

Analyse spatiale de la régénération forestière post-incendie de la forêt de Fergoug à Mascara, Algérie

Idriss HADDOUCHE¹
Khatir BENHANIFIA²
Mohammed GACEMI²

¹ Université Abou-Bekr Belkaïd
Faculté Snv-Stu
Département des sciences
agroforestières
Imama, BP 230
Tlemcen, 13000
Algérie

² Centre des techniques spatiales
Division Observation de la Terre
BP 13, Arzew, 31200
Algérie



Photos 1.
Envasement du barrage de Fergoug.
Photos K. Benhanifia.

RÉSUMÉ

ANALYSE SPATIALE DE LA RÉGÉNÉRATION FORESTIÈRE POST-INCENDIE DE LA FORÊT DE FERGOUG À MASCARA, ALGÉRIE

Les feux de forêt sont fréquents en Algérie ces dernières années. Les dégâts économiques sont inestimables et les conséquences écologiques néfastes. La régénération naturelle est prévisible pour certaines régions du pays, pour d'autres, les conditions de reprise végétale ne sont pas toujours favorables. Cette étude évalue l'état après feu de la région forestière de Fergoug, dans la wilaya de Mascara ravagée par un grand incendie en été 2003. Elle met en évidence l'utilisation de l'outil satellite et son intégration dans un système d'information géographique (Sig). En effet, le Sig intègre une série d'images des satellites Landsat-TM (octobre 1987), Alsat-1 (août 2003 et octobre 2007), ainsi que des produits dérivés du modèle numérique de terrain du satellite Aster. L'analyse dans le Sig, par combinaison des indices de végétation normalisés (Ndv) générés à partir des images et des autres couches d'informations (carte forestière, carte des pentes, carte des expositions, limites du feu...), a permis de cartographier les changements survenus dans la zone d'étude après l'incendie. Les résultats obtenus et vérifiés par des investigations sur le terrain montrent une régénération remarquable de la strate forestière, particulièrement chez le thuya de Berbérie, *Tetraclinis articulata*. Cette reprise est beaucoup plus significative sur les versants orientés vers le nord, sur des pentes assez faibles. Ces versants sont moins exposés à la chaleur des longues journées de l'été, conservant dans les sols plus d'humidité indispensable à la croissance des végétaux. D'après les statistiques obtenues, les parties couvertes par la strate arborée avant le feu sont transformées en des matorrals et des maquis clairsemés qui, dans un proche avenir, peuvent atteindre le stade de couverture d'avant incendie, si les conditions d'entretien et de protection nécessaires sont réunies.

Mots-clés : Sig, régénération, télédétection, feu de forêt, Ndv, forêt de Fergoug.

ABSTRACT

SPATIAL ANALYSIS OF FOREST REGENERATION AFTER FIRE IN THE FOREST OF FERGOUG IN MASCARA, ALGERIA

Forest fires have become frequent in Algeria in the last couple of years, causing severe damage to flora and fauna. Conditions for natural regeneration are not always favourable. This study makes a post-fire assessment of the burned area in the forest of Fergoug in Mascara, western Algeria, which was ravaged by a large fire in 2003. We highlight the use made of remote sensing tools and their integration with a geographic information system (GIS). The study used data from Landsat-TM (October 1987), ALSAT-1 (August 2003 and October 2007) with data products from the ASTER satellite's digital terrain model. Through a GIS analysis combining normalized difference vegetation indexes (NDVI) generated from satellite imagery with other data layers (forest maps, exposure maps, limits of burned areas, etc.), we were able to map changes in the study zone after the fire. The results, validated against ground-truth data, show remarkable natural regeneration in some local species, especially the *Tetraclinis articulata* thuya. Regeneration is much more evident on fairly gradual north-facing slopes: these are less exposed to summer heat and consequently store more soil moisture, which is essential to vegetation growth. Much less regeneration was observed on the southern and western slopes. The statistics produced indicate that areas with tree cover before the fire are now occupied by sparse *matorral* and *maquis* vegetation, which, if adequately protected and maintained, could quickly recover to reform the tree cover observed before the fire.

Keywords: GIS, forest regeneration, forest fire, remote sensing, NDVI, Forest of Fergoug.

RESUMEN

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA REGENERACIÓN FORESTAL POSTINCENDIO DEL BOSQUE DE FERGOUG EN MASCARA, ARGELIA

Los incendios forestales son frecuentes en Argelia estos últimos años. Los daños económicos son inestimables y las consecuencias ecológicas catastróficas. En algunas regiones del país es previsible una regeneración natural, mientras que en otras las condiciones de recuperación vegetal no siempre son favorables. Este estudio evalúa el estado postincendio de la región forestal de Fergoug en la provincia de Mascara, devastada por un gran incendio en verano de 2003. Se pone de manifiesto la utilización de herramientas satelitales y su integración en un sistema de información geográfica (SIG). En efecto, el SIG integra una serie de imágenes de los satélites Landsat-TM (octubre de 1987), Alsat-1 (agosto de 2003 y octubre de 2007), así como productos derivados del modelo digital de terreno del satélite Aster. El análisis SIG, basado en la combinación de índices de vegetación normalizados (NDVI), generados a partir de imágenes y de otras capas de información (mapa forestal, mapa de pendientes, mapa de orientaciones, límites del incendio...), permitió cartografiar los cambios ocurridos en nuestra zona de estudio después del incendio. Los resultados obtenidos, corroborados por investigaciones de campo, muestran una notable regeneración del estrato forestal, especialmente en el ciprés ramoso, *Tetraclinis articulata*. Esta recuperación es mucho más significativa en las vertientes orientadas al norte con pendientes bastante leves. Estas umbrías, menos expuestas al calor de las largas jornadas veraniegas, mantienen más humedad en los suelos, algo indispensable para el crecimiento de los vegetales. Según las estadísticas obtenidas, las partes cubiertas por el estrato arbóreo antes del incendio se han transformado en matorral y maquia ralos que, en un futuro próximo, y si se reúnen las condiciones de mantenimiento y protección necesarias, pueden recuperar el grado de cobertura anterior al incendio.

Palabras clave: SIG, regeneración, tele-detección, incendio forestal, bosque de Fergoug.

Introduction

Les feux de forêt sont un phénomène naturel et récurrent en Algérie, particulièrement durant les deux dernières décennies. Si le feu est certes un agent de destruction de la forêt, il est également un agent de renouvellement naturel des forêts (BENHANIFIA *et al.*, 2004). De nombreuses espèces présentes avant le feu réapparaissent après la perturbation, pour autant qu'il y ait présence de graines, d'un lit de germination favorable et de bonnes conditions climatiques (SOSHANY *et al.*, 1995).

Pour les espaces densément boisés, en particulier dans les régions occidentales du pays, ces conditions sont moins favorables à une régénération naturelle de la forêt à cause de l'aridité du climat, des feux fréquents et de la forte pression anthropique (HADDOUCHE *et al.*, 2006).

À quelques dizaines de kilomètres au Nord de la ville de Mascara se trouve la forêt naturelle de Fergoug, composée d'une variété d'espèces formant un maquis arboré dont l'espèce dominante est le thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*). Cette essence endémique de la Méditerranée occidentale possède la caractéristique de se régénérer par le rejet des souches après sa dévastation par le feu. Ses jeunes semis peuvent se trouver dans les peuplements présentant des conditions favorables de sol et de climat et qui sont à l'abri de l'action perturbatrice de l'homme et de ses troupeaux. C'est le cas dans certains endroits de la forêt de Fergoug où les gradients altitudinaux importants, ainsi que les différentes orientations des versants sont à l'origine de microclimats très favorables à la régénération naturelle. En effet, les versants moins exposés aux fortes températures de l'été préservent un certain degré d'humidité du sol aidant l'espèce à résister aux conditions arides du climat (BENHANIFIA *et al.*, 2002).

Les incendies répétitifs lors des deux dernières décennies ont causé une forte dégradation forestière mettant à mal son rôle protecteur face à l'érosion hydrique des sols. L'envasement quasi total du barrage de Fergoug situé au pied de cette forêt en est le témoin. Les derniers incendies de forêt qu'a connus la région remontent aux années 1994 et 1997 ; mais le plus désastreux est celui de l'année 2003 qui a détruit des centaines d'hectares de territoires forestiers.

La présente étude a pour objectif de faire un constat sur l'état des zones forestières brûlées après le passage du dernier feu. Le travail mené adopte une approche basée sur l'analyse des données satellites acquises à des périodes avant et après le feu, validées par des vérifications sur le terrain. Les images utilisées dans l'étude sont des images du satellite Landsat-TM (2 octobre, 1987) et du satellite algérien Alsat-1 prises juste après le passage du feu (10 août 2003). Pour évaluer l'état de la forêt et de la régénération forestière après le passage du feu, une autre scène du même satellite couvrant la zone d'étude, prise le 2 octobre 2007, a été exploitée.

Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Mascara est réputée pour ses activités agricoles qui jouent un rôle important dans le secteur économique national. La région de Mohammadia était dans un passé très proche un pôle reconnu au-delà des frontières pour sa production, tant en qualité qu'en quantité, des produits agricoles et à leur tête les agrumes.

Le barrage de Fergoug, premier barrage construit en Algérie (1872), est l'artère de l'activité agricole pour cette localité. Aujourd'hui, il se trouve dans un état critique d'envasement suite à la très forte érosion hydrique (photo 1). Cet état dramatique a eu des conséquences néfastes sur le secteur agricole de la région. Cependant, il est primordial de considérer les facteurs du désastre et de prendre les mesures adéquates pour le limiter. Le sous-bassin-versant de l'oued Fergoug présente un écosystème fragilisé par les épisodes de sécheresse et la pression anthropique provoquant la perte de la couverture végétale qui protège les sols de l'érosion. La forêt de Fergoug constitue un élément important dans la protection des sols. Elle demeure la première concernée par le déséquilibre induit par les incendies de forêt.

Situation de la région de l'étude

La forêt de Fergoug est située à une dizaine de kilomètres de la ville de Mohammadia et à une vingtaine de kilomètres de la ville de Mascara. Son territoire fait partie du sous-bassin-versant de l'oued Fergoug, comprenant les communes de Mamounia, Fraguig et Hacine. Sur le plan administratif, cette forêt est gérée par la conservation des forêts de Mascara (figure 1).

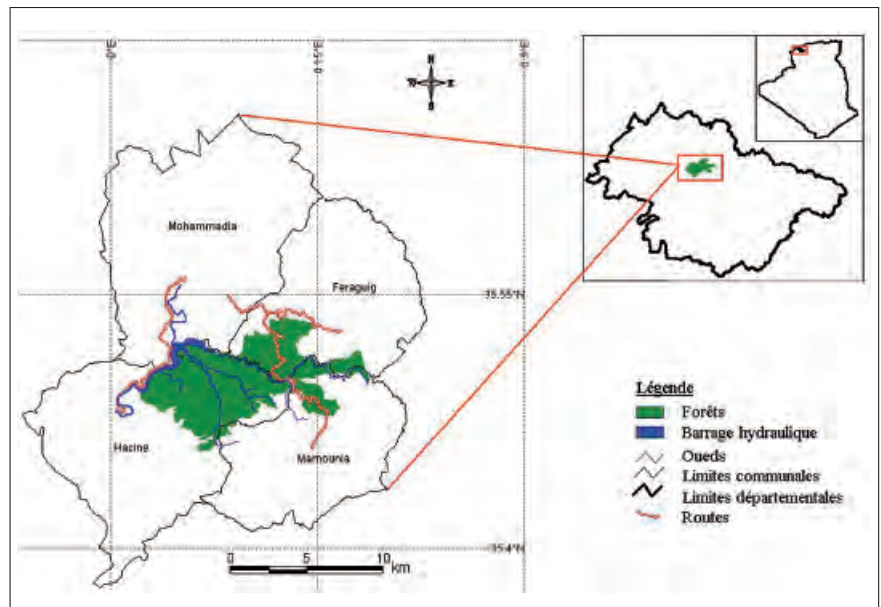


Figure 1.

Localisation de la zone forestière de Fergoug dans la wilaya de Mascara.

La superficie des formations forestières incluant les clairières avoisine les 5 000 hectares (ha). L'accès à cette forêt se fait par l'Est grâce à l'axe routier Mascara-Mohammadia. Deux principales pistes réaménagées partent de la commune de Mamounia vers le cœur de la forêt. En 2003 et pendant la saison estivale, une partie importante de cette forêt fut ravagée par un grand incendie sur plus de 800 ha. En 2007, une fois encore, le phénomène détruisait quelques dizaines d'hectares (figure 2).

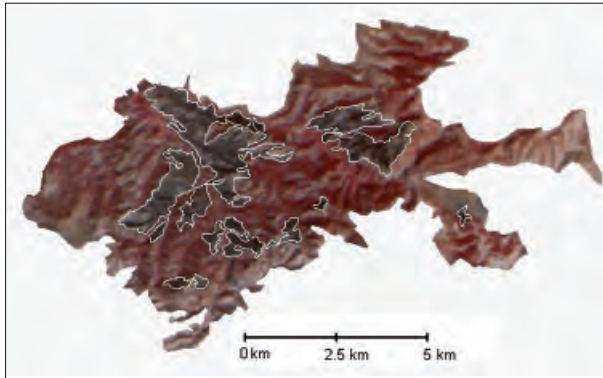


Figure 2.

Image Alsat-1 du 10 août 2003 couvrant la zone forestière de Fergoug et les traces du feu dans la forêt de Fergoug, zone brun foncé avec un contour blanc.

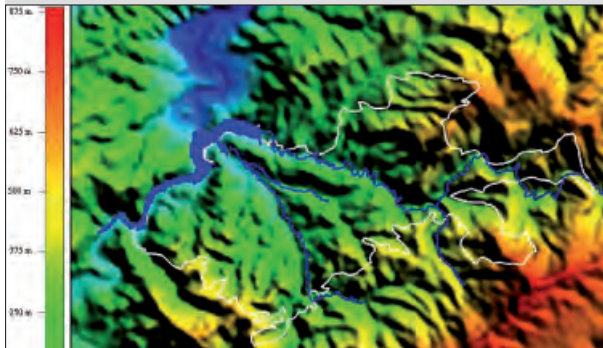


Figure 3.

Altitudes calculées avec le modèle numérique de terrain de la zone d'étude, avec les principaux oueds et le barrage. La ligne blanche représente la limite de la zone d'étude.



Photos 2.

Boisements naturels de thuya de Berbérie, *Tetraclinis articulata*. Photos K. Benhanifia.

Description du milieu naturel et physique

Le milieu floristique de la forêt de Fergoug est varié. En général, la strate arborescente avec le thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*) comme espèce majoritaire occupe une partie importante de cette forêt. Sur les versants avec des conditions favorables de sol et d'humidité, cette essence forme un peuplement dense (photo 2). D'autres espèces arbustives s'y trouvent aussi comme l'olivier sauvage (*Olea europaea*). Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) n'est présent que dans quelques endroits spécifiques sous forme de reboisements lâches.

Dans les endroits plus humides (les lits des oueds et les cours d'eau), on peut rencontrer le laurier rose (*Nerium oleander*), le lentisque (*Pistacia lentiscus*). Dans les zones où les conditions sont moins favorables, la forêt est transformée en un maquis clair composé d'une strate buissonnante et herbacée constituée de formations mixtes ou individualisées dont le calycotome (*Calycotum spinosa*), le romarin (*Rosmarinus officinalis*), l'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) et l'alfa (*Stipa tenacissima*).

Le milieu physique dans cette région est caractérisé par un relief disséqué et vigoureux dans le détail avec des pentes assez fortes (figure 3). Selon BOUCHETATA A. et BOUCHETATA T. (2006), la quasi-totalité des terrains est occupée par des séries marneuses datant du crétacé ou du néogène, exception faite des affleurements gréseux qui arment les sommets de certaines unités. La lithologie laisse apparaître une diversité des formations superficielles avec prédominance de sols marneux et argileux sensibles à l'érosion hydrique. La forêt de Fergoug est drainée par un nombre d'oueds et d'affluents moins important dont l'écoulement est irrégulier et dépend étroitement de la durée des pluies et de leur intensité. Le réseau hydrographique est composé de l'oued Fergoug, l'oued Tarzout et l'oued el Hammam qui acheminent les eaux pluviales vers le barrage de Fergoug, lequel se trouve au pied de cette forêt.

Le climat de la région est marqué par des conditions contraignantes avec de forts contrastes saisonniers et des irrégularités très nettes de précipitations. Les sécheresses fréquentes ont eu des effets sur l'état du milieu naturel. Le stress hydrique résultant de l'irrégularité des pluies favorise le dépérissement des strates forestières et l'augmentation du degré de leur sensibilité au feu.

Matériel et méthode

Données

Les données utilisées pour la réalisation du présent travail sont de sources et formats différents. Elles sont regroupées dans les catégories suivantes :

- image du capteur Thematic Mapper du satellite Landsat-4 (2 octobre 1987) de résolution spatiale 28,5 mètres (m) ;
- images du satellite algérien Alsat-1 acquises juste après le passage du feu (10 août 2003) et à une date plus tardive (2 octobre 2007) de résolution spatiale 30 m ;
- modèle numérique de terrain obtenu par stéréoscopie radar du satellite Terra Aster (Japon-Nasa) d'une résolution spatiale de 30 m ;
- carte topographique d'état-major (échelle 1 : 50 000) ;
- esquisse des formations forestières, réalisée par la conservation des forêts de la wilaya de Mascara (échelle 1 : 50 000).

La saison à laquelle les images satellites ont été prises n'est pas trop éloignée dans le temps. Elle remonte à la période de l'été et au début de l'automne (juillet-août-octobre). Le choix de l'acquisition des images en cette période est mieux adapté à la démarche envisagée. Cette démarche se fonde essentiellement sur l'analyse de l'indice de végétation sensible à la présence de la végétation annuelle. Selon HADDOUCHE (2009), le contraste entre végétation annuelle et végétation pérenne et sempervirente, en saison sèche, est le plus fort et donc le plus détectable.

Le modèle numérique de terrain a été utilisé pour l'extraction des paramètres géomorphologiques de la zone d'étude (pentes et expositions), tandis que la carte topographique a servi pour le calage géométrique des images.

L'interprétation de la thématique des indices de végétation normalisés (Ndv) est justifiée par l'appui de la carte des formations forestières. D'autres informations issues de relevés sur des sites de terrain ont été collectées pour la validation des résultats de cette étude.

Méthodologie

La démarche adoptée pour répondre aux objectifs engagés, afin de mettre en évidence l'évaluation de l'état de la forêt après le passage du feu en utilisant les techniques de la télédétection, se résume en trois principales phases (figure 4) :

- préparation et prétraitement des données ;
- traitement et analyses (cartographie) ;
- intégration dans un système d'information.

Prétraitements

Les opérations de prétraitement des différentes données sont spécifiques pour chaque type d'entre elles. Les documents au format papier ont été scannés et référencés afin d'être facilement intégrés avec les données numériques. Les images satellitaires acquises par des systèmes imageurs différents (Landsat-TM et Alsat-1) ont subi des opérations appropriées (rectification géométrique, rééchantillonnage radiométrique et spatial) pour être facilement comparables.

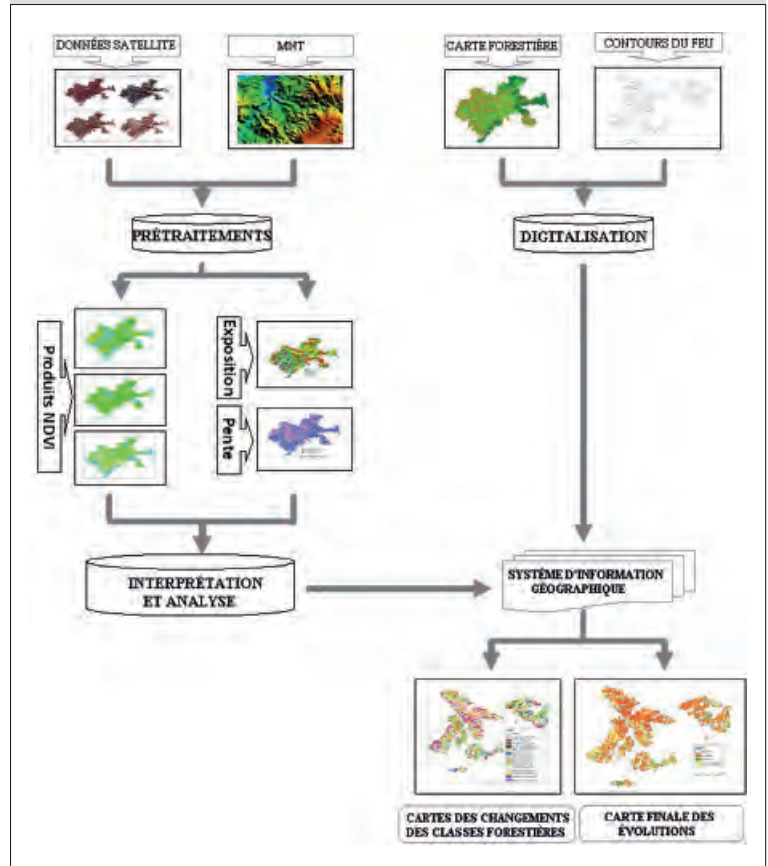


Figure 4.

Organigramme des traitements des images satellites et de la combinaison dans le système d'information géographique.

En effet, les résolutions spatiales (28,5 m pour Landsat-TM et 32 m pour Alsat-1) ont été rééchantillonnées à 30 m, ce qui correspond à la résolution du Mnt de Aster. Les corrections géométriques sont appliquées sur les images à l'aide de points d'appui localisés sur la carte topographique en tenant compte du système de projection de cette dernière (Lambert conique), système de coordonnées géographiques appliqué en Algérie. La précision géométrique, de 0,70 pixel (moins de 30 m), a été jugée acceptable pour cette étude.

Pour les corrections atmosphériques, une approche relative basée sur des informations liées aux images (objets invariants) a été adoptée afin de ramener les conditions de l'une des deux images aux mêmes conditions de l'autre. Les deux images sont donc liées par une relation linéaire fondée sur des coefficients de normalisation calculés à partir d'objets choisis et supposés de réflectance invariable dans le temps.

Les contours du feu ont été digitalisés manuellement sur les images Alsat-1 prises le 10 août 2003, quelques jours après son déclenchement (figure 5).

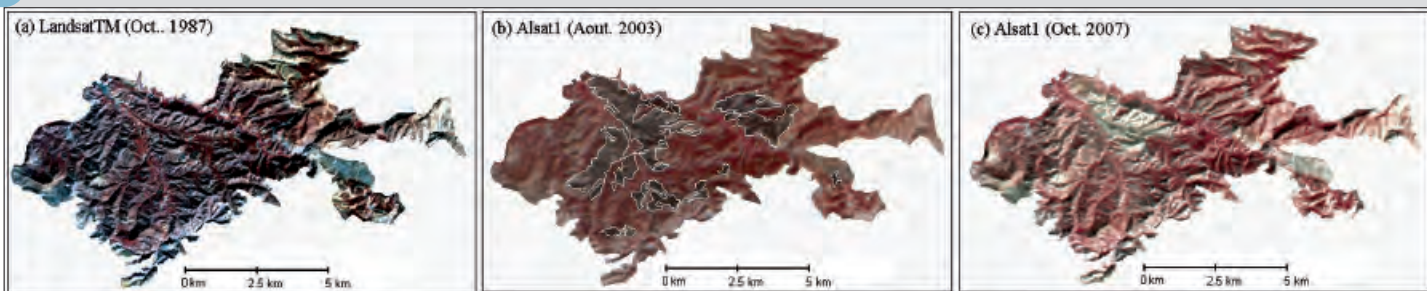


Figure 5.

Images couleurs composites et multi-dates de la zone d'étude. Les zones brunes avec des contours blancs représentent les espaces brûlés qui sont analysés dans cette étude.

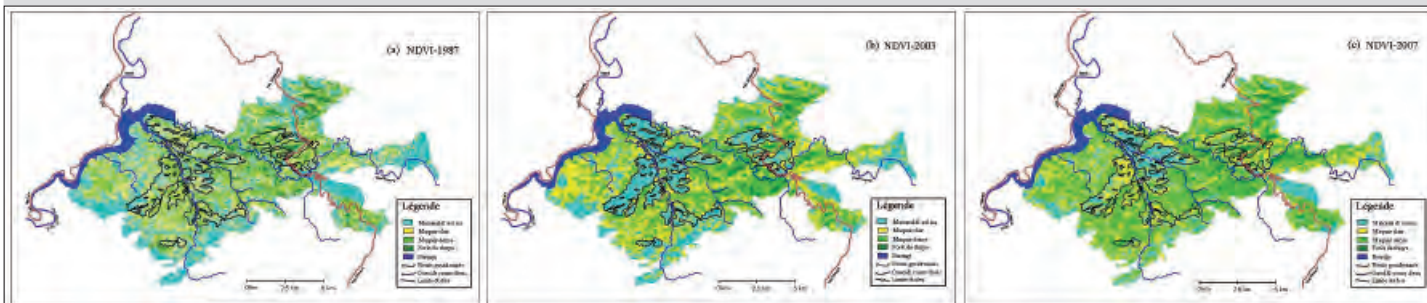


Figure 6.

Indice normalisé de végétation (Ndbi) couvrant la zone d'étude pour différentes dates (2 octobre 1987 en a ; 10 août 2003 en b ; 2 octobre 2007 en c).

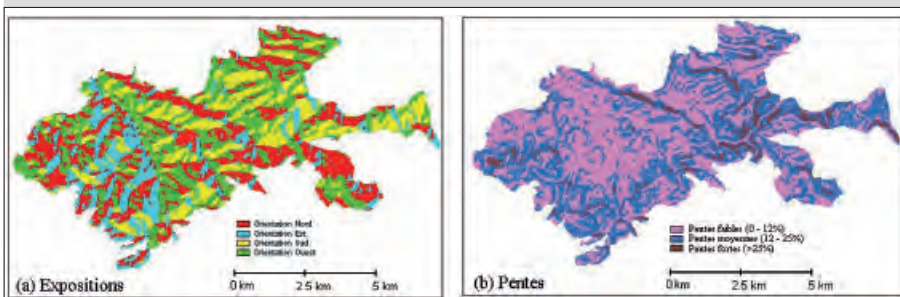


Figure 7.

Carte des expositions (a) et carte des pentes (b) sur la zone d'étude.

Cartographie de la végétation

Dans cette étude, l'objectif défini est d'évaluer l'état de la couverture végétale dans l'ensemble de la forêt de Fergoug en général et spécifiquement dans les zones parcourues par les feux. Cependant, la démarche méthodologique adoptée repose essentiellement sur l'analyse et l'interprétation du Ndbi donné par la formulation suivante :

$$\text{Ndbi} = \frac{\text{Infrarouge} - \text{Rouge}}{\text{Infrarouge} + \text{Rouge}}$$

Cet indice met en évidence l'activité chlorophyllienne de la végétation, car il utilise la bande infrarouge du spectre électromagnétique où la végétation réfléchit l'énergie incidente qui est par la suite enregistrée par le capteur du satellite (MARTIN, CHUVIECO, 1993). L'interprétation de l'indice de végétation fait qu'une végétation saine et active occupe les fortes valeurs tandis que les faibles valeurs indiquent

l'absence (sol nu) ou la dégradation du milieu végétal (HADDOUCHE, 2009). Dans cette étude, le Ndbi a été généré pour chaque date de prise de vue (figure 6).

Traitement des données topographiques

La caractérisation de l'état de la forêt avant et après feu ainsi que la description de la relation entre son degré de couverture et la topographie du lieu ont fait l'objet d'une analyse à partir d'un système d'information géographique.

Des produits topographiques représentant la carte des pentes et la carte des expositions (figure 7) ont été calculés à partir du Mnt (Aster) en utilisant un logiciel approprié (Envi, ©ITT). Les classes de pentes sont regroupées en trois grandes classes selon la topographie forestière :

- pentes faibles (0-12 %) ;
- pentes moyennes (12-25 %) ;
- pentes fortes (> 25 %).

Quant aux classes des expositions, elles ont été fusionnées en quatre principales directions : orientations Nord, Est, Sud et Ouest par rapport à la direction du Nord géographique.

Le traitement se fait uniquement sur les zones parcourues par le feu afin d'évaluer l'état de la reprise végétale. À cet effet, un masque représentant les contours de l'incendie a été appliqué sur les produits cartographiques pour atténuer les autres régions non concernées.

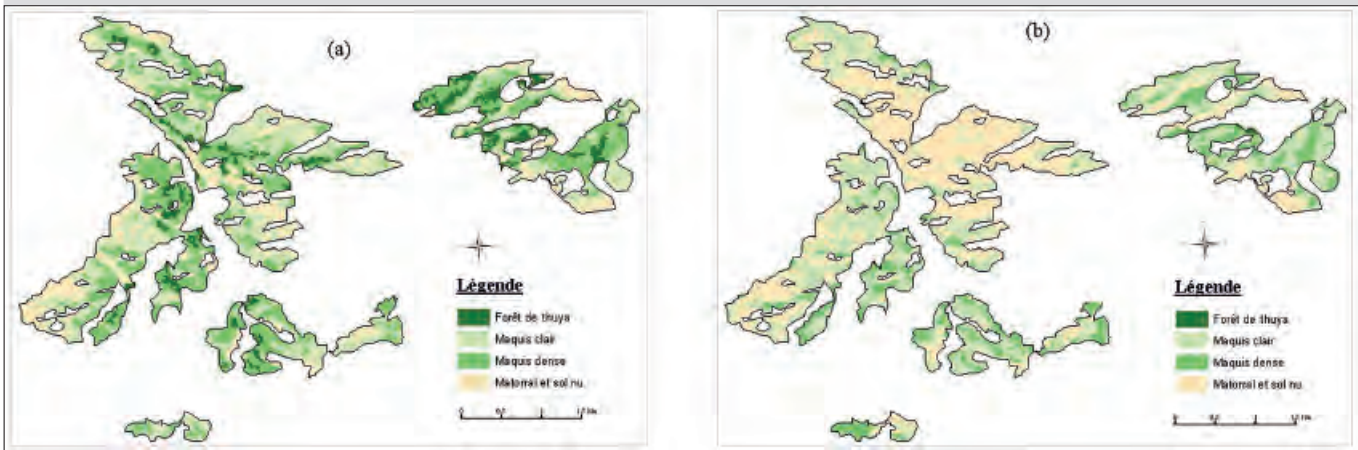


Figure 8.

Carte de formations forestières obtenue par interprétation des indices normalisés de végétation (Ndvi) de 1987 (a) et 2007 (b).

Résultats

Le premier résultat de cette étude est la réalisation de la carte de l'occupation du sol par la formation forestière avant et après incendie (entre 1987 et 2007). Cette carte est obtenue par interprétation des images dérivées en Ndvi en introduisant un seuil de présence de la végétation défini pour chaque image. La classification finale des Ndvi regroupe les différentes formations forestières de la zone d'étude selon leur présence et le degré de couverture (figure 8). La typologie ainsi définie se compose de quatre classes :

- matorral et faible couverture végétale ;
- maquis clair et forêt clairsemée ;
- maquis dense ;
- forêt de thuya de Berbérie.

Le paysage du couvert végétal a sans doute changé après le passage du feu. La caractérisation de cette révolution et la description de son état ont été faites par le croisement des deux cartes résultats précédentes (figure 8) avec les cartes des pentes et des expositions (figure 7) dans un système d'information géographique. Cette opération a permis de dresser la carte de l'évolution de la couverture forestière (figure 9) survenue dans la zone d'intérêt entre 1987 et 2007.

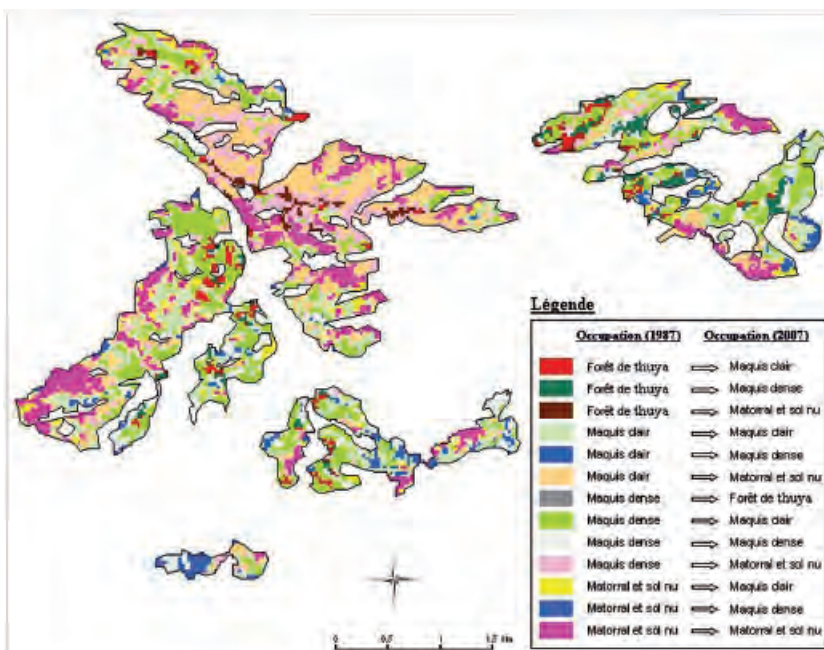


Figure 9.

Carte de l'évolution de la forêt de la zone d'étude (1987-2007).

Interprétation et discussion

Les figures 8 et 9 montrent les différentes mutations entre les classes d'occupation avant et après le feu. La classe « forêt de thuya » s'est transformée en « matorral et sol nu », « maquis clair » et par endroits en « maquis dense ». Quant à la classe « maquis dense », elle est devenue un « matorral et maquis clair » et les endroits qui ont échappé au feu ont atteint un stade avancé de « maquis dense ». Les classes occupées par le « matorral et sol nu » et le « maquis clair » ont conservé leur état initial sauf dans les endroits avec les conditions appropriées où elles ont changé en « maquis dense » (tableau I).

D'après les statistiques (tableau II), la superficie totale parcourue par le feu est d'environ 836 ha dont 7,8 % de peuplements de thuya, 36,25 % de maquis dense, 37,15 % de maquis clair et 18,78 % de matorral et de sol nu. Autrement dit, les changements survenus entre 1987 et 2007 montrent une réduction considérable des superficies chez le thuya (- 98 %) et le maquis dense (- 57 %)

Tableau I.
Les changements de classe d'occupation entre 1987 et 2007.

Classe d'occupation avant incendie (1987)	Classe d'occupation après incendie (2007)
Forêt de thuya	Matorral et sol nu, maquis clair, maquis dense
Maquis dense	Matorral et maquis clair, maquis dense
Maquis clair	Maquis clair, maquis dense
Matorral et sol nu	Matorral et sol nu, maquis dense

et une extension de celles du matorral (+ 57 %) et du maquis clair (+ 13 %). Cela signifie que les régions parcourues par le feu en 2003 connaissent une régénération naturelle des espèces forestières (le thuya et son cortège floristique) qui sont actuellement dans un stade de matorral et maquis clair, formant un maquis dense dans certains endroits.

L'évolution du recouvrement de la végétation forestière est cohérente avec les changements survenus. Sur les 65,46 ha occupés par la « forêt de thuya » en 1987, seulement 1,2 ha est conservé en 2007, tandis que 26,2 ha ont été transformés en « maquis clair », 12,23 ha en « matorral et sol nu » et enfin 25,83 ha en « maquis dense ». Pour la classe « maquis clair », sur 310,82 ha, 169,35 ha ont été changés en « matorral et sol nu » et 20,3 ha en « maquis dense ». Le constat peut être fait pour la classe « maquis dense » et la classe « matorral et sol nu » (tableau III).

Suite aux investigations sur le terrain, il a été remarqué une reprise significative du thuya qui repart parfaitement de souches et forme un maquis/taillis dense dans certaines localités (photo 3). La chose la plus importante qui puisse être retenue est la conservation de la diversité végétale préexistante, car la plupart des espèces accompagnatrices du thuya ont commencé à prendre place sur ces endroits (lentisque, olivier sauvage, calycotum et diverses strates herbacées).

Les espèces régénérées diffèrent d'un type à l'autre et dépendent de la morphologie du terrain. D'après les analyses, la croissance chez le thuya de Berbérie est la plus significative. Cette espèce est accompagnée par un cortège floristique varié et bien venant composé particulièrement de lentisque (*Pistacia lentiscus*), de calycotum (*Calycotum spinosa*) et de romarin (*Rosmarinus officinalis*), surtout sur les versants orientés vers le Nord avec des pentes faibles à moyennes. Ces jeunes pousses forment ensemble un maquis parfois dense dû au fait que ces versants sont moins exposés au soleil et que les vents frais arrivant du Nord aident les sols à préserver leur humidité.

Inversement, les versants orientés vers le Sud et l'Ouest connaissent une faible régénération de la strate forestière, sous forme de matorral et maquis clair, accompagnée d'une végétation aride comme l'alfa (*Stipa tenacissima*). Cette différence est expliquée par le déficit d'humidité.

Tableau II.
Taux et pourcentage de recouvrement de la végétation forestière (1987-2007).

Classe d'occupation	Superficie en 1987		Superficie en 2007		Observation
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	
Forêt de thuya	65,46	7,82	1,40	0,17	- 98 %
Maquis clair	310,82	37,15	348,61	41,66	+ 13 %
Maquis dense	303,23	36,25	130,25	15,57	- 57 %
Matorral et sol nu	157,18	18,78	356,43	42,60	+ 57 %
Total	836,69	100	836,69	100	

Tableau III.
Évolution du type de couverture de la végétation forestière entre 1987 et 2007 (en ha).

	1987	Forêt de thuya	Maquis clair	Maquis dense	Matorral et sol nu	Total
2007						
Forêt de thuya		1,20	26,20	25,83	12,23	65,46
Maquis clair			121,17	20,3	169,35	310,82
Maquis dense		0,20	156,71	70,94	75,38	303,23
Matorral et sol nu			38,21	8,12	110,85	157,18
Total		1,40	342,29	125,19	367,81	836,69

**Photos 3.**

Régénération naturelle après feu dans la zone d'étude. A : transformation d'une grande partie de la forêt de Fergoug en matorral et maquis clair. B : une « timide » régénération naturelle de l'espèce thuya de Berbérie, *Tetraclinis articulata*, particulièrement sur les versants orientés vers le sud, sur des pentes moyennes et fortes, à cause de l'aridité du climat, des feux fréquents et de la forte pression anthropique. C : une belle reprise est constatée chez l'espèce thuya de Berbérie, particulièrement dans les versants orientés vers le nord sur des pentes modérées.

Photos I. Haddouche.

Références bibliographiques

dité et la pauvreté des sols, d'une part, et le dépérissement influencé par l'exposition de ces endroits à la chaleur des longues journées de l'été, de l'autre. Au regard des résultats présentés dans les tableaux II et III, cette forêt devient un matorral et maquis clair (+ 710 ha). Cet état des lieux nécessite une réflexion de la part des services forestiers pour envisager des plans d'aide à la reconstruction du couvert forestier dans cette région.

Conclusion et perspectives

La présente étude basée sur l'utilisation de l'outil de télédétection a permis d'avoir une vision sur l'état de la forêt de Fergoug (Mascara, Algérie) avant (1987) et après (2007) l'incendie qui a frappé la région en été 2003. Les traitements des images ont abouti à l'élaboration de la carte des évolutions (carte de changement) dans le milieu forestier durant cette période. Cette carte a été intégrée avec d'autres données telles que la carte des pentes et des expositions dans un système d'information géographique afin d'évaluer l'état de la reprise végétale des zones incendiées.

Les résultats obtenus montrent la transformation d'une grande partie de la forêt de Fergoug en matorral et maquis clair (+ 710 ha sur les 836 ha parcourus par le feu). Sur le terrain, une belle reprise est constatée chez l'espèce « thuya de Berbérie », particulièrement sur les versants orientés vers le Nord avec des pentes modérées.

Afin de préserver les milieux naturels dans cette région, il est urgent :

- d'établir un plan d'aide à la régénération intégré à un plan de protection des sols contre l'érosion ;
- de favoriser la régénération naturelle des espèces autochtones surtout sur les versants Nord ;
- de reboiser les endroits à faible régénération par l'introduction d'espèces résistantes comme le pin d'Alep ;
- de protéger le milieu contre les feux répétitifs et les autres faits destructeurs.

BENHANIFIA K., BEKRADA A., SMITH S., 2002. Multitemporal remote sensing and geographic information systems: a useful tool for detecting and mapping forest changes. *Surveying and Land Information Science*, 62 (3): 171-178.

BENHANIFIA K., HADDOUCHE I., BENSALD A., SMAHI Z., HAMIMED A., 2004. Characterization of the deforestation effect in a semi-arid region by the use of satellite images. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology V*, proceedings volume, proceedings of SPIE, vol. 5232.

BOUCHETATA A., BOUCHETATA T., 2006. Propositions d'aménagement du sous-bassin-versant de l'oued Fergoug (Algérie) fragilisé par des épisodes de sécheresse et soumis à l'érosion hydrique. *Sécheresse*, 17 (3) : 415-24.

BOULFROY E., 1996. Prédiction de la régénération forestière naturelle après feu dans la forêt boréale québécoise. Mémoire de maîtrise en ressources renouvelables présenté à l'Université du Québec à Chicoutimi. <http://bibvir.uqac.ca/theses/1537609/1537609.pdf>.

HADDOUCHE I., 2009. La télédétection et la dynamique des paysages en milieu aride et semi-aride en Algérie : cas de la région de Nâama. Thèse de doctorat, Université Tlemcen, Algérie, 259 p.

HADDOUCHE I., BENHANIFIA K., HELLAL B., 2006. Utilisation de la télédétection pour l'étude de la déforestation. Cas de la région de Djelfa (Algérie). *Revue Écologie-Environnement (Laboratoire Agro-Bio/Zones arides, Université Tiaret)*, 2 : 1-14.

MARTIN M. P., CHUVIECO E., 1993. Mapping and evaluation of burned land from multitemporal analysis of AVHRR NDVI images. *Proceedings of International Workshop on Satellite Technology and GIS for Mediterranean Forest Mapping and Fire Management*, Thessaloniki, Greece, 4-6 November 1993: 71-83.

SOSHANY M., KUTIEL P., LAVEE H., 1995. Monitoring temporal vegetation cover changes in mediterranean and arid ecosystems using a remote sensing technique: case study of the judean Mountain and the judean desert. *Journal of Arid Environments*, (33): 9-21.