

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

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



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

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

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

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

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

N° d'ordre :
N° de série :

Intitulé :

**Estimation et cartographie des surfaces forestières incendiées
par télédétection durant l'été 2021 : cas de la wilaya de Béjaia**

Présenté par : RACHEDI Tarek

À distance le : Juin 2022

Jury d'évaluation :

Encadreur : ARFA Azzedine Mohamed Touffik (MCB - U. Frères Mentouri, Constantine 1).
Examineur 1 : ALATOU Djamel (Prof - U. Frères Mentouri, Constantine 1).
Examineur 2 : GANA Mohamed (MCB - U. Frères Mentouri, 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 1
Frères Mentouri Constantine I University
Université Frères Mentouri Constantine I

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

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

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

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

N° d'ordre :
N° de série :

Intitulé :

**Estimation et cartographie des surfaces forestières incendiées
par télédétection durant l'été 2021 : cas de la wilaya de Béjaia**

Présenté par : RACHEDI Tarek

À distance le : Juin 2022

Jury d'évaluation :

Encadreur : ARFA Azzedine Mohamed Touffik (MCB - U. Frères Mentouri, Constantine 1).
Examineur 1 : ALATOU Djamel (Prof - U. Frères Mentouri, Constantine 1).
Examineur 2 : GANA Mohamed (MCB - U. Frères Mentouri, Constantine 1).

**Année universitaire
2021 - 2022**

Remerciements

Remerciements

Je tiens à remercier vivement et sincèrement Dr ARFA Azzedine Mohamed Touffik pour avoir dirigé mon travail de recherche, pour son aide précieuse et ses encouragements qui m'ont été d'une très grande importance durant la préparation de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à tous les membres de jury Pr ALATOU Djamel et Dr GANA Mohamed qui ont bien voulu accepter d'examiner ce travail.

Enfin je tiens à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé.

Rachedi Tarek

Dédicaces

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à ma chère épouse Amina qui m'a encouragé et soutenu tout au long de mes études de Master, à mes deux petits anges Abderrahmene et Moncef, ainsi qu'à mes collègues de la promotion Hocine et Ouail qui m'ont beaucoup aidé au cours de cette année d'étude.

Je dédie aussi ce travail à Mr. BAZRI Kamel Eddine pour son soutien, ses encouragements et sa confiance en moi.

Je ne manquerai pas aussi de le dédier à mes chers parents et à toute ma famille Rachedi.

Rachedi Tarek

*Table des
illustrations*

Table des illustrations

Liste des cartes

Carte 01 :	Localisation géographique de la wilaya de Béjaia	02
Carte 02 :	Classes d'altitude de la wilaya de Béjaia	03
Carte 03 :	Formations végétales de la wilaya de Béjaia	04
Carte 04 :	NDVI du 13 juin 2021 (wilaya de Béjaia)	12
Carte 05 :	NDVI du 18 juillet 2021 (wilaya de Béjaia)	12
Carte 06 :	NDVI du 07 aout 2021 (wilaya de Béjaia)	13
Carte 07 :	NDVI du 22 aout 2021 (wilaya de Béjaia)	13
Carte 08 :	NDVI du 27 aout 2021 (wilaya de Béjaia)	14
Carte 09 :	NDVI du 16 octobre 2021 (wilaya de Béjaia)	14
Carte 10 :	Classification supervisée de l'NDVI du 13 juin 2021	16
Carte 11 :	Classification supervisée de l'NDVI du 18 juillet 2021	16
Carte 12 :	Classification supervisée de l'NDVI du 07 aout 2021	17
Carte 13 :	Classification supervisée de l'NDVI du 22 aout 2021	17
Carte 14 :	Classification supervisée de l'NDVI du 27 aout 2021	18
Carte 15 :	Classification supervisée de l'NDVI du 16 octobre 2021	18
Carte 16 :	Zones brûlées par les feux de forêt du 14 juin au 16 octobre 2021 au niveau de la wilaya de Béjaia 19	19

Liste des figures

Figure 01 :	Configuration orbitale du Twin-Satellite Sentinel-2	06
Figure 02 :	Accès aux données Sentinel-2 et propriétés des images à télécharger	07
Figure 03 :	Comparaison entre les surfaces brûlées estimées sur terrain et par télédétection pour chaque période	20

Liste des tableaux

Tableau 01 :	Espèces forestières dominantes de la wilaya de Béjaïa	05
Tableau 02 :	Dates et références des images satellites Sentinel-2 choisies	11
Tableau 03 :	Valeur numéraire de l'NDVI pour chaque date choisie avec moyenne	15

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Table des illustrations

Introduction 01

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude 02

1. Situation géographique de la wilaya de Béjaia 02

2. Le relief 02

3. Le climat 04

4. Les massifs forestiers de la wilaya de Béjaia 04

Chapitre II : Matériels et méthodes 06

1. Acquisition des images satellites 06

2. Calcul de l'indice de végétation NDVI 07

3. Découpage et application du masque de la zone d'étude 08

4. Classification supervisée de l'NDVI 08

5. Comparaison multi-date de la classification de l'NDVI 08

6. Logiciels Utilisés	09
6-1. SNAP 8.0	09
6-2. ENVI 5.1	09
6-3. ArcGIS 10.3	09
Chapitre III : Résultats et discussion	11
1. Caractéristiques des images choisies	11
2. Calcul et cartographie de l'indice de végétation NDVI des forêts de la wilaya de Béjaia	11
3. Classification supervisée de l'NDVI des différentes dates	15
4. Cartographie et estimation des surfaces brûlées durant l'été 2021 au niveau de la wilaya de Béjaia	19
Conclusion	22
Références bibliographiques	23
Résumés	

Introduction

Introduction

Les incendies de forêt sont responsables de dégâts très importants. Ils détruisent des paysages et des milieux forestiers, espaces précieux et souvent très longs à se reconstituer. C'est donc une partie du patrimoine national qui est affectée de manière récurrente par ce problème.

La forêt algérienne, en générale, et celle de la wilaya de Béjaïa, en particulier, a subi au cours de la période sèche allant du mois de juin jusqu'au mois d'octobre 2021 des déforestations importantes suite aux incendies qui restent le facteur de dégradation le plus dévastateur du patrimoine forestier.

La superficie totale de couvert végétal, touchée par les incendies durant l'été 2021, s'élève à plus de 100.000 hectares, à travers 1.631 foyers d'incendie enregistrés dans 21 wilayas, selon un bilan rendu, par la Direction générale des Forêts (DGF).

L'objectif de ce travail est le développement d'une méthode qui permet l'estimation des surfaces forestières incendiées durant l'été 2021 au niveau de la wilaya de Béjaïa par télédétection, à partir des images satellitaires Sentinel-2.

Notre travail vise par conséquent à répondre aux questions suivantes :

- quelle est la méthode la plus facile et rapide pour localiser et cartographier les feux de forêt quelque jours après leur éclosion ?
- comment peut-on estimer de façon plus précise les surfaces réellement incendiées ?

Ce mémoire s'organise en trois chapitres :

- ✓ Le premier chapitre comporte une présentation de la wilaya de Béjaïa.
- ✓ Le deuxième chapitre est consacré à l'approche méthodologique en détaillant les différentes approches, techniques et outils utilisées pour l'analyse et le traitement des données.
- ✓ Le dernier chapitre présente les différents résultats obtenus et leurs discussions.

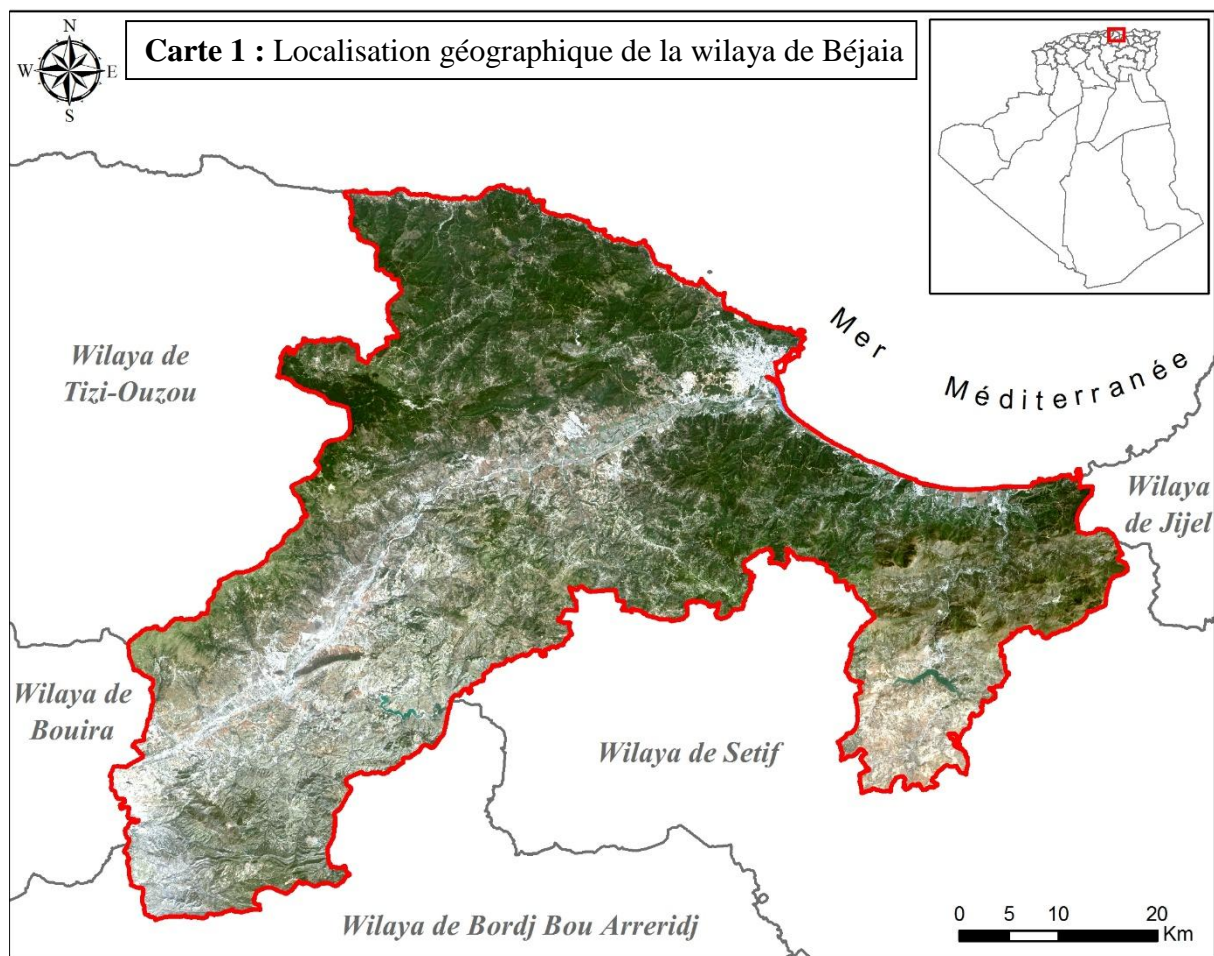
CHAPITRE I :

Présentation de la zone d'étude

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique de la wilaya de Béjaia

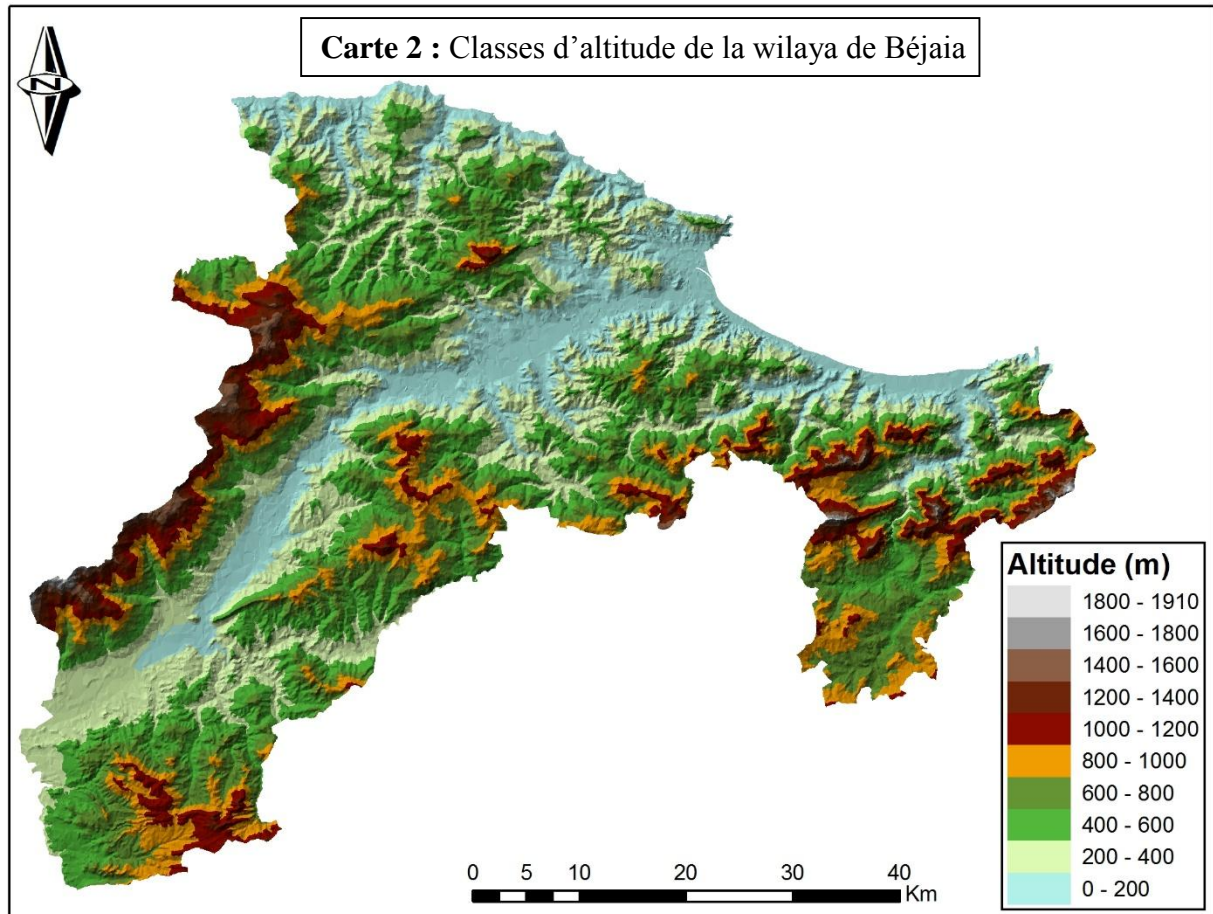
La wilaya de Béjaia est située à l'extrême centre est algérien. Elle est localisée entre $36^{\circ}12'53''$ et $36^{\circ}53'52''$ de latitude Nord et $4^{\circ}21'02''$ et $5^{\circ}29'01''$ de longitude Est, avec une superficie de 323.570 ha. La wilaya de Béjaia est limitée au nord par la mer méditerranée, au sud par les wilayas de Sétif et Bordj Bou Arreridj, à l'Est par la wilaya de Jijel et à l'Ouest par les wilayas de Bouira et Tizi-Ouzou (carte1).



2. Le relief

Le relief de la wilaya de Béjaia est caractérisé par une prédominance de montagnes avec des pentes excédant souvent les 25% et des altitudes variant entre le niveau de la mer et 1000 m dont 50% ne dépassent pas les 600 m (carte 2). Elle est enserrée entre deux versants plus au moins abruptes et aux pieds des quels la plaine semble délimitée de part et d'autre de

sa largeur par les deux axes routiers Béjaia, Amizour. (Dahmana, 2003 *in* Azegagh et Ghilas, 2006).



On peut distinguer trois ensembles de reliefs :

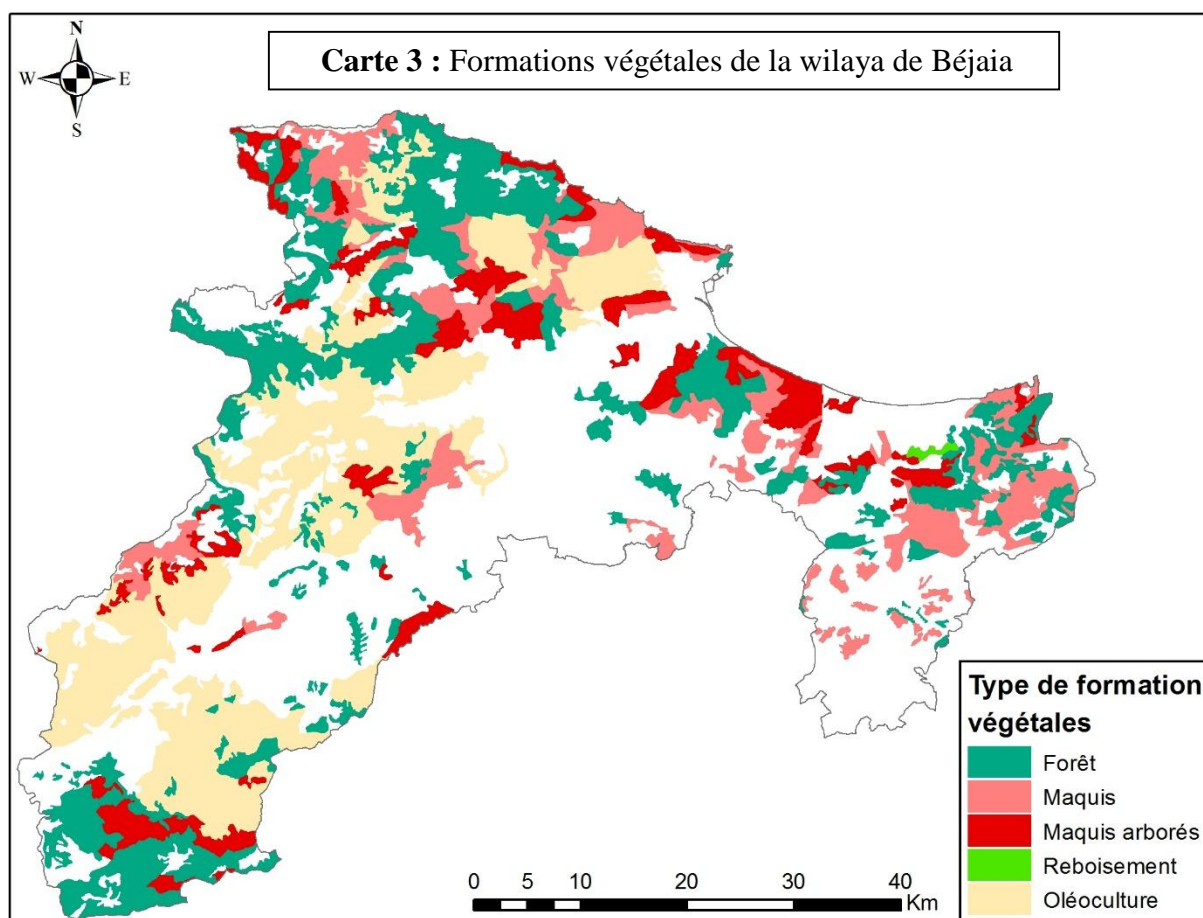
- ✓ L'ensemble montagneux : occupe 75% de la superficie totale de wilaya, il est constitué des chaînes des Babors et du Djurjura.
- ✓ L'ensemble des piémonts : d'une morphologie ondulée formé d'une succession de collines. Il apparaît moins accidenté, et il constitue une situation intermédiaire entre la plaine et la montagne.
- ✓ L'ensemble des plaines : composé des plaines de la vallée de la Soummam qui apparaît comme une bande sinueuse de 80 km de long sur une largeur maximale de 4 km et les plaines côtières qui séparent la mer de la chaîne des Babors. Elles se présentent comme une bande étroite qui s'étend de l'embouchure d'oued Soummam à celui d'oued Agrion soit une trentaine de kilomètres (Messarfi, 2018).

3. Le climat

Appartenant au domaine méditerranéen, le climat de la wilaya de Béjaïa varie d'une zone à une autre. La zone littorale et la vallée de la Soummam jouissent d'un climat pluvieux et doux en hiver, sec et chaud en été. Le climat des zones de montagne est caractérisé par un été sec et chaud et un hiver pluvieux et froid, la température atteint parfois 0°C et moins, ce qui s'accompagne de chute de neige (Mokhtari et Zouaghi, 2017).

4. Les massifs forestiers de la wilaya de Béjaïa

Le patrimoine forestier est estimé par le BNEDER (Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural) à une superficie de 122.050 ha ce qui représente 37,57% de la superficie totale de la wilaya, dont 58.700 ha (47,91%) de forêts couvertes et 63.800 ha (52,08%) de maquis (carte 3), avec les essences forestières dominantes suivante : le chêne liège, chêne zen, chêne afares, chêne vert, cèdre de l'Atlas et pin d'Alep (tableau 1). L'activité économique principale est la récolte du liège avec 3.155,20 m³ (production de 2014) et celle du bois avec 2.286 m³ répartie en 137 m³ de bois d'œuvre, 277 m³ de bois d'industrie et 1 872 m³ de bois de chauffage.



(Source des données : IFN 2009 BNEDER)

Tableau 1 : Espèces forestières dominantes de la wilaya de Béjaia

Espèces dominantes	Superficie (ha)
Chêne liège	41.313
Chêne zeen et afares	6.611
Pin d'Alep	9.924
Chêne vert	2.924
Cèdre de l'Atlas	375

(Source : BNEDER *in* Mazi, 2015)

CHAPITRE II :

Matériels et méthodes

Chapitre II : Matériels et méthodes

1. Acquisition des images satellites

Notre travail est basé sur l'analyse des images satellitaires, de ce fait nous avons choisi les images fournies par l'agence spatiale européenne (ESA) disponible sur la plateforme web Copernicus qui fournit un accès complet, gratuit et ouvert aux produits et données recueillies par la plateforme spatiale Sentinel-2. La mission Copernicus Sentinel-2 comprend une constellation de deux satellites (Sentinel-2A et Sentinel-2 B) en orbite polaire placés sur la même orbite héliosynchrone, en phase à 180° l'un de l'autre (figure 1).

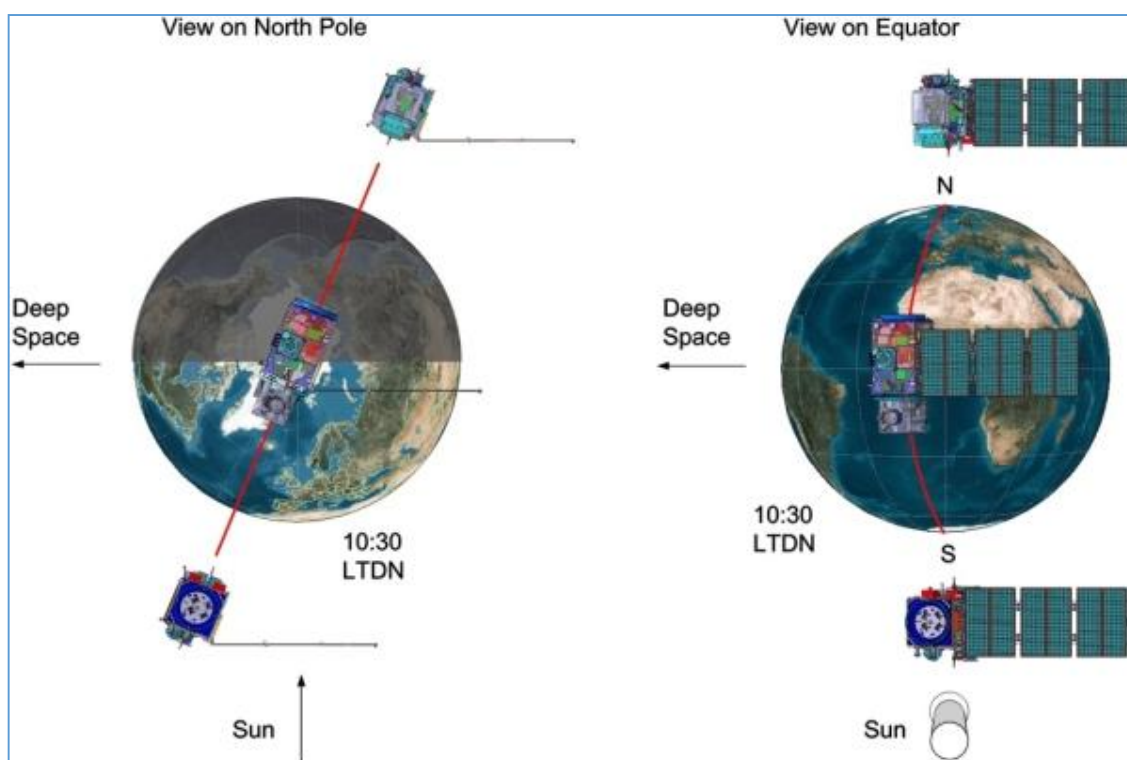


Figure 1 : Configuration orbitale du Twin-Satellite Sentinel-2 (copernicus.eu/web)

La flotte de satellite Sentinels est équipée de caméras multi-spectrale prenant des images de haute résolution sur 13 bandes spectrales allant du visible au moyen infrarouge avec une résolution spatiale de 10 m, et un temps de revisite (résolution temporelle) élevé de 5 jours, avec une largeur de la fauchée égale à 290 Km.

Cette constellation de deux satellites identiques (Sentinel-2A et Sentinel-2B) fournit des observations de la terre très utiles en environnement pour surveiller les sols et la végétation (suivi des forêts).

Les images Sentinel-2, utilisées dans notre étude, ont un niveau de prétraitement 2A, ce qui signifie qu'elles ont subies plusieurs processus de corrections radiométriques, géométriques et atmosphériques.

Les images trouvées sur la plateforme web Copernicus sont affichées et peuvent être examinées avant d'être téléchargées (figure 2).

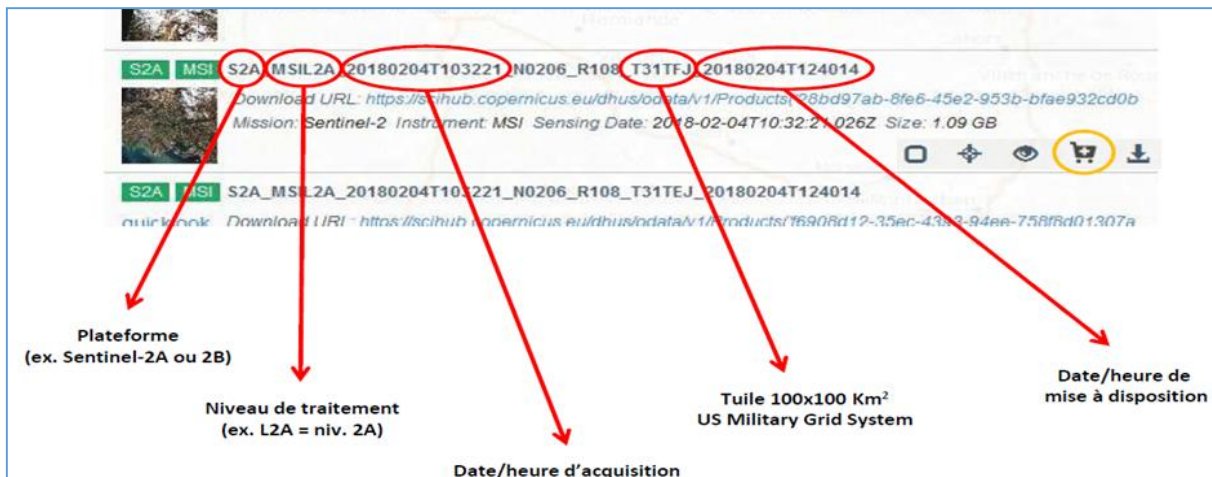


Figure 2 : Accès aux données Sentinel-2 et propriétés des images à télécharger.

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).

3. Découpage et application du masque de la zone d'étude

Après le calcul de l'NDVI de toutes les images sélectionnées, elles sont découpées à l'aide des limites de la végétation de la wilaya de Béjaïa, pour ne garder que les zones forestières, les maquis et maquis arborées, les reboisements et les zones d'oléo-culture.

Cette étape permet d'exclure des images de l'NDVI les zones urbaines et agricoles, les parcours et les plans d'eau.

4. Classification supervisée 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 opté pour la classification supervisée, qui est basée sur l'identification des échantillons assez homogènes de l'image qui sont représentatifs des deux types de surfaces (végétation et hors végétation). Ces échantillons forment un ensemble de données-tests. La sélection de ces données-tests est basée sur la connaissance de la zone d'étude. L'algorithme « maximum de vraisemblance » a été utilisé, afin de déterminer la signature numérique de chacune des classes (Benkhelfi et Bouchachoua, 2021).

La classification reste l'étape la plus critique et la plus complexe à réaliser, car d'elle dépend la précision des résultats. La plus grande difficulté, consiste à bien choisir les données tests qui sont des échantillons de chaque classe thématique. C'est pour cette raison qu'à chaque étape de classification un aperçu du résultat est analysé, ce qui permet un suivi tout au long du processus de classification (Bouzenzana, 2015).

5. Comparaison multi-date de la classification de l'NDVI

Une comparaison entre les classes de l'NDVI des 6 dates, une à une en suivant un ordre chronologique croissant (de la plus ancienne date à la plus récente), permet de détecter les variations qu'a subi la végétation au cours du temps. Ces variations peuvent être une stabilité, une progression ou une régression de la couverture végétale. Dans notre cas, on s'intéresse uniquement à la régression de la végétation révélatrice d'une surface brûlée par les feux de forêt.

Cependant, la présence d'une petite masse nuageuse sur l'image peut induire une fausse régression de la végétation, car les nuages font baisser les valeurs de l'NDVI. Pour résoudre ce problème, il suffit juste de vérifier tout au long des 6 dates, si cette régression de la végétation est permanente ou temporaire, c'est-à-dire qu'après une phase de régression il y a une progression. Dans le cas d'une régression permanente, cela signifie que la végétation a bien été brûlée par les feux, mais si elle est temporaire cela signifie que c'est la conséquence des nuages et non des feux de forêts.

6. Logiciels Utilisés

6-1. SNAP 8.0

Le SNAP (Sentinel Application Platform) est un outil de traitement des données d'observation de la Terre qui permet l'analyse des données d'imagerie satellitaire. SNAP a été créé par Copernicus ESA pour permettre le traitement, la visualisation et la transformation des données. Il s'agit d'un progiciel puissant auquel Copernicus a donné un accès libre et illimité.

Nous l'avons utilisé dans notre étude pour visualiser les images téléchargées du Sentinel-2 et le calcul de l'NDVI.

6-2. ENVI 5.1

L'ENVI (Environnement For Visualing Images) est un logiciel permettant la lecture et le traitement des images et données numériques et plus précisément les images satellitaires.

Il contient une boîte à outils permettant l'analyse spectrale, correction géométrique et radiométrique, géoréférencement, analyse topographique, classification ...etc. Ce logiciel a été utilisé lors de la classification supervisée des images NDVI des 6 dates.

6-3. ArcGIS 10.3

ArcGIS est l'un des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) les plus utilisés. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être

manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est à dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées.

Les différentes couches d'informations sont descriptives d'un espace géographique terrestre déterminé. Elles peuvent correspondre à des documents cartographiques représentant des objets thématiques géographiquement identifiés (carte, photographies aériennes, images satellitaires, etc.) ou issus des analyses et des procédures de spatialisation (carte de la teneur en eau du sol, carte topographique, carte de la hauteur des arbres dans un peuplement forestier, etc.).

ArcMap est l'application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils, organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données (Soudani, 2015).

Ce logiciel a servi pour la comparaison multi-date, l'estimation et la cartographie des surfaces brûlées par les feux de forêt dans la wilaya de Béjaia durant l'été 2021. Il a aussi été utilisé pour la mise en pages des différentes cartes de ce mémoire.

CHAPITRE III :

Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Caractéristiques des images choisies

L'utilisation d'une série temporelle des images Sentinel-2 permet de cartographier correctement les changements survenus à la végétation forestière de la wilaya de Béjaïa.

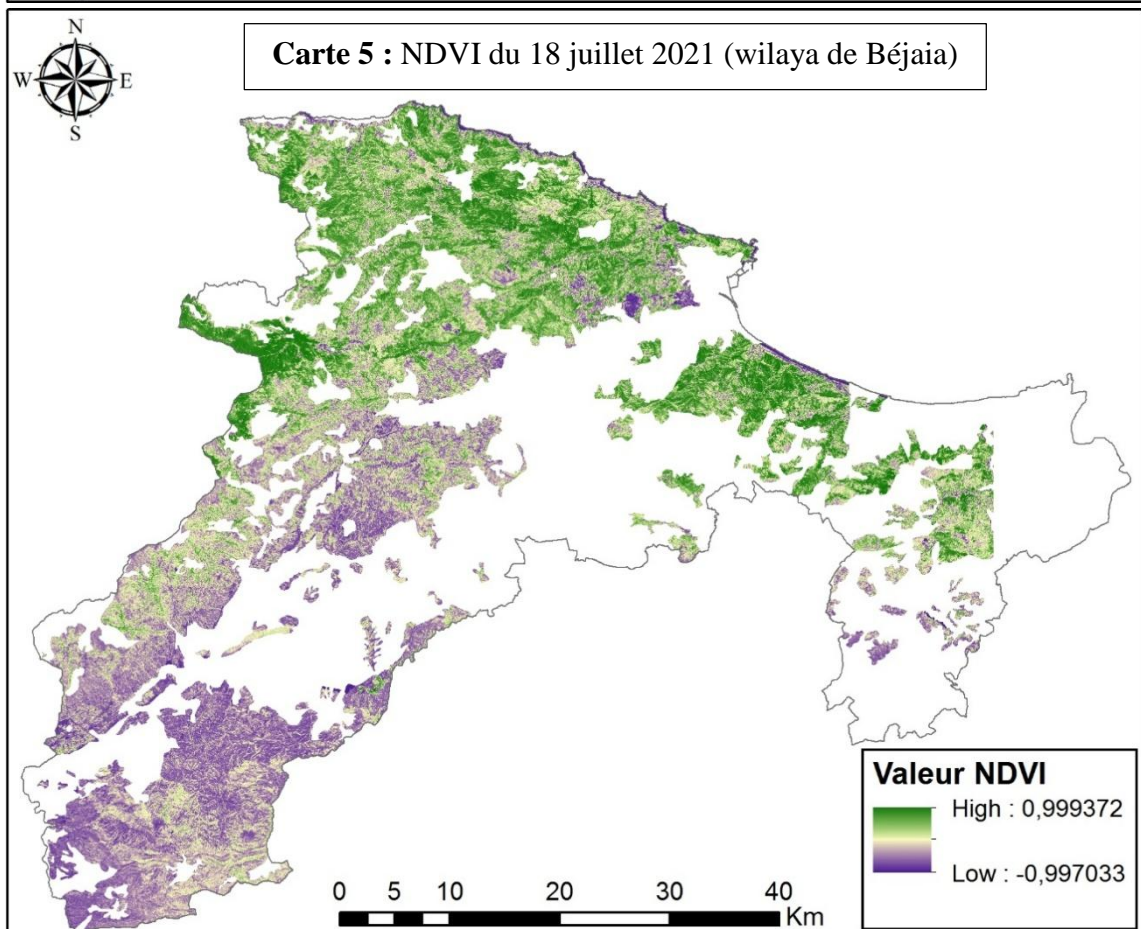
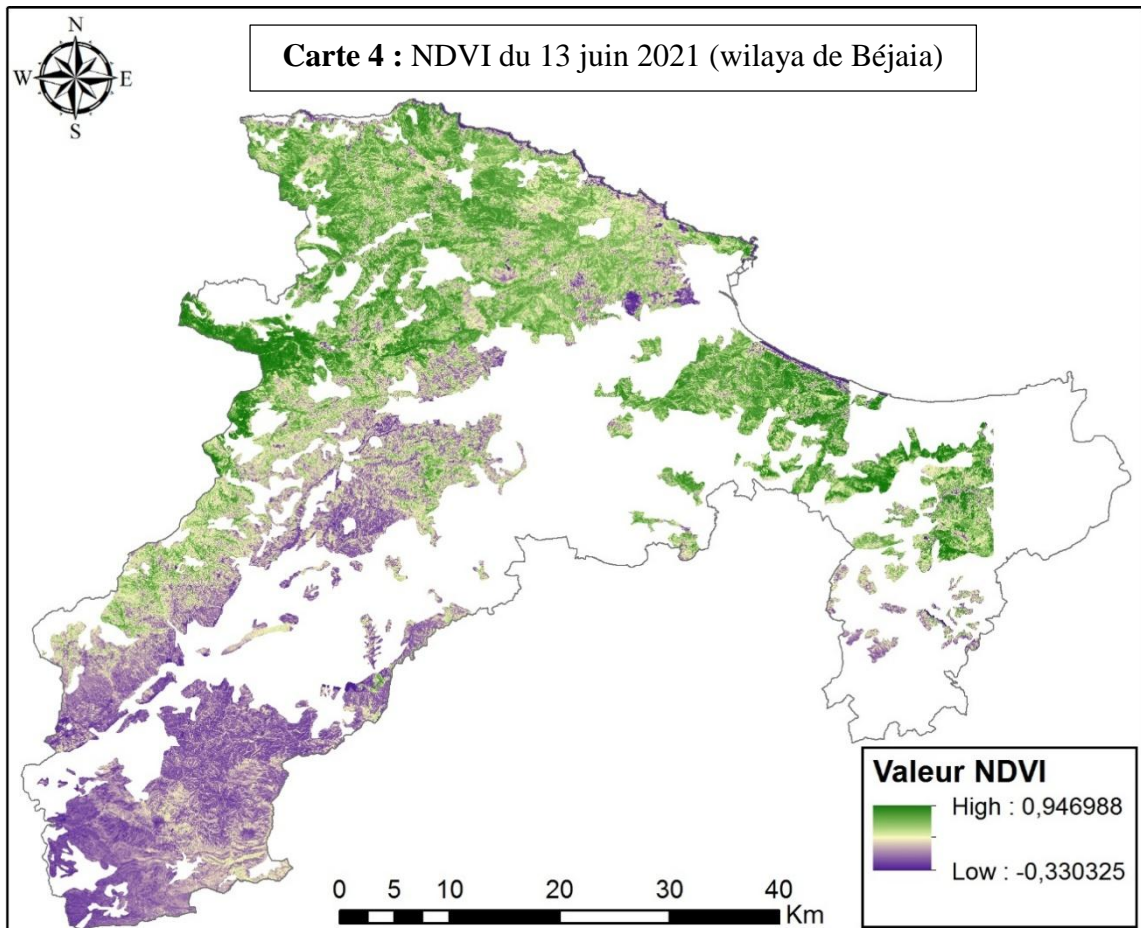
Une série temporelle de 29 images acquises durant la campagne d'incendie de 2021, du 13 juin au 31 octobre, a été observée. Cependant certaines dates ont un taux de couverture nuageuse dépassant les 50% et de ce fait elles ont été éliminées. Donc sur les 29 images disponibles seul 6 dates ont été retenue pour la réalisation de ce travail, à savoir : le 13 juin, le 18 juillet, le 07, 22 et 27 aout et enfin le 16 octobre 2021 (tableau 2).

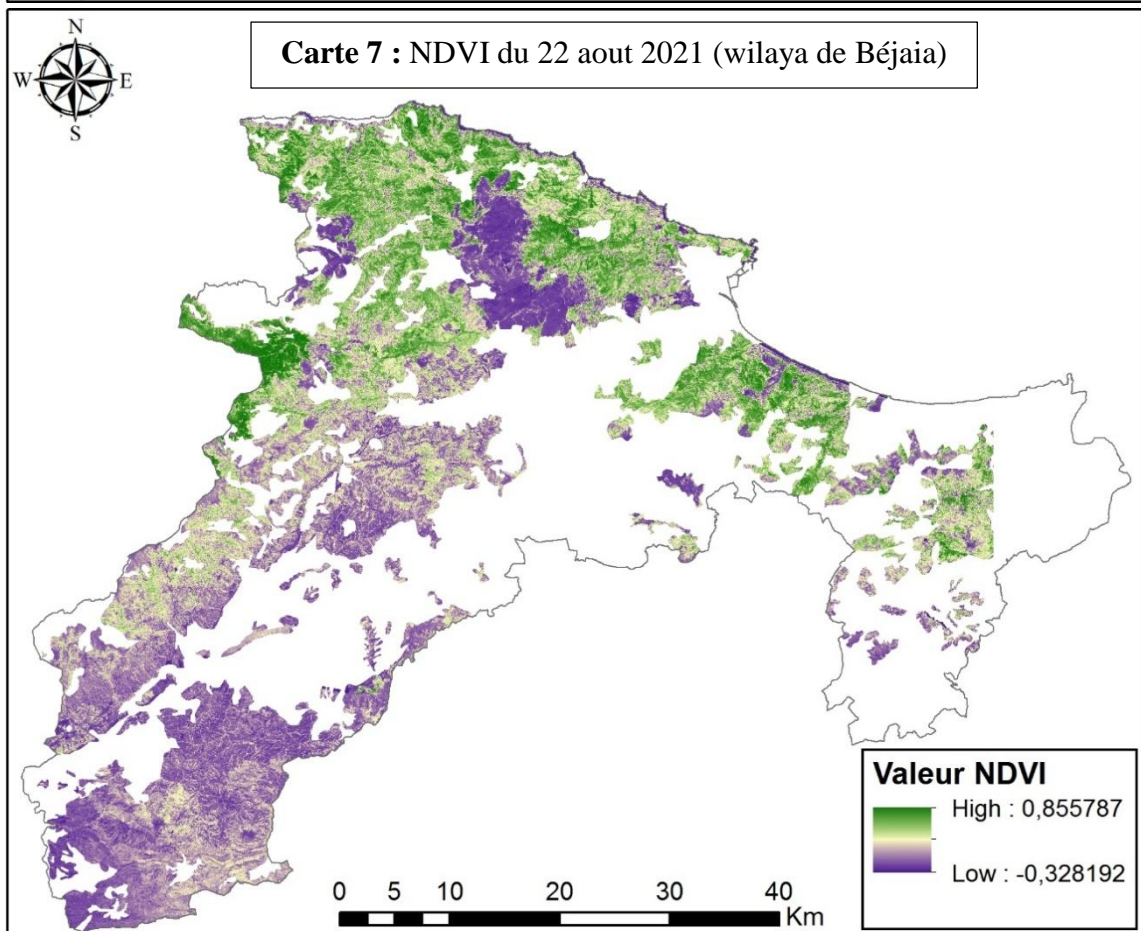
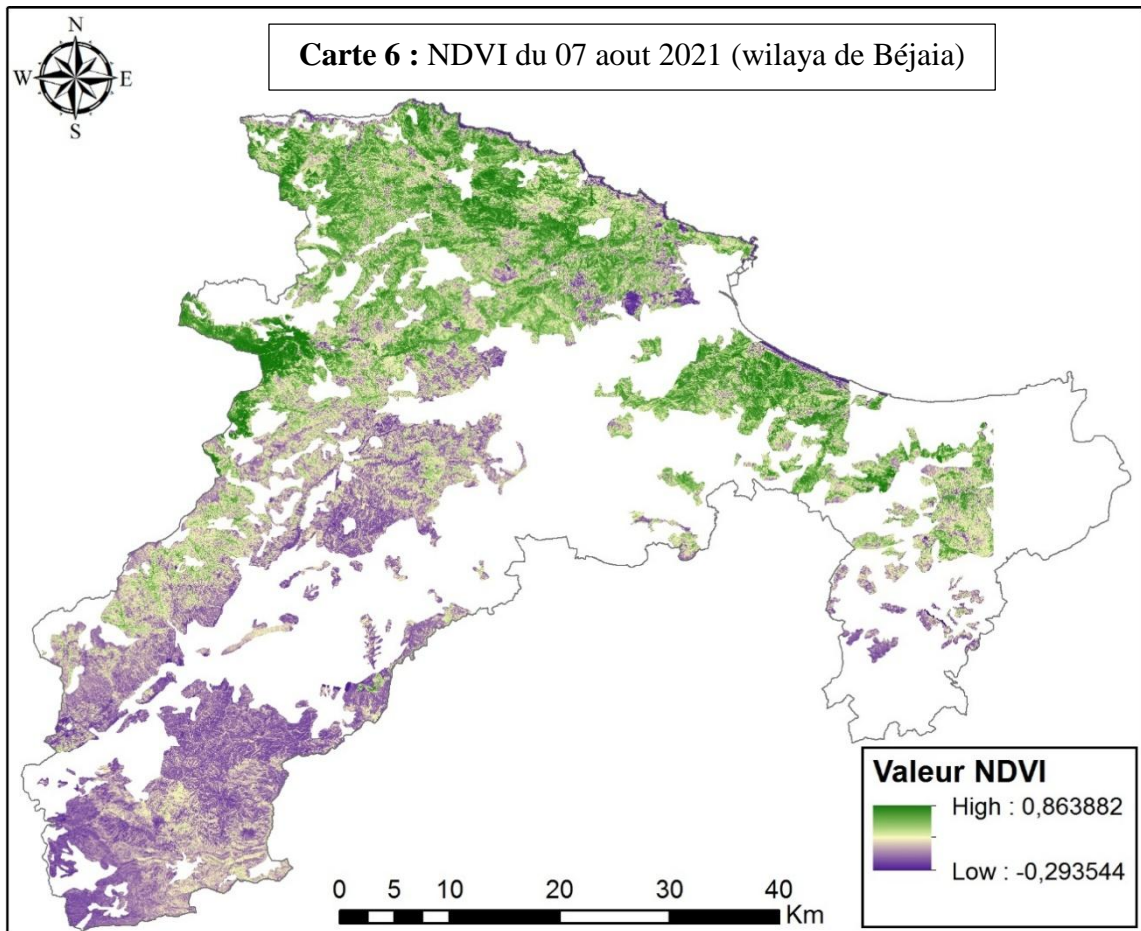
Tableau 2 : Dates et références des images satellites Sentinel-2 choisies

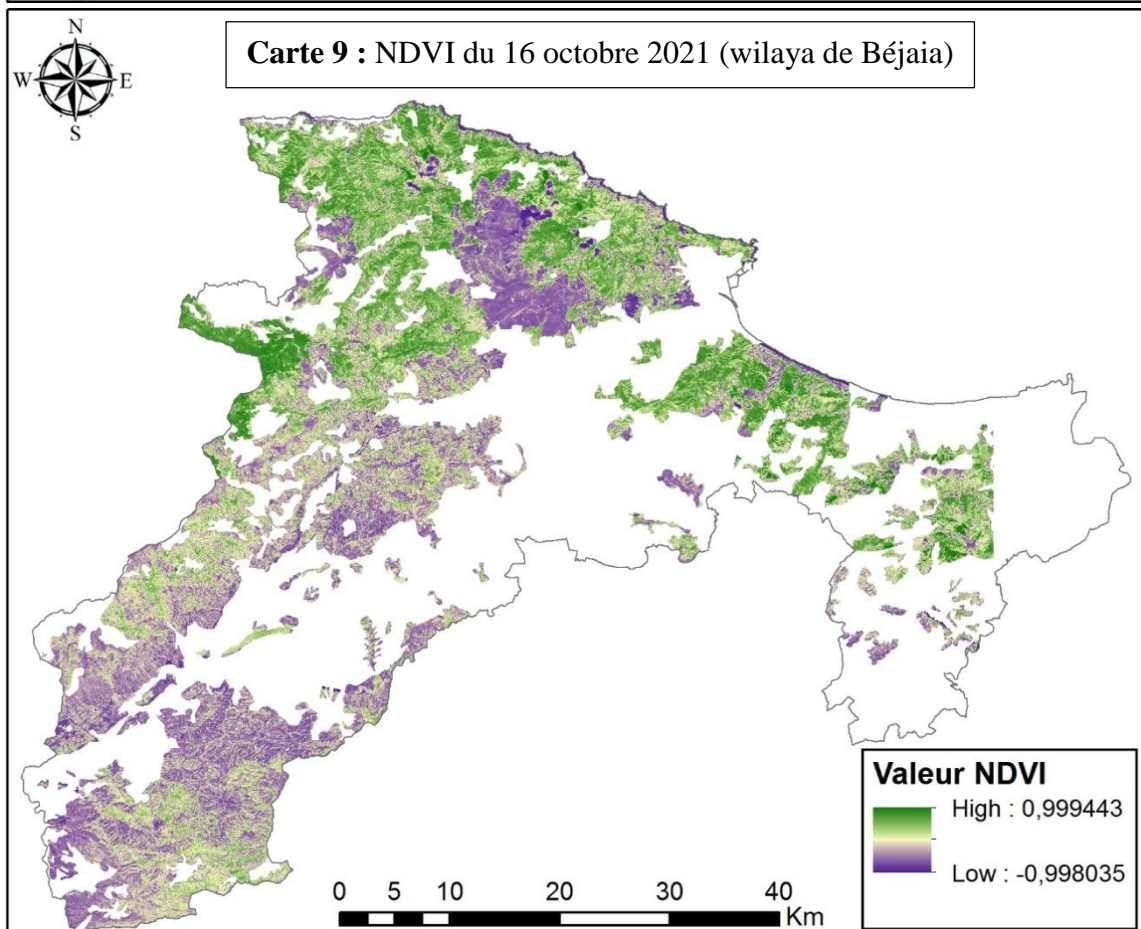
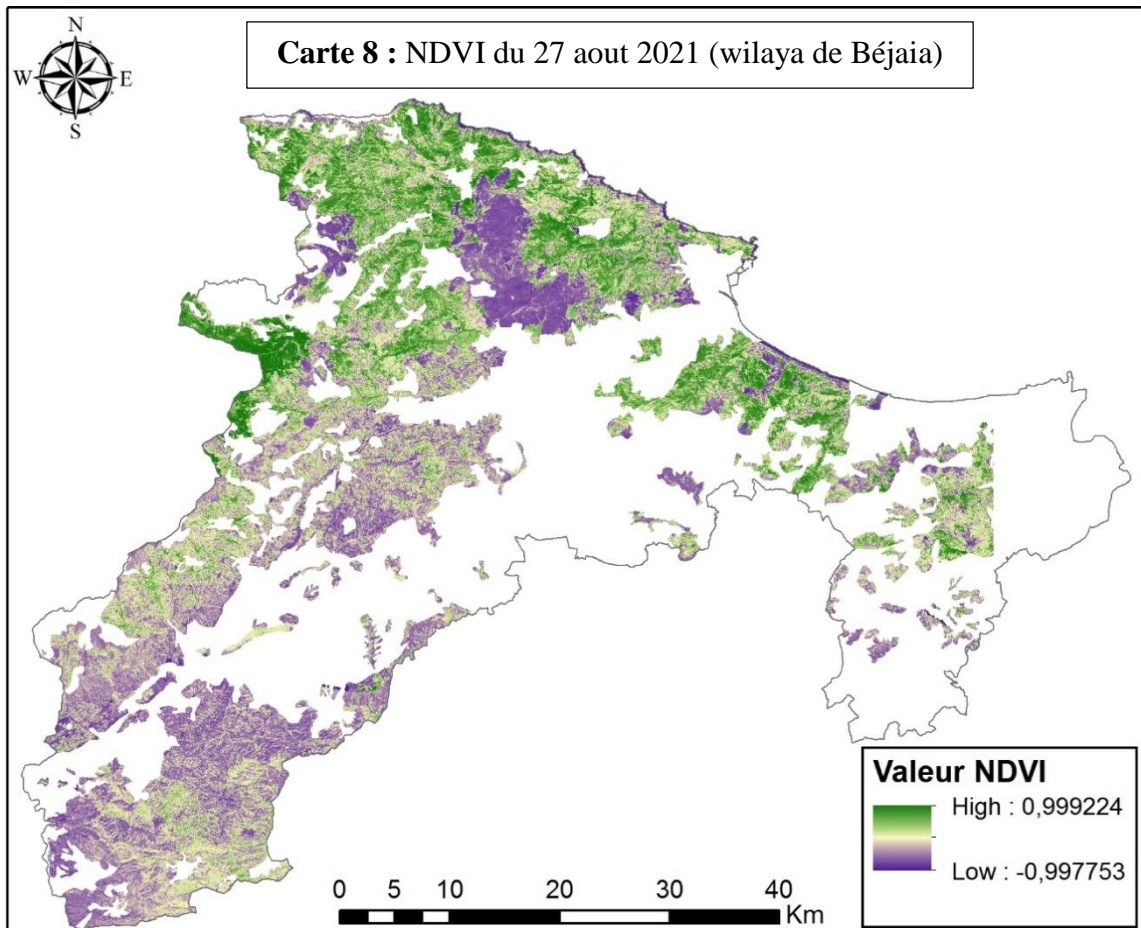
Date	Référence
13/06/2021	S2B_MSIL2A_20210613T102559_N0300_R108_T31SFA_20210613T133241
18/07/2021	S2A_MSIL2A_20210718T103031_N0301_R108_T31SFA_20210718T133950
07/08/2021	S2A_MSIL2A_20210807T103031_N0301_R108_T31SFA_20210807T140335
22/07/2021	S2B_MSIL2A_20210822T102559_N0301_R108_T31SFA_20210822T133528
27/08/2021	S2A_MSIL2A_20210827T103021_N0301_R108_T31SFA_20210827T151224
16/10/2021	S2A_MSIL2A_20211016T103031_N0301_R108_T31SFA_20211016T133750

2. Calcul et cartographie de l'indice de végétation NDVI des forêts de la wilaya de Béjaïa

Les résultats du calcul de l'indice de végétation NDVI de toutes les dates sélectionnées, combinés à l'application du masque de la zone d'étude, sont illustrés sous forme de cartes (carte 4, 5, 6, 7, 8 et 9).







Les valeurs de l'NDVI calculées pour l'ensemble des zones forestières de la wilaya de Béjaïa sont comprises entre -0,99 et +0,99. Les valeurs les plus faibles, représentées en mauve, correspondent aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme le réseau de pistes forestières, zones humides et aux zones de défrichement (zones brûlées par exemple). La couleur verte correspond aux zones de végétation (tableau 3).

Tableau 3 : Valeur numéraire de l'NDVI pour chaque date choisie avec moyenne.

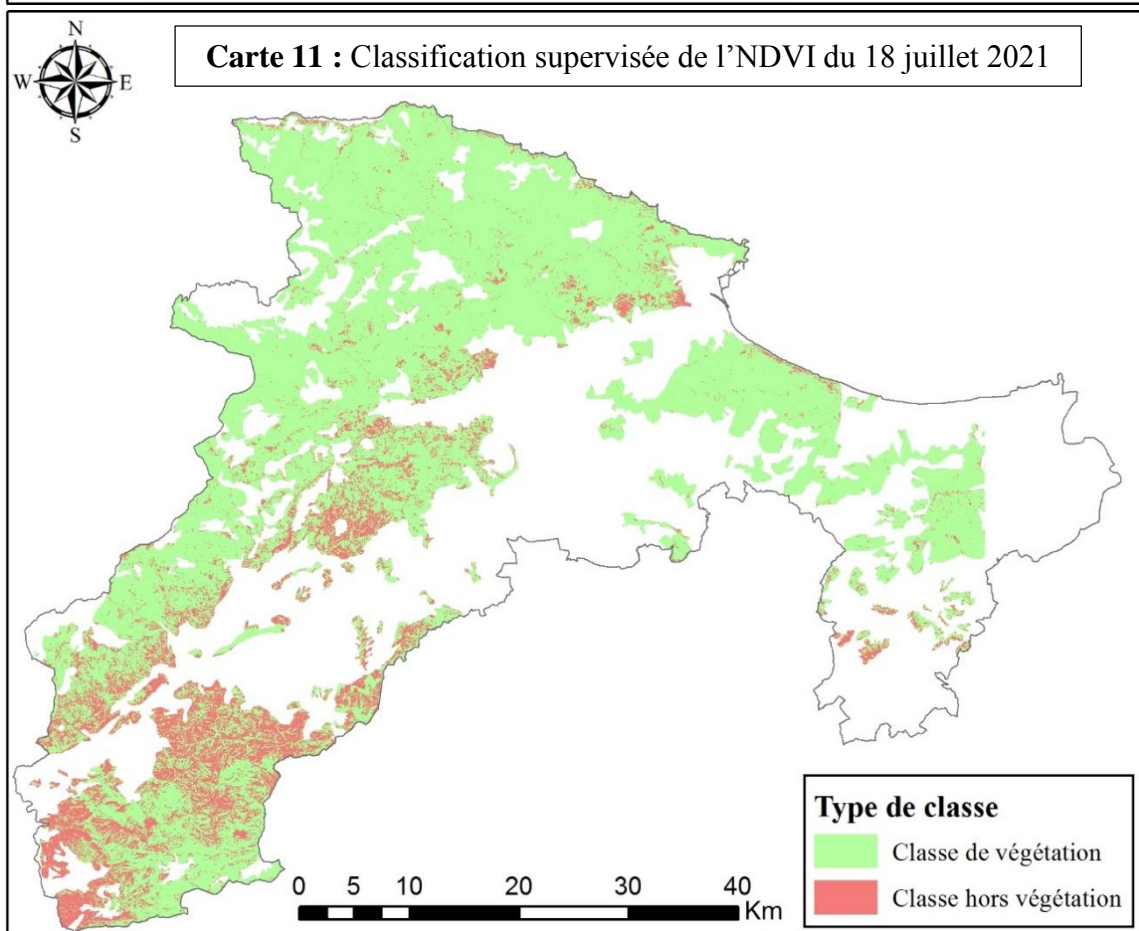
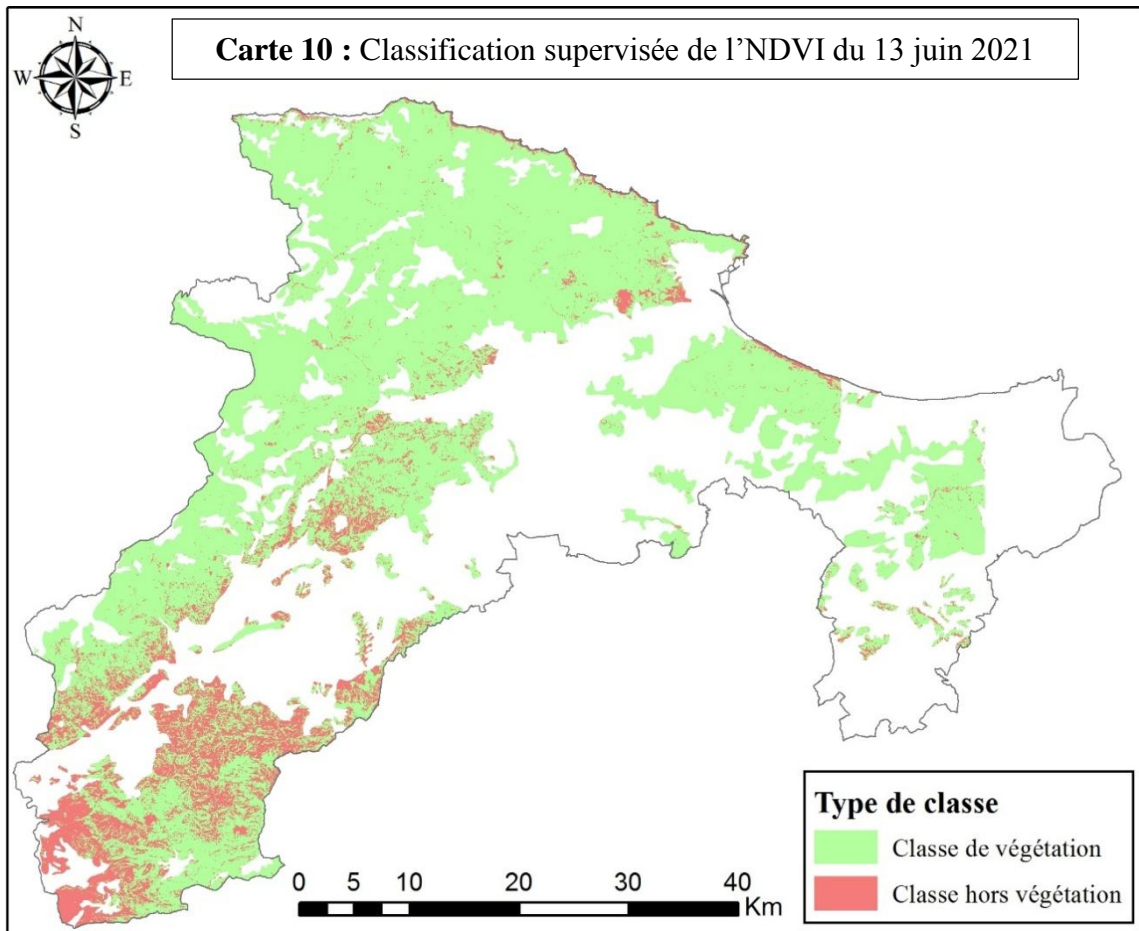
Date de l'NDVI	Valeur haute NDVI	Valeur basse NDVI	Moyenne NDVI
13/06/2021	+0,94	-0,33	+0,47
18/07/2021	+0,99	-0,99	+0,45
07/08/2021	+0,86	-0,29	+0,40
22/08/2021	+0,85	-0,32	+0,35
27/08/2021	+0,99	-0,99	+0,41
16/10/2021	+0,99	-0,99	+0,47

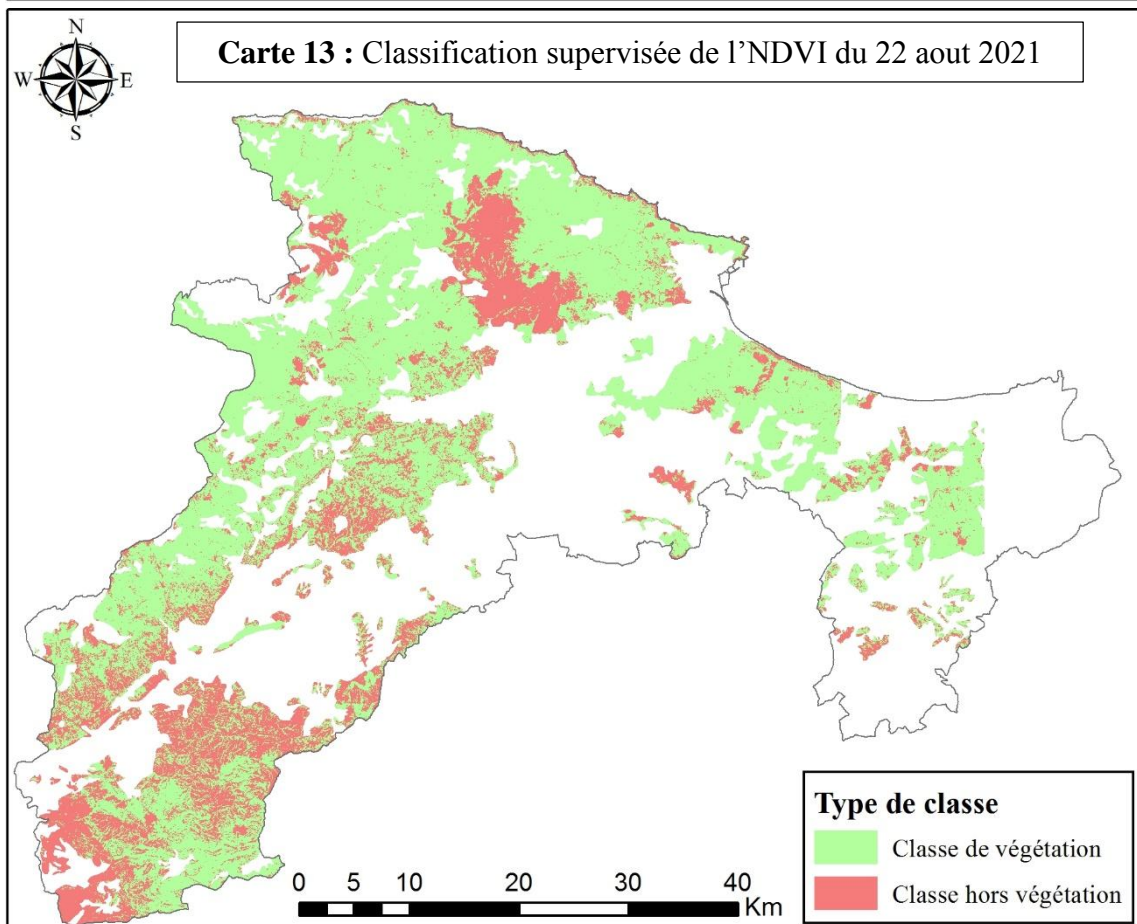
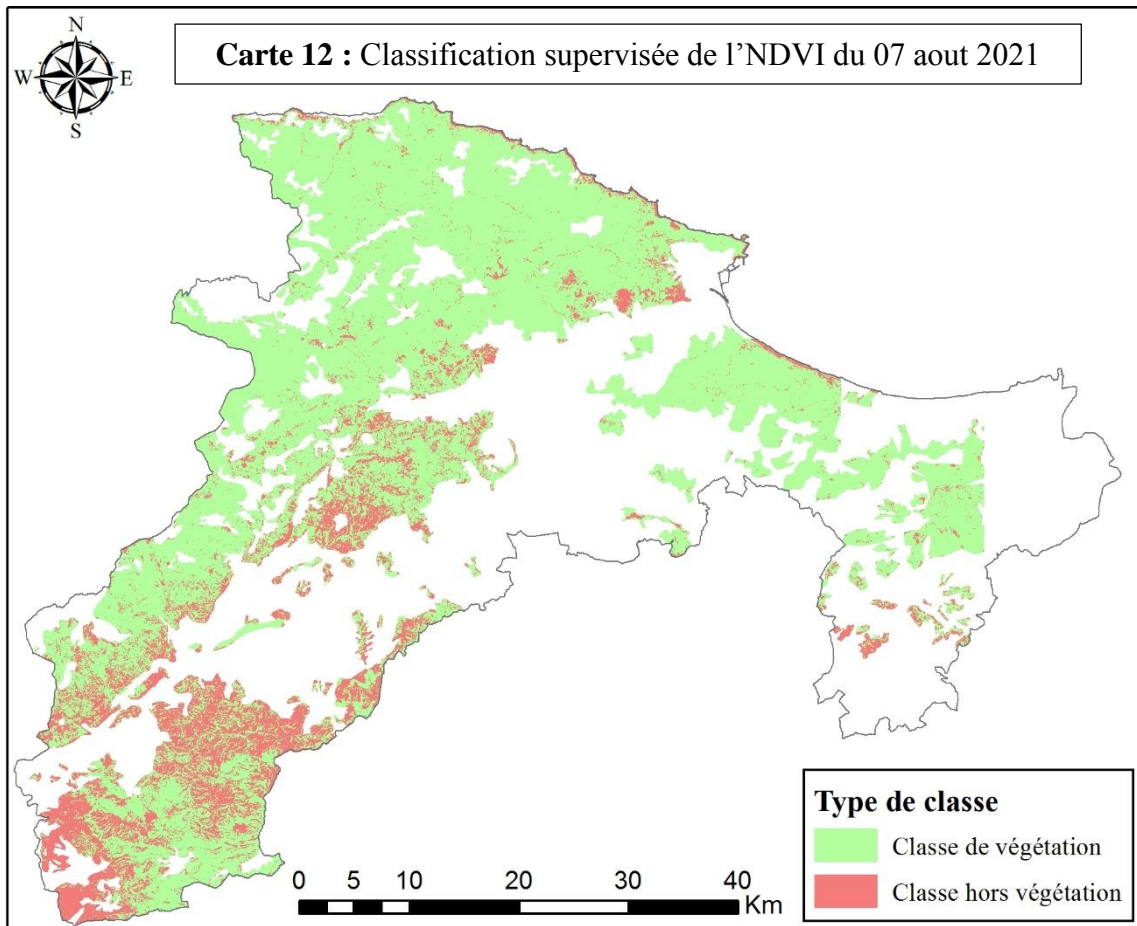
3. Classification supervisée de l'NDVI des différentes dates

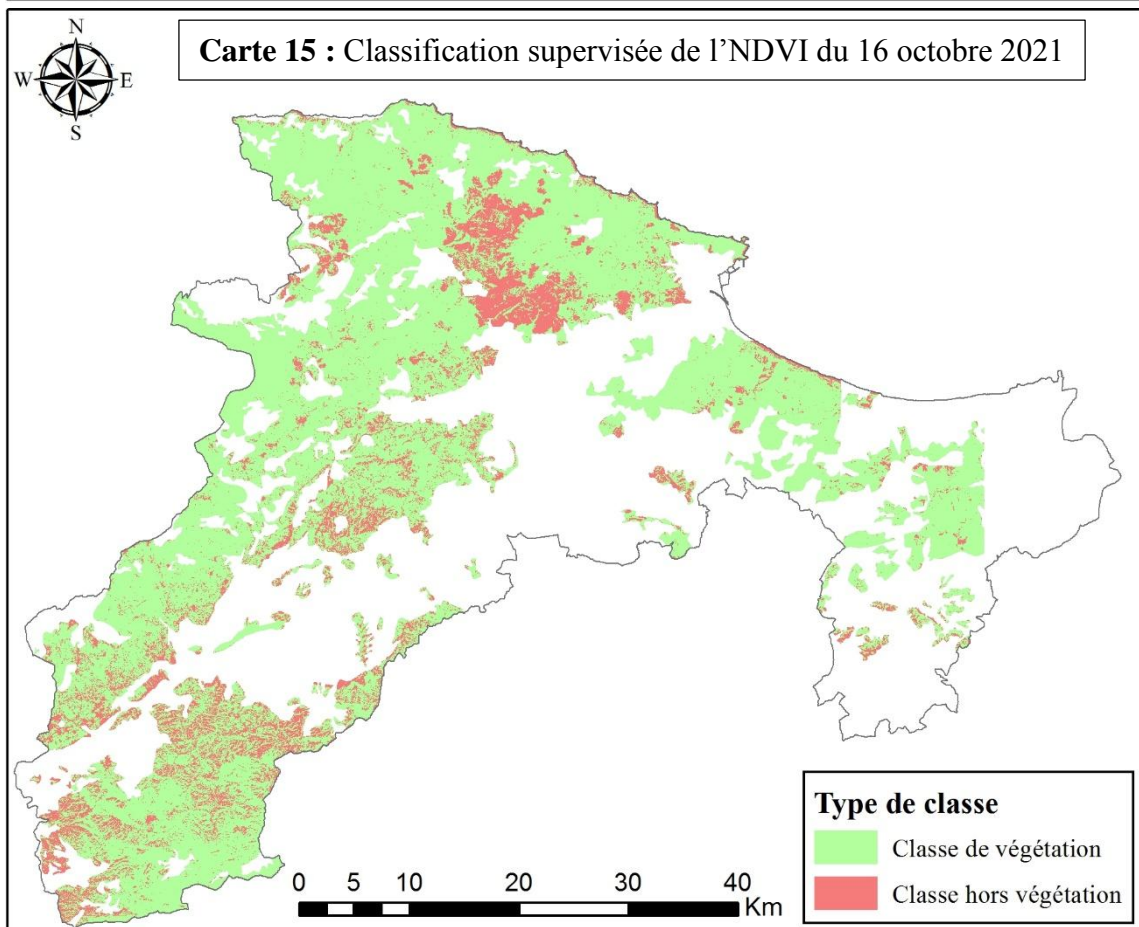
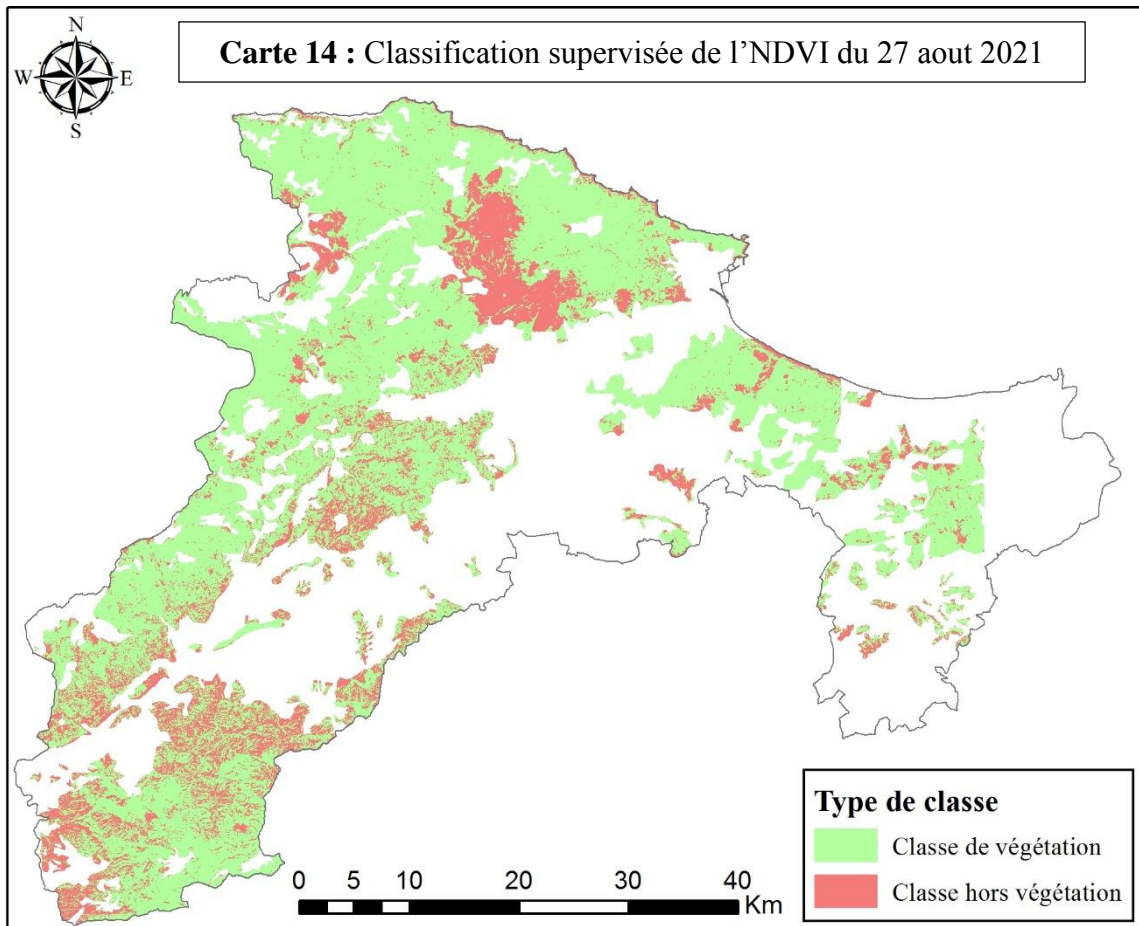
Les résultats de la classification supervisée de l'NDVI des images Sentinel-2 du 13 juin, 18 juillet, 07, 22, 27 août et 16 octobre sont présentés dans les cartes de 10 à 15.

Ce sont des cartes bien précises pour la différenciation entre deux classes distinctives, la classe végétation et la classe hors végétation. Les seuils de l'NDVI utilisés pour la classification supervisée sont :

- $NDVI \leq 0,20$ pour la classe hors végétation ;
- $NDVI > 0,20$ pour la classe végétation.



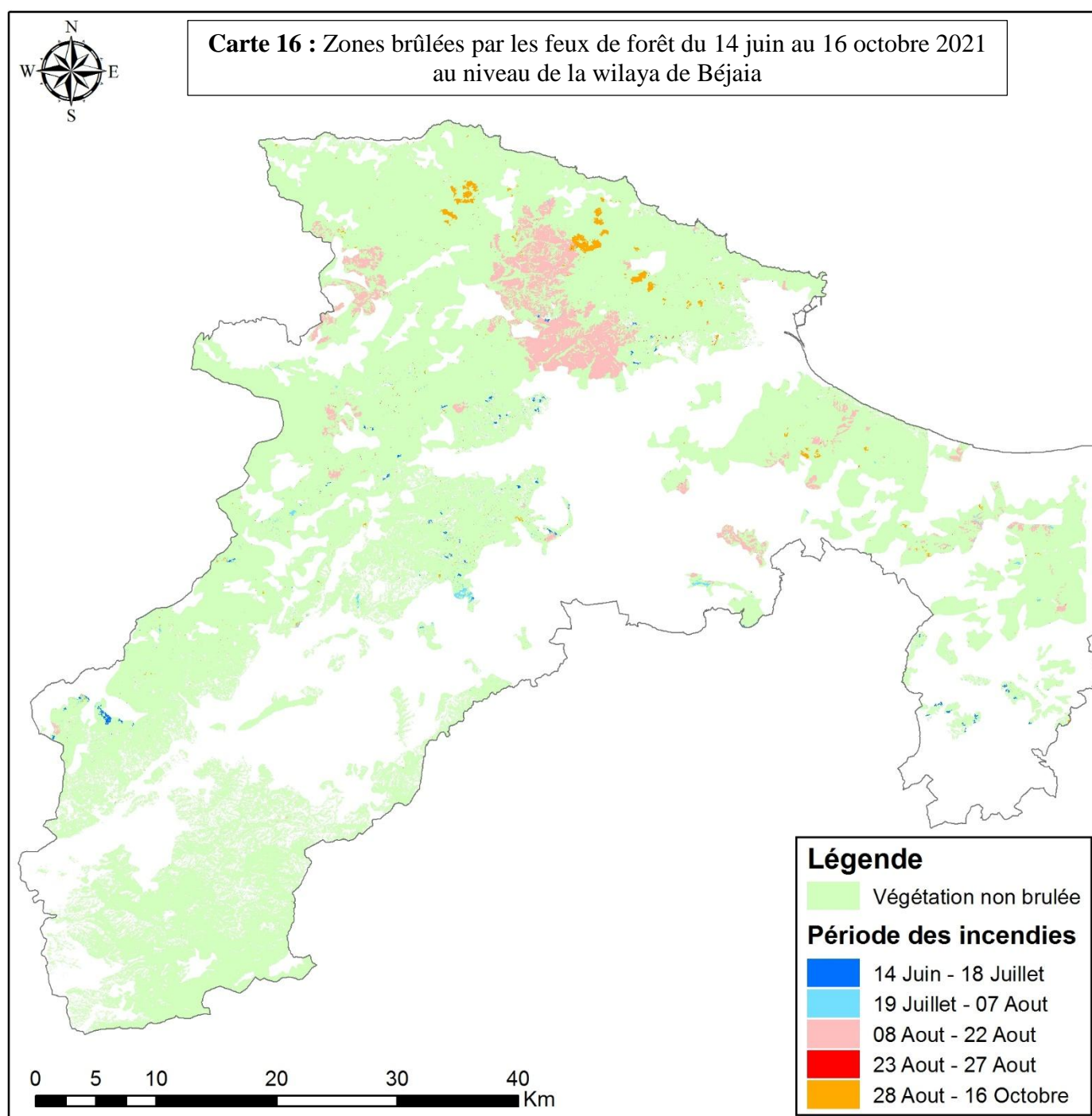




4. Cartographie est estimation des surfaces brûlées durant l'été 2021 au niveau de la wilaya de Béjaïa

La superposition et la comparaison des images, de la classification supervisée de l'NDVI des 6 dates, permet la détection et l'analyse des surfaces brûlées par les feux de forêt durant chacune des 5 périodes, au niveau des massifs forestiers de la wilaya de Béjaïa.

Le résultat de cette analyse est présenté dans la carte 16 qui illustre spatialement les surfaces brûlées dans le temps.



L'estimation des surfaces brûlées pour chaque période a été réalisée à partir des données de la carte 16. L'analyse de ces surfaces brûlées durant la période du 14 juin au 16 octobre 2021, fait ressortir que les feux les plus graves ont eu lieu entre le 08 et le 22 aout, avec une surface brûlée totale de 8270,43 ha, soit 5,34 % de la surface forestière de la wilaya de Béjaia.

Afin de mieux apprécier les résultats de cette méthode, nous avons réalisé une comparaison entre les surfaces estimées par télédétection spatiale et les surfaces estimées sur terrain par les services de la conservation des forêts de la wilaya de Béjaia (figure 3).

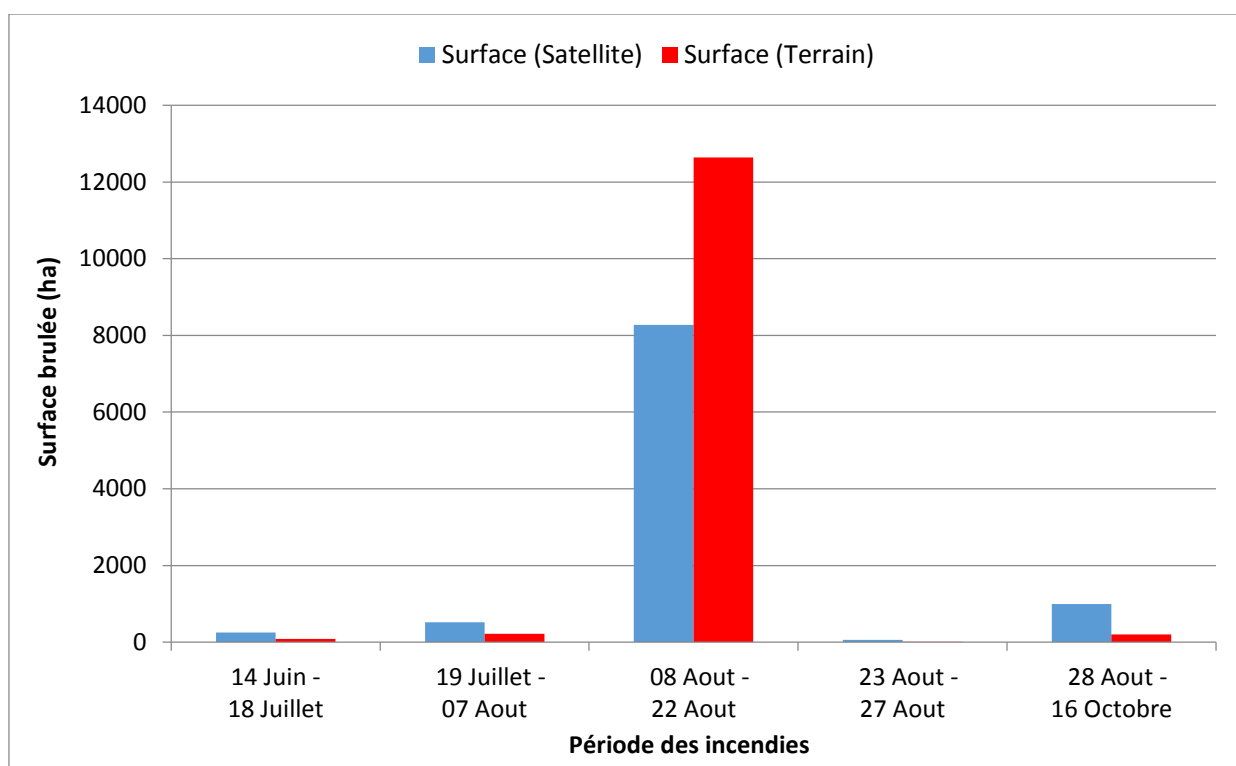


Figure 3 : Comparaison entre les surfaces brûlées estimées sur terrain et par télédétection pour chaque période.

Les résultats de cette comparaison montre que :

- pour la période du 23 au 27 aout les surfaces sont presque identiques ;
- pour les périodes du 14 juin au 07 aout et du 28 aout au 16 octobre les surfaces calculées sur terrain sont sous-estimées ;
- pour la période du 08 au 22 aout les surfaces calculées sur terrain sont surestimées.

On constate que pour les périodes du 14 juin au 07 aout et du 28 aout au 16 octobre, plus les surfaces brûlées sont grandes plus l'écart entre les deux méthodes d'estimation est important. Cela est dû au fait que sur terrain il plus difficile d'estimer des surfaces brûlées par les feux de forêt, car elles ont généralement des formes géométrique complexe, de plus, le terrain accidenté ajoute une difficulté supplémentaire. De ce fait les surfaces sur terrain sont sous-estimées par rapport à celle obtenue par les images Sentinel-2 plus précises (10 m de résolution spatiale).

En ce qui concerne la période du 08 au 22 aout, où les surfaces estimées sur terrain sont plus importante que celles estimées par télédétection cela s'explique par le fait que les bilans de la conservation des forêts de la wilaya de Béjaia, comptabilisent à la fois les forêts et les maquis mais aussi les broussailles (parcours) et autres (arboriculture, terrain agricole, etc.).

Il faut prendre en considération que pour notre étude nous avons sélectionnée uniquement les zones de forêt, maquis et oléo-culture, alors que les parcours et l'agriculture ont été exclus.

Si on détaille le bilan de la conservation des forêts de la wilaya de Béjaia par catégories pour la période du 08 au 22 aout 2021 on constate que :

- la surface brûlée de forêt est de 1973.5 ha ;
- la surface brûlée de maquis est de 5855 ha ;
- la surface brûlée de broussailles est de 2205 ha ;
- la surface brûlée par autres est de 2601,5 ha.

Donc, si on compare uniquement les surfaces brûlées en forêt est maquis, qui est de 7828.5 ha avec les 8270,43 ha estimée par télédétection, on constate qu'elles sont, comme pour les autres périodes, sous-estimés et non surestimées.

Conclusion

Conclusion

La cartographie des zones forestières brûlées est un maillon essentiel dans la gestion de la situation post-crise. Son importance réside, d'abord, dans l'inventaire des dégâts afin d'évaluer les pertes écologiques et économique, et ensuite la mise en place des programmes de restauration et de réhabilitation des zones touchées par les feux.

La méthode conventionnelle utilisée pour l'estimation des surfaces forestières incendiées est coûteuse et pas forcément précise. En effet l'estimation manuelle ne prend généralement pas en compte les petites zones de végétation épargnées par le feu qui se situent à l'intérieur de la zone brûlée, ce qui donne des estimations qui ne sont pas objectives, surtout si le terrain est accidenté.

L'utilisation de la télédétection par satellite permet de réduire le coût et le temps nécessaire à l'évaluation des dégâts après un feu de forêt. De plus, elle fournit périodiquement et automatiquement des informations, sur de très grandes surfaces.

Les capteurs utilisés par le satellite Sentinel-2 possèdent une haute résolution de 10 m, c'est-à-dire, on peut cartographier même les petites zones de végétation épargnées par le feu dans chaque pixel de 100 m², ce qui rend l'estimation des surfaces forestières incendiées plus objective et plus fiable. De plus, la fréquence temporelle qui est égale à 5 jours, permet un suivi assez rapproché et régulier des surfaces brûlées tout au long de la campagne d'incendie.

Le calcul et la cartographie de l'indice de végétation NDVI au niveau des forêts de la wilaya de Béjaïa à l'aide de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques, ont permis d'établir une carte des surfaces forestières brûlées durant l'été 2021.

Cette technique qui permet, non seulement, d'économiser du temps et de l'argent, mais aussi d'avoir des cartes récentes et à jours pour une meilleure gestion des feux de forêt, répond aux attentes des conservations des forêts de l'Algérie qui doivent, chaque année, lors de la campagne d'incendie, fournir des bilans précis et régulier des surfaces brûlées par les feux de forêt à la DGF.

Les images Sentinel-2 représentent un précieux outil dans l'étude des feux de végétation. Elles permettent à la fois, d'identifier et d'évaluer la superficie des terrains affectés par les feux et en même temps de suivre leur évolution dans le temps.

Références
bibliographiques

Références bibliographiques

- **Azegagh A., Ghilas R., 2006.** Etude de l'herpétofaune dans les zones humides de la basse vallée de la Soummam (Béjaia, centre nord-est algérien). Mém. Ing d'Etat en Ecologie et Environnement, Univ. A-Mira de Béjaia, Algérie, 74 p+ 5p annexes.
- **Benkhelfi R. et Bouchachoua K., 2021.** Etude diachronique de la végétation forestière dans la wilaya de Sétif. Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri Constantine 1, 10-16 pp.
- **Bouzenzana L., (2015).** Etude diachronique de la régression de la végétation forestière par télédétection dans le massif de Djebel El Ouahch (Constantine). Mémoire de Master, Université des Frères Mentouri Constantine, 10-14 pp
- **Mazi A., 2015.** Essai d'analyse des incendies de forêt au niveau de la forêt de L'Akfadou-Est. Mém Master. Faculté des sciences de la vie et de nature, Univ de Bejaia, Algérie, 53p.
- **Messafri L., 2018.** Contribution à l'étude des grands feux dans la wilaya de Bejaia. Mémoire de Master, Université Mouloude Mammeri de Tizi ouzou, 63p.
- **Mokhtari K. et Zouagui M., 2017.** Contribution au suivi des pressions anthropiques de la wilaya de Bejaïa. Mémoire master des sciences de la nature et de la vie, Univ de Bejaia, 35 p.
- **Soudani K., 2015.** Initiation à ArcGIS 10.X. Module Géomatique – Faculté des Sciences d'Orsay, Université Paris0Sud XI, Bat. 362, France, 44p.
- **Sellers P. J., 1985.** Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. International Journal of Remote Sensing 6 : pp 1335-1337.

Sites internet

<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Résumés

Résumé

Chaque année, les feux de forêt font partie des risques majeurs dans les massifs forestiers de la wilaya de Béjaia, de nombreux hectares partent en fumée. Dans cette étude, on vise à explorer l'apport de l'imagerie spatiale pour estimer et cartographier les surfaces forestières incendiées durant l'été 2021. L'utilisation de la télédétection par satellite permet de réduire le coût et le temps nécessaire à l'évaluation écologique et économique. Les résultats obtenus à partir de l'analyse et du traitement des images à haute résolution fournies par le satellite Sentinel-2, ont permis d'estimer de façon plus précise les surfaces réellement incendiées. Cette approche repose sur l'analyse des valeurs de l'indice de végétation NDVI, qui est utilisé pour détecter les variations de biomasse et les zones brûlées.

Mots clés : Télédétection, Surface brûlée, NDVI, Classification supervisée.

Abstract

Every year, forest fires are one of the major risks in the forest massifs of the wilaya of Béjaia, with many hectares going up in smoke. This study aims to explore the contribution of space imagery to estimate and map the forest areas burnt during the summer of 2021. The use of satellite remote sensing reduces the cost and time required for ecological and economic evaluation. The results obtained from the analysis and processing of high-resolution images provided by the Sentinel-2 satellite have made it possible to estimate more precisely the areas actually burnt. This approach is based on the analysis of the NDVI vegetation index values, which is used to detect biomass variations and burnt areas. Finally, the results of the calculation and mapping of the NDVI of the forests of the wilaya of Béjaia allowed us to estimate more precisely the areas really burned.

Keywords: Remote sensing, Area burned, NDVI, Supervised classification.

المخلص

في كل عام ، تشكل حرائق الغابات أحد المخاطر الرئيسية في غابات ولاية بجاية ، حيث احترقت الآلاف من الهكتارات. هذه الدراسة تهدف إلى استكشاف مساهمة صور الأقمار الصناعية في تقدير ورسم خرائط مساحة الغابات المحروقة خلال صيف عام 2021. يتيح استخدام الاستشعار عن بعد بالأقمار الصناعية تقليل التكلفة والوقت اللازمين للتقييم البيئي والاقتصادي. النتائج التي تم الحصول عليها من تحليل ومعالجة الصور عالية الدقة التي قدمها القمر الصناعي Sentinel-2 جعلت من الممكن تقدير مساحة المناطق المحروقة بدقة أكبر. يعتمد هذا النهج على تحليل قيم مؤشر الغطاء النباتي NDVI ، ويستخدم للكشف عن تغيرات الغطاء النباتي والمناطق المحروقة. أخيرًا ، سمحت لنا نتائج الحساب ورسم الخرائط لمؤشر الغطاء النباتي NDVI لغابات ولاية بجاية بتقدير أكثر دقة للمناطق المحروقة فعليًا.

الكلمات المفتاحية: الاستشعار عن بعد ، المساحة المحروقة ، NDVI ، التصنيف الخاضع للإشراف

Année universitaire : 2021-2022

Présenté par : RACHEDI Tarek

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

Intitulé : Estimation et cartographie des surfaces forestières incendiées par télédétection durant l'été 2021 : cas de la wilaya de Béjaia

Résumé

Chaque année, les feux de forêt font partie des risques majeurs dans les massifs forestiers de la wilaya de Béjaia, de nombreux hectares partent en fumée. Dans cette étude, on vise à explorer l'apport de l'imagerie spatiale pour estimer et cartographier les surfaces forestières incendiées durant l'été 2021. L'utilisation de la télédétection par satellite permet de réduire le coût et le temps nécessaire à l'évaluation écologique et économique. Les résultats obtenus à partir de l'analyse et du traitement des images à haute résolution fournies par le satellite Sentinel-2, ont permis d'estimer de façon plus précise les surfaces réellement incendiées. Cette approche repose sur l'analyse des valeurs de l'indice de végétation NDVI, qui est utilisé pour détecter les variations de biomasse et les zones brûlées.

Mots-clefs : Télédétection, Surface brûlée, NDVI, Classification supervisée.

Laboratoires de recherche :

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

Encadreur : ARFA AMT (MCB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 1 : ALATOU D (Prof - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 2 : GANA M (MCB - Université Frères Mentouri, Constantine 1).