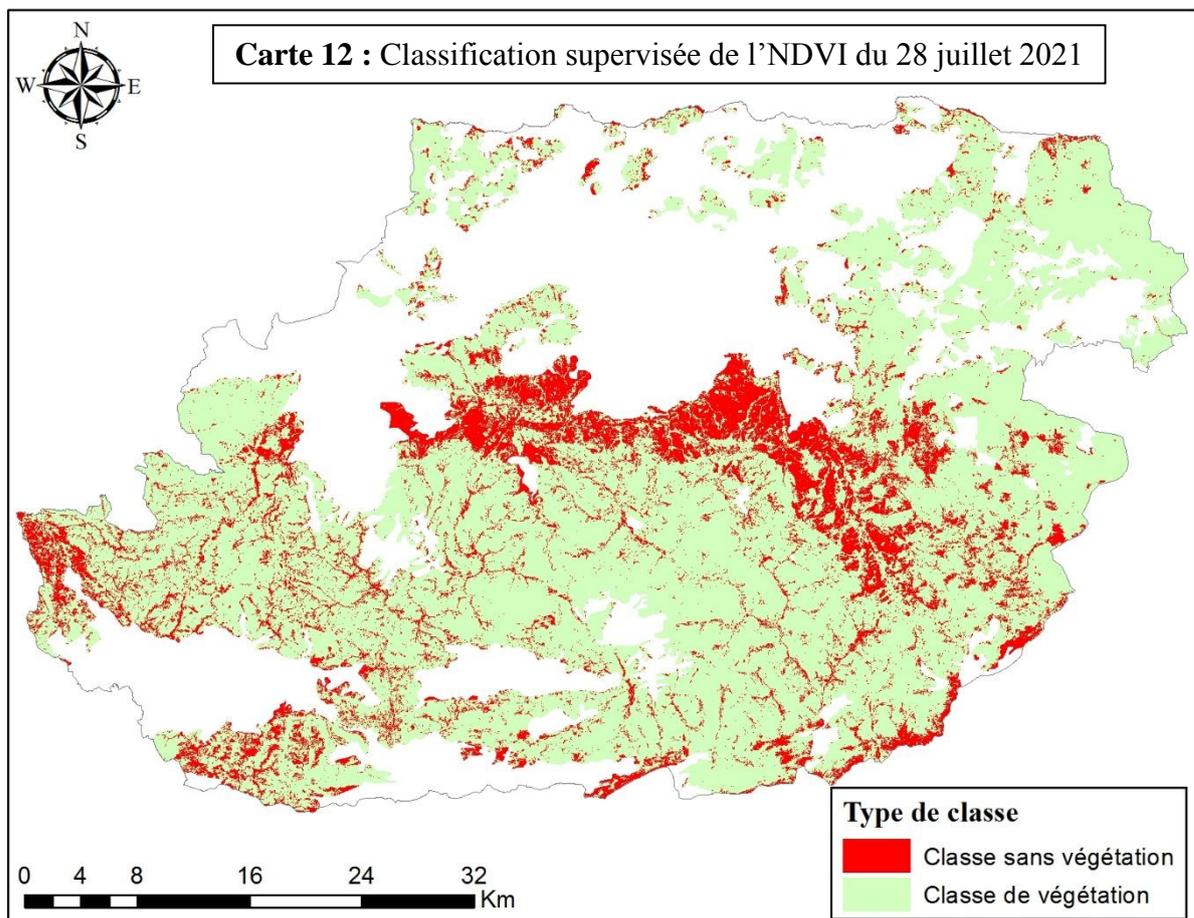
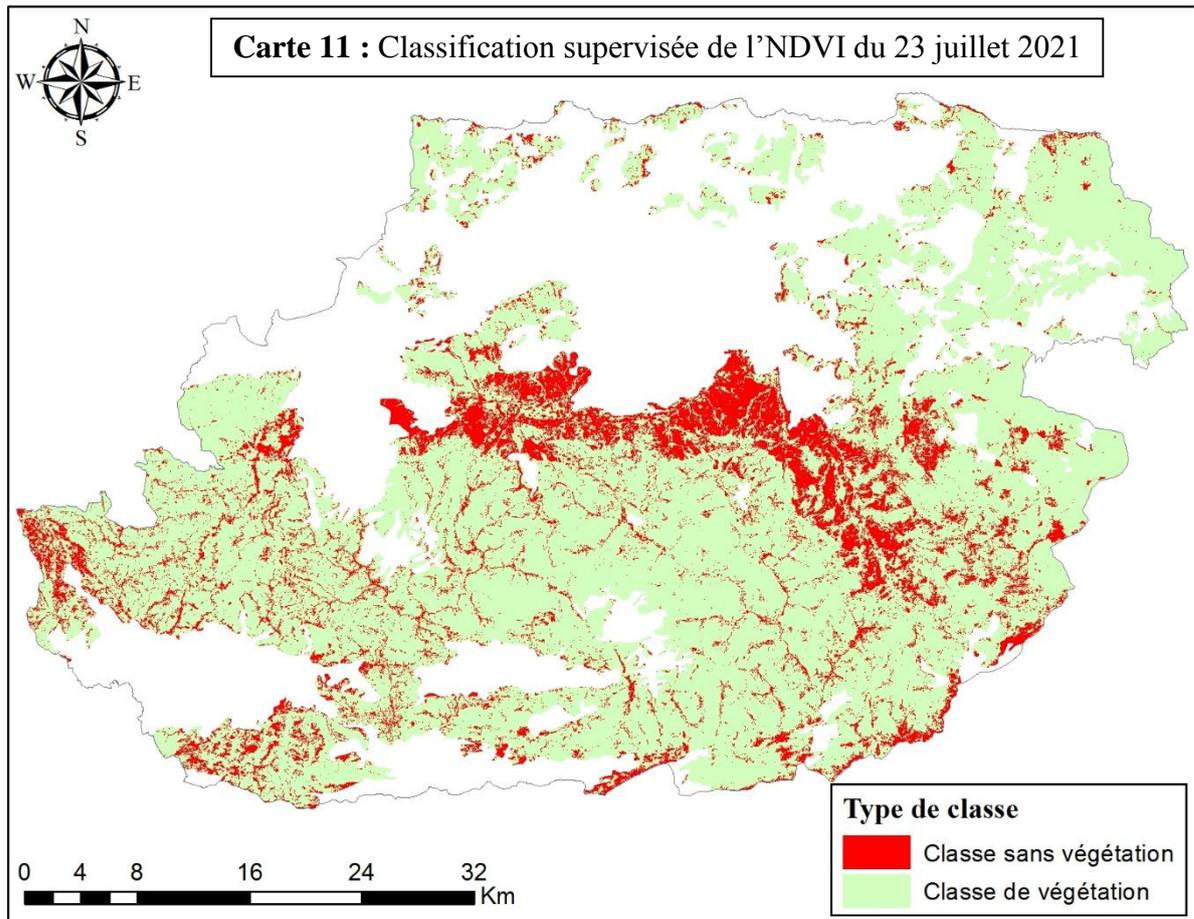
Les cartes 10, 11, 12, 13, 14, 15, et 16 illustrent, spatialement et quantitativement, les changements importants dans les deux classes (végétation et hors végétation) des formations forestières de la wilaya de Tizi-Ouzou entre le 13 juin et le 16 octobre 2021.

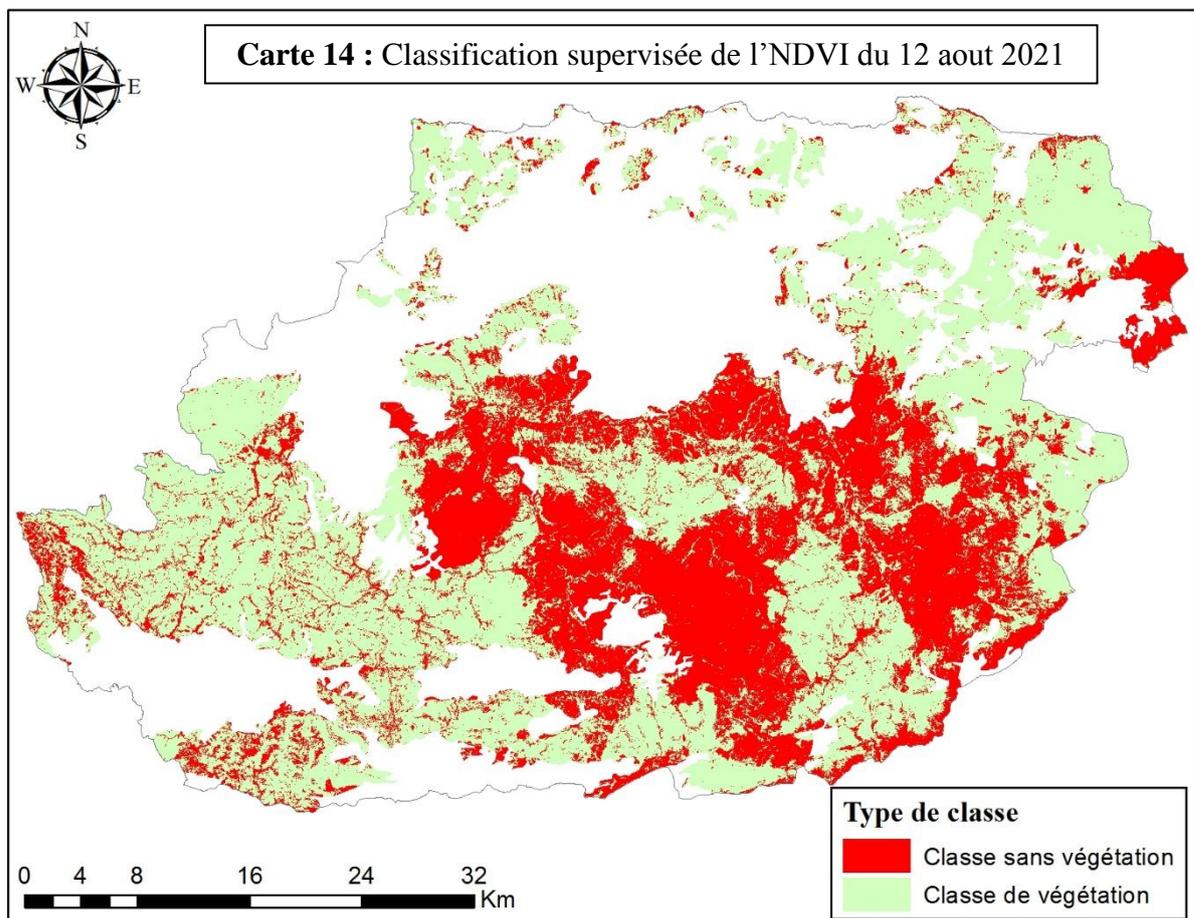
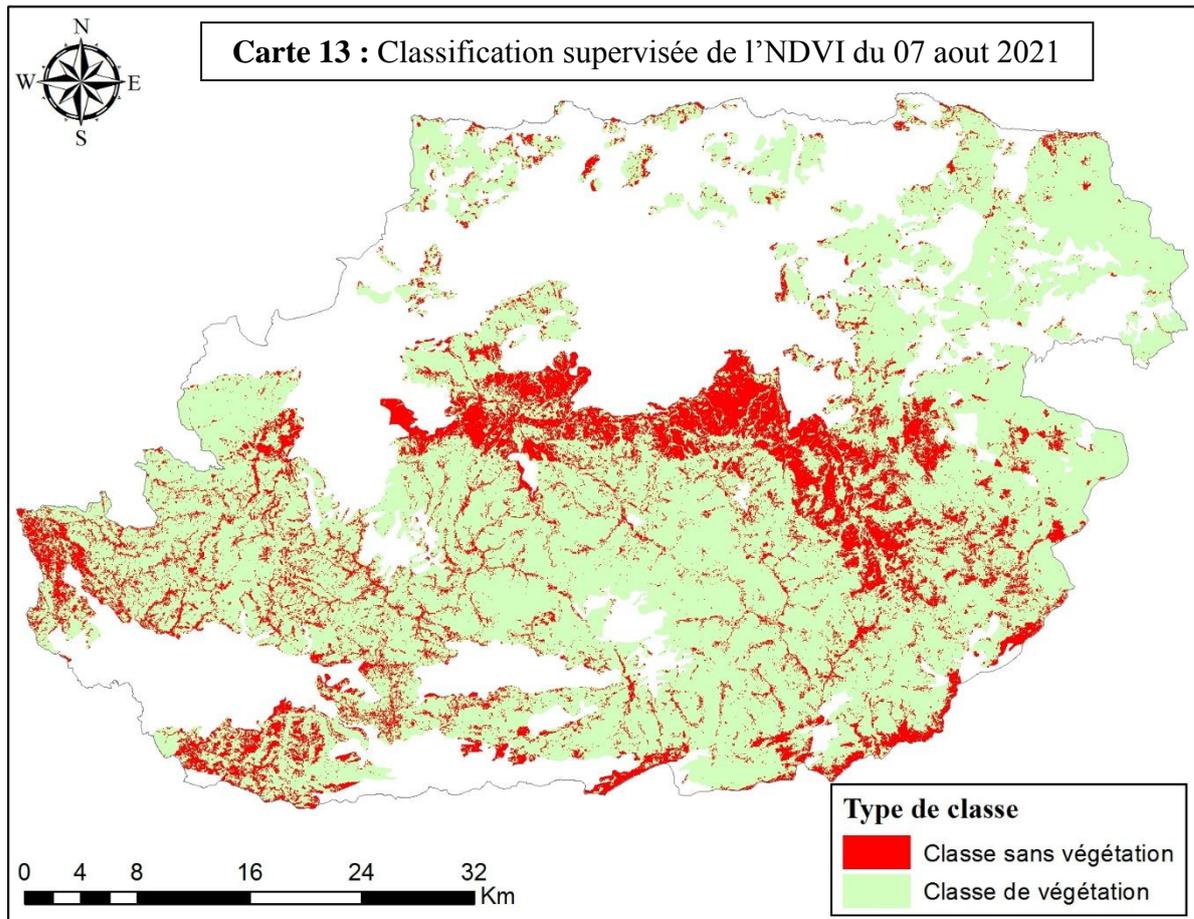
Ces changements se traduisent par une régression de la végétation et une progression des zones hors végétation (Tableau 5).

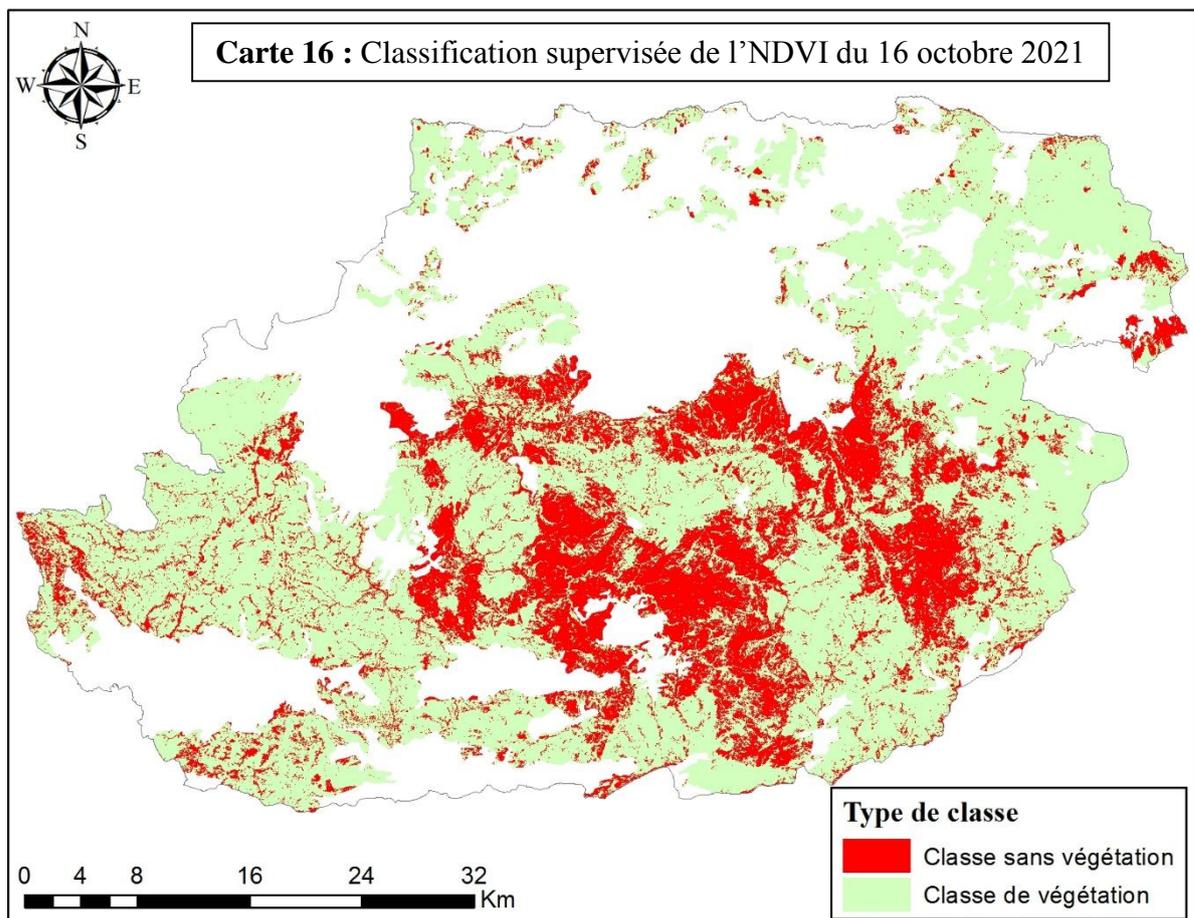
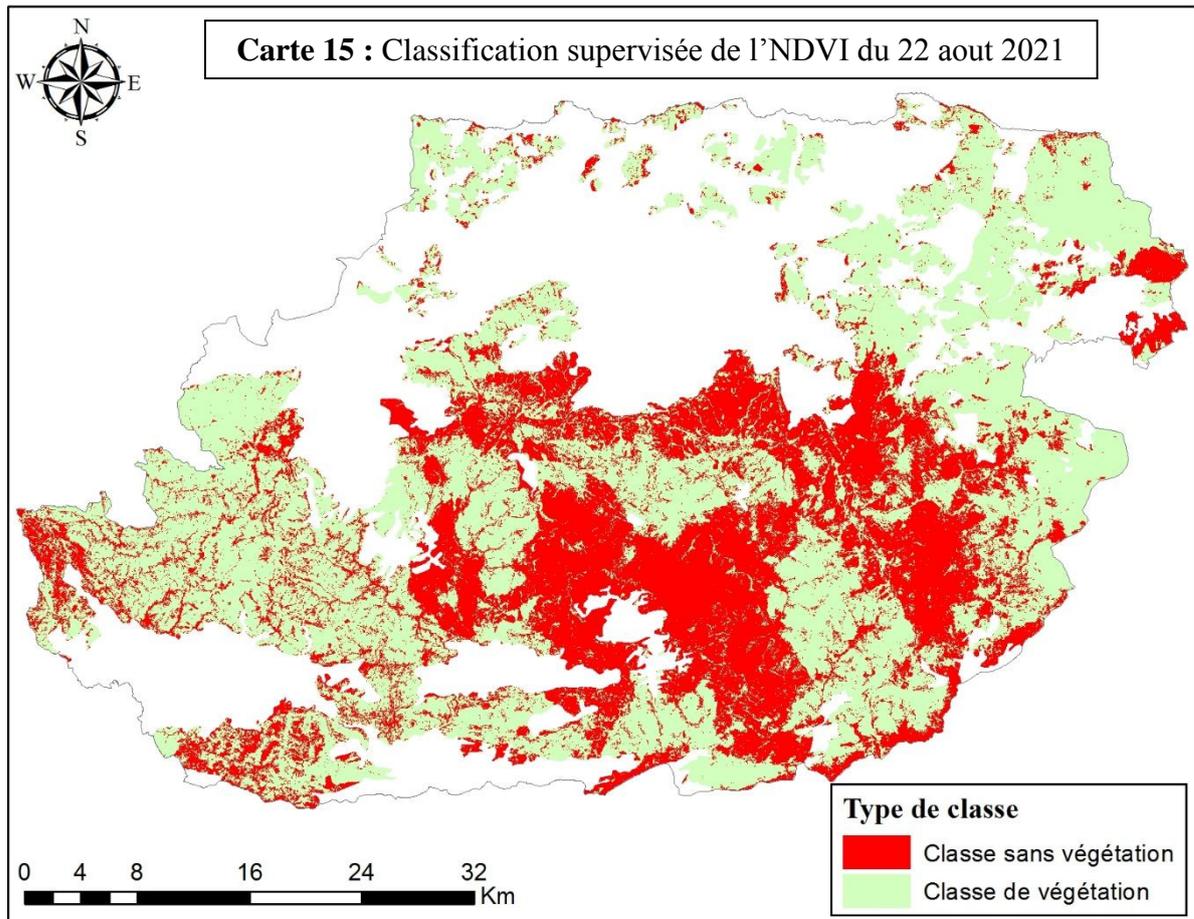
Tableau 5 : Evolution des classes végétation et hors végétation du 13 juin au 16 octobre 2021.

Date	Classe végétation (ha)	Classe hors végétation (ha)
13 juin	168.032,40	22.176,96
23 juillet	157.982,40	32.208,51
28 juillet	155.198,94	34.992,64
07 aout	152.240,67	37.948,97
12 aout	116.155,18	74.036,34
22 aout	116.207,54	73.984,17
16 octobre	136.141,35	54.047,89
Bilan période	- 31.891,05	+ 31.870,93







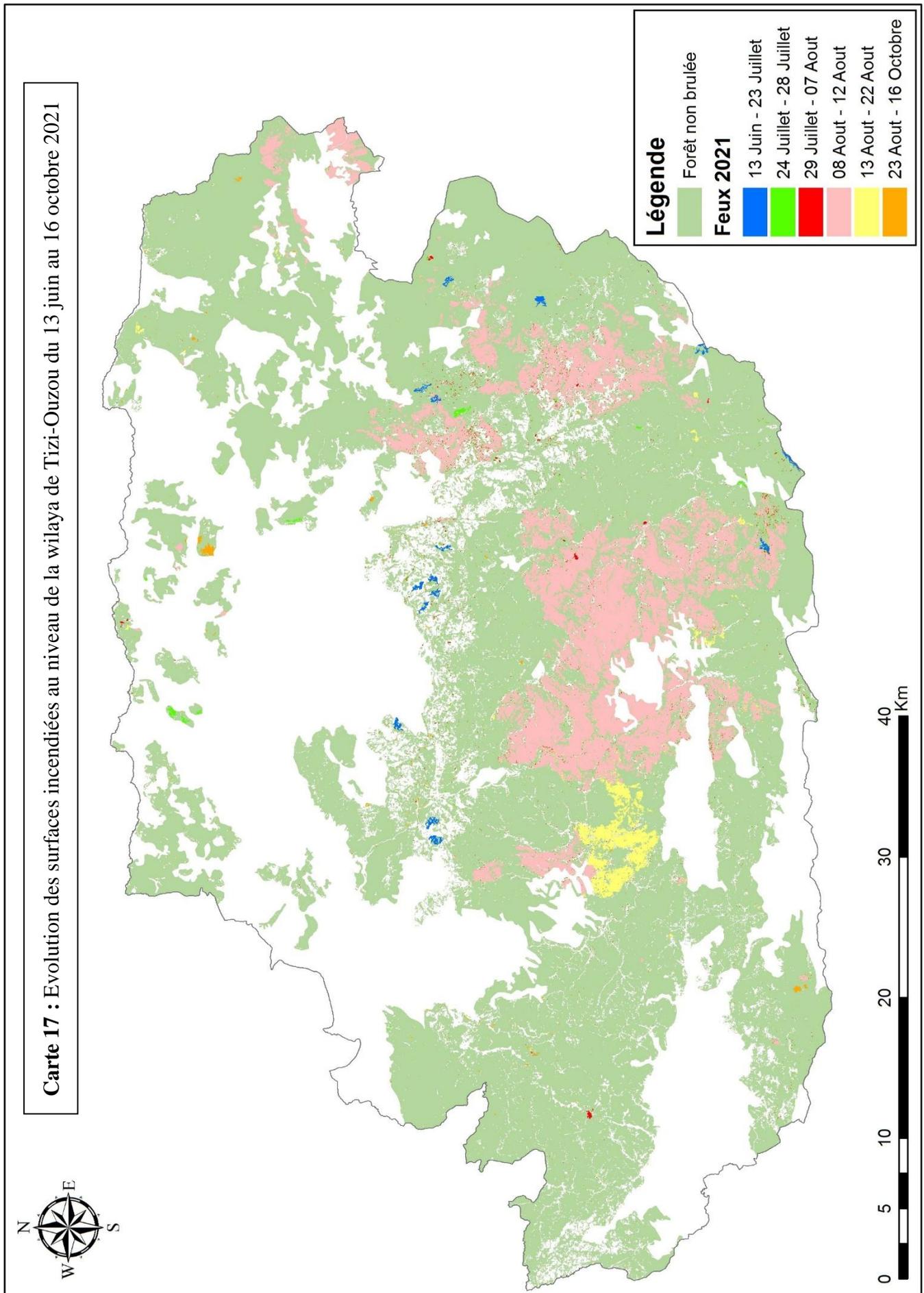


4. Cartographie des surfaces brûlées au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou durant l'été 2021

La cartographie des zones brûlées a été obtenue grâce à la comparaison multi-date des images classées des différentes dates suivant un ordre chronologique croissant. Les résultats de cette analyse sont présentés dans la carte 17.

A partir de la carte 17 qui illustre l'évolution des superficies incendiées durant l'été 2021 au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou, nous avons pu réaliser une estimation des surfaces brûlées pour chacune des 6 périodes :

- **Période du 13 juin au 23 juillet** : durant cette période, de 40 jours, nous avons enregistré plusieurs surfaces brûlées d'une superficie totale estimée à 348,80 ha, soit près de 0,21% de la surface végétale totale de la wilaya de Tizi-Ouzou.
- **Période du 24 au 28 juillet** : durant ces 5 journées, le bilan des surfaces incendiées est deux fois plus important que la période précédente, avec ses 716,49 ha il représente une perte de 0,43% de la surface végétale de la wilaya.
- **Période du 29 juillet au 07 aout** : la superficie brûlée pendant cette dizaine de jours s'élève à 566,84 ha (0,34%).
- **Période du 08 au 12 aout** : cette période est la plus catastrophique, puisqu'en l'espace de seulement 5 jours 23.221,81 ha ont été ravagées par les feux de forêts. Cette surface représente 13,82% de la surface végétale totale de la wilaya. De plus ce qui caractérise cette période c'est que plusieurs départs de feux ont éclatés simultanément dans divers communes de la wilaya.
- **Période du 13 au 22 aout** : cette dizaine de jours affiche une surface totale brûlée estimée à 2.093,85 ha, soit 1,25%.
- **Période du 23 aout au 16 octobre** : durant cette dernière période 314,92 ha, soit 0,19%, de la surface végétale a été brûlée.



5. Comparaison entre les surfaces brûlées estimées par télédétection et celles estimées par les agents forestiers sur terrain

Le résultat de la comparaison des superficies brûlées obtenues par télédétection avec le bilan de la conservation des forêts de Tizi-Ouzou, sont présentés dans la figure 3.

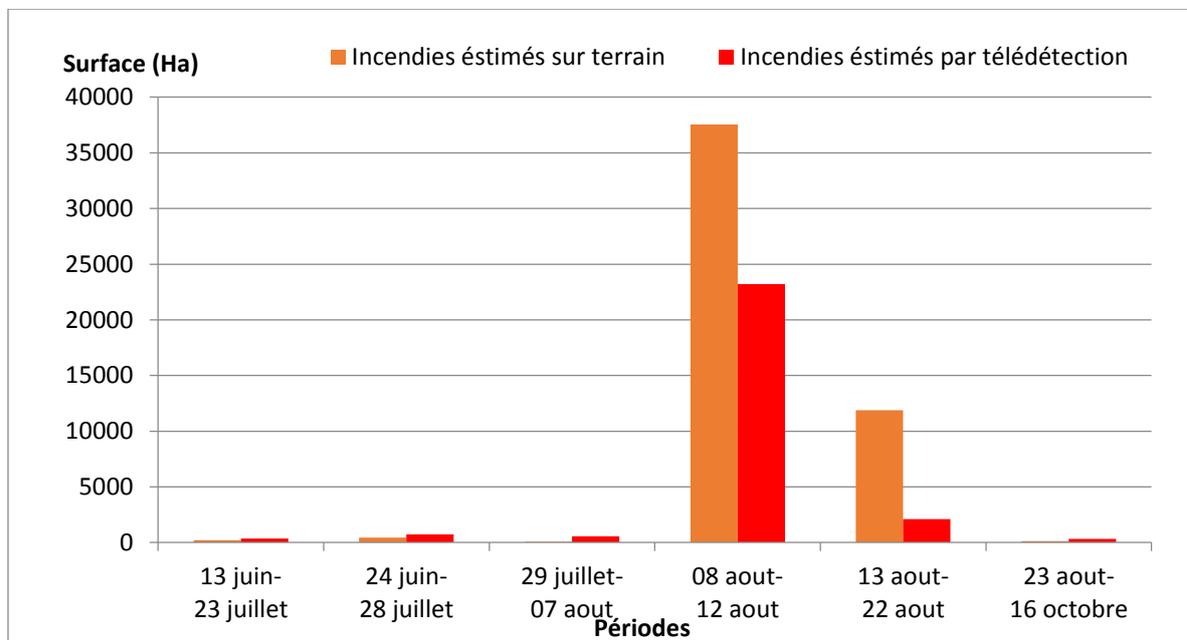


Figure 3 : Surfaces incendiées durant l'été 2021 estimées par télédétection et par la conservation des forêts de la wilaya de Tizi-Ouzou.

Les résultats de la comparaison montrent que pour les périodes du 13 juin au 07 août et du 23 août au 16 octobre, la surface calculée sur terrain est légèrement sous-estimée par rapport à celle calculée par télédétection. Cela s'explique par la grande précision de la résolution spatiale utilisée où chaque pixel correspond à une surface de 100 m². Donc pour les petites surfaces brûlées elles sont plus difficiles à détecter sur terrain surtout dans les régions avec un relief accidenté, comme c'est le cas à Tizi-Ouzou.

Pour la période du 08 au 22 août la surface calculée sur terrain est beaucoup plus importante que celle calculée par télédétection. Cet écart s'explique par le fait que la limite du masque utilisée pour découper la zone d'étude ne prend pas en compte les zones de parcours et l'agriculture mais uniquement les zones forestières, les maquis, les reboisements et l'oléoculture, alors que dans les bilans de la conservation des forêts les broussaille des zones de parcours et d'agriculture sont pris en compte comme surface brûlée. Cette catégorie de feux désignée par autres dans les bilans de la conservation des forêts représente une surface de plus de 25.000 ha.

CONCLUSION

Conclusion

L'objectif principal de ce travail a été de proposer une méthode simple, rapide et efficace, avec des moyens accessibles, pour cartographier et estimer les surfaces incendiées par les feux de forêt quelques jours après leur éclosion.

Cet objectif répond aux attentes de la DGF et des conservations des forêts de toutes les wilayas algériennes, qui souhaitent réaliser un suivi détaillé des feux de forêts et établir des bilans précis tout au long de la campagne d'incendie qui commence au mois de juin et se termine au mois d'octobre.

Les résultats obtenus lors de l'application de cette méthode au niveau de la wilaya test de Tizi-Ouzou durant l'été catastrophique de 2021, sont très concluant, que ce soit en termes de cartographie des surfaces brûlée ou en termes de suivi temporel de ces feux.

L'utilisation des images satellitaires fournies par les satellites sentinel-2 s'est avérée très efficace, surtout quelles sont disponibles moins de 48h après la prise de vue. De plus avec une fréquence temporelle de 5 jours (6 images en moyenne par mois) et une résolution spatiale élevée de 10 m (chaque pixel représente 100 m²) combinée à un accès gratuit font que ces images sont la meilleure option disponible pour réaliser ce travail de suivi des feux de forêt en Algérie.

Enfin, il est à noter que pour répondre aux exigences des conservations de forêts en terme de bilan des surfaces incendiée, il faut modifier le masque utilisé pour découper les images NDVI de la zone d'étude, en rajoutant les zones de parcours et les terre agricoles qui sont généralement pris en compte dans le calcul du bilan des feux de forêt.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **Alatou H., 2015.** Viabilité des feuillus de l'arboretum de Draa Naga (Constantine). Mémoire de master. université Mentouri de Constantine, 92 p.
- **Ammiche S., Oumezzaouche N., 2018.** Valorisation des Produits forestiers non ligneux dans la wilaya de Tizi-Ouzou : Cas de la forêt des Beni Ghobri. Mémoire de fin d'étude. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 90 p.
- **Arfa A.M.T., 2008.** Les incendies de forêts en Algérie : Stratégie de prévention et plans de gestion. Thèse de magister. Université Mentouri de Constantine, 115p.
- **Arfa A.M.T., Benderradji M.E.H. et Alatou D. 2009.** Analyse des bilans des incendies de forêt et leur impact économique en Algérie entre 1985 et 2006. Rev .NEW MEDIT. Vol. VIII-n.1/ 2009. pp 46-51.
- **Arfa A.M.T., 2019.** Application du SIG et de la télédétection pour un outil cartographique d'aide à la gestion des feux de forêts dans la wilaya d'El Tarf. Thèse de doctorat. université des Frères Mentouri Constantine 1, 230 p.
- **Belkaid H., 2016.** Analyse spatiale et environnementale du risque d'incendie de forêt en Algérie, cas de la Kabylie maritime. Thèse de doctorat. Université de Nice - Sophia Antipolis, p 67-68.
- **Benbelkacem R., Messaoudene N., 2019.** Etude de la typologie des peuplements : cas des subéraies de la forêt de Mizrana (Commune de Mizrana - Wilaya de Tizi-Ouzou). Mémoire de fin d'étude. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, p 24-25.
- **Bouedja K., Abdelhakim T., 2013.** Émergence et résurgence de représentations territoriales face à des mutations socio-économiques dans un territoire rural forestier en Algérie. Article. Presses de Sciences Po (P.F.N.S.P.), N° 66, p 21- 42.
- **Chenoune O., 2017.** Evaluation socioéconomique des projets de développement rural dans la wilaya de Tizi-Ouzou et perspective de développement rural durable des territoires". Thèse doctorat en science, UMMTO, Algérie, 286 p.

- **Derridj A., Meddour S., 2021.** Le risque d'incendie de forêt : évaluation et cartographie. Le cas de la wilaya de Tizi Ouzou, Algérie (période 1986-2005). Article. Sécheresse, 95-187 pp.
- **D.G.F., 2016.** Direction Générale des Forêts « Stratégie forestière à l'horizon 2035 ».
- **D.P.S.B., 2019.** Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires De la wilaya de TIZI-OUZOU. Annuaire statistique Année 2018, p 8-9.
- **Gaetano R., 2018.** Le Programme Copernicus et la mission Sentinel-2. Article, 28 p.
- **Laala A. et Alatou D., 2016.** Analyse de la dynamique des massifs forestiers de l'Est algérien par la télédétection satellitaire, article, 956,957pp.
- **Messaoudene M., Laribi M., Derridj A., 2007.** Étude de la diversité floristique de la forêt de l'Akfadou (Algérie). N° 291 (1), p77-78.
- **Ouamara A., 2013.** Etude et mise en œuvre des systèmes d'information géographique. Mémoire de master. Université Abderrahmane Mira. Bejaia, 58 p.
- **Sellers P. J., 1985.** Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. International Journal of Remote Sensing 6 : pp 1335-1337.

RÉSUMÉS

Résumé

Eu égard aux attentes de la direction générale des forêts et de ses conservations, qui souhaitent réaliser un suivi détaillé des feux de forêts et établir des bilans précis tout au long de la campagne d'incendie qui commence au mois de juin et se termine au mois d'octobre, nous avons proposé une méthode simple, rapide et efficace, avec des moyens accessibles, pour cartographier et estimer les surfaces incendiées par les feux et ce quelques jours après leur éclosion. Les résultats obtenus lors de l'application de cette méthode au niveau de la wilaya test de Tizi-Ouzou durant l'été catastrophique de 2021, sont très concluant, que ce soit en termes de cartographie des surfaces brûlée ou en termes de suivi temporel de ces feux. L'utilisation des images fournies par les satellites sentinel-2 s'est avérée très efficace, car elle associe à la fois une fréquence temporelle de 5 jours et une résolution spatiale de 10 m, le tout combiné à un accès gratuit moins de 48h après la prise de vue.

Mots-clés : Surface, cartographie, Tizi-Ouzou, feux de forêt, télédétection.

Abstract

In view of the expectations of the General Directorate of Forests and its conservation, which wishes to carry out detailed monitoring of forest fires and establish precise reports throughout the fire campaign which begins in June and ends in October, we proposed a simple, fast and effective method, with accessible means, to map and estimate the areas burned by the fires a few days after their outbreak. The results obtained during the application of this method at the level of the test province of Tizi-Ouzou during the catastrophic summer of 2021, are very conclusive, whether in terms of mapping of burned surfaces or in terms of temporal monitoring of these wildfires. The use of images provided by the sentinel-2 satellites has proven to be very effective, as it combines both a temporal frequency of 5 days and a spatial resolution of 10 m, with free access for less than 48 hours.

Keywords: Surface, cartography, Tizi-Ouzou, wildfire, remote sensing.

ملخص

في ضوء تطلعات المديرية العامة للغابات والمحافظات التابعة لها، والتي ترغب في إجراء متابعة تفصيلية لحرائق الغابات وإعداد تقارير دقيقة طوال حملة الحرائق التي تبدأ في يونيو وتنتهي في أكتوبر، اقترحنا طريقة بسيطة سريعة وفعالة باستخدام وسائل سهلة المنال، لرسم خريطة المناطق المحروقة وتقدير مساحتها بعد أيام قليلة من اندلاع الحرائق فيها. النتائج التي تم الحصول عليها أثناء تطبيق هذه الطريقة على مستوى ولاية تيزي وزو خلال صيف 2021 الكارثي، حاسمة للغاية، سواء من حيث رسم خرائط المناطق المحروقة أو من حيث المتابعة الزمنية لهذه الحرائق. لقد أثبت استخدام الصور التي توفرها الأقمار الصناعية أنه فعال للغاية، حيث يجمع بين كل من التردد الزمني لمدة 5 أيام والدقة Sentinel-2 المساحية التي تبلغ 10 أمتار، وكل ذلك مع إمكانية الحصول المجاني على الصور في ظرف يقل عن 48 ساعة.

الكلمات المفتاحية: المساحة، رسم الخرائط، تيزي وزو، حرائق الغابات، الاستشعار عن بعد.

Année universitaire : 2021-2022

**Présenté par : BOUBIDI Djihen
BOUBESLA Asma**

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

**Intitulé :
Estimation et cartographie par télédétection des surfaces brûlées par les feux de forêt
durant l'été 2021 : cas de la wilaya de Tizi-Ouzou**

Résumé

Eu égard aux attentes de la direction générale des forêts et de ses conservations, qui souhaitent réaliser un suivi détaillé des feux de forêts et établir des bilans précis tout au long de la campagne d'incendie qui commence au mois de juin et se termine au mois d'octobre, nous avons proposé une méthode simple, rapide et efficace, avec des moyens accessibles, pour cartographier et estimer les surfaces incendiées par les feux et ce quelques jours après leur éclosion. Les résultats obtenus lors de l'application de cette méthode au niveau de la wilaya test de Tizi-Ouzou durant l'été catastrophique de 2021, sont très concluant, que ce soit en termes de cartographie des surfaces brûlée ou en termes de suivi temporel de ces feux. L'utilisation des images fournies par les satellites sentinel-2 s'est avérée très efficace, car elle associe à la fois une fréquence temporelle de 5 jours et une résolution spatiale de 10 m, le tout combiné à un accès gratuit moins de 48h après la prise de vue.

Mots-clefs : Surface, cartographie, Tizi-Ouzou, feux de forêt, télédétection

Laboratoires de recherche :

Laboratoire de Développement et Valorisation des Ressources Phytogénétiques
(Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Encadreur : ARFA Azzedine Mohamed Touffik

MCB - UFM Constantine 1

Examineur 1 : ALATOU Djamel

Prof - UFM Constantine 1

Examineur 2 : ALATOU Hana

MAB - UFM Constantine 1