

Etude spatiale de l'état après feu de la forêt de Fergoug (Mascara, Algérie)

K.BENHANIFIA (*) , I. HADDOUCHE (), M.A.GACEMI (*) & A.BENSAID (***)**

(*) Spatial Techniques Center, Arzew, 31200 Algeria (**) Forestry departement, Abou-Bekr BELKAID University, BP 119, Tlemcen, Algeria (***) Université de Caen, Esplanade de la paix BP 5186, 14032 Caen, France.

Résumé : Les feux de forêt sont fréquents en Algérie dans ces dernières années. Les dégâts sont inestimables et les conséquences sont néfastes. La régénération naturelle si elle est prévisible pour certaines régions du pays, pour d'autres, les conditions de reprise végétale ne sont pas toujours favorables. L'objectif du présent travail est de faire une étude d'évaluation de l'état après feu de la région forestière de Fergoug dans la wilaya de Mascara ravagée par un grand incendie en été 2003. L'étude est basée sur l'utilisation de l'outil spatial et son intégration avec d'autres informations dans un système d'information géographique. En effet, une série d'images du satellite Landsat-TM prise en octobre 1987 et du satellite Alsat-1 en août 2003 et octobre 2007 ainsi que des produits dérivés du modèle numérique de terrain (ASTER) ont été utilisés dans ce projet. L'analyse des indices de végétation normalisés (NDVI) générés à partir des images et combinés avec les autres couches d'information dans un SIG (carte forestière, carte des pentes, carte des expositions, les limites du feu...) a permis de cartographier les changements produits dans cette zone après l'incendie. Les résultats obtenus et vérifiés par des investigations sur le terrain ont montré une régénération remarquable de la strate forestière particulièrement chez le thuya de Berberie. Cette reprise est beaucoup plus significative dans les versants orientés vers le nord sur des pentes plus au mois faibles. Cela est expliqué du fait que ces versants sont moins exposés à la chaleur des longues journées de l'été et par conséquent les sols conservent plus leur 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 souhaité si les conditions du soin et de la préservation nécessaires seront réunies.

Mots clé : Forêt de Fergoug, Feu de forêt, image satellite, SIG, régénération

Abstract: In Algeria forest fires becomes a frequent phenomenon in the last years affecting therefore enormous damages to the flora and fauna. The condition of a natural regeneration if they are foreseeable for some parts of the country, they are not always favourable for others. The main objective of this study is to make a post fire assessment of the burned forest area of Fergoug in the State of Mascara (Algeria) ravaged by a large fire in 2003. The study is based on the use of remote sensing technology combined to GIS and other ground data in order to characterize the status of the restoration of the vegetation in these areas. Indeed, a range of data such as satellite images (Landsat-TM acquired in October 1987 and Algerian satellite ALSAT-1 in August 2003 and October 2007) as well as derived from digital elevation model (ASTER) products were used in this project. An approach based on an image analysis integrated with additional data into a GIS was adopted. However, the normalized vegetation

index (NDVI) resulting from image processing combined with other informative sources including forest map, slopes, aspect, fire limits etc. allowed to characterise and evaluate forest's regeneration some time after fire. The results obtained and verified by investigations on the ground have shown an important natural restoration for some local species especially Berberian Thuya (*Tetraclinis articulata* Vahl.). The more significant regeneration was observed for sites situated facing north because they are less exposed to the high temperatures of the long days of summer and consequently soils retain more moisture essential to plant growth. Therefore, a lower level of regeneration was shown for those facing south and west. According to the statistics obtained and verified on the ground, the covered by tree stratum before the fire territories are now occupied by a light vegetation cover which could reach in the near future the desired level of coverage and growth if it would be well preserved and protected against more destructive fires.

Keywords: Forest fire, Fergoug, Remote sensing, Satellite images, GIS, NDVI, Regeneration

Introduction

Les feux de forêt sont un phénomène naturel et récurrent en Algérie particulièrement dans 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. Nombreuses espèces présentes avant 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.

Pour les espaces boisés, en particulier dans les régions occidentales du pays, ces conditions sont moins favorables à une régénération naturelle fiable à cause de l'aridité du climat, les feux fréquents et la forte pression anthropique. A 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 Berberie (*Tetraclinis articulata* Vahl.). Cette essence endémique de la Méditerranée occidentale possède les caractéristiques d'être régénérée particulièrement par le rejet des souches. Mais, on peut trouver ses jeunes semis 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 remarqué 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. En effet, les versants moins exposés aux fortes températures de l'été préservent un certain degré d'humidité du sol aidant ainsi l'espèce à résister aux conditions du climat.

Quoique les incendies répétitifs lors des deux dernières décennies aient causé une dégradation remarquable à cette forêt qui joue un rôle protecteur des sols de l'érosion hydrique. L'envasement quasi-total du barrage de Fergoug situé au pied de cette forêt en est témoin sur la situation. 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 dresser 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 satellite prises à des périodes séparées avant et après le feu appuyée par des sorties de vérification sur le terrain. Les principales images utilisées dans l'étude sont des images du satellite Landsat-TM (octobre, 1987) et du satellite algérien Alsat-1 prises pendant et juste après le feu (23 juillet et 03 août 2003). Pour évaluer l'état de la forêt à une période considérée après le passage du feu, une autre scène du même satellite a été prise en octobre 2007 pour cette région.

L'interprétation des documents traités a permis de localiser et cartographier les zones sinistrées afin d'examiner leur état actuel. L'analyse de l'indice de végétation dérivé des trois images traitées a montré une variation dans la radiométrie des zones touchées par le feu. Ces modifications sont donc liées à un changement dans l'état de l'occupation du sol et par conséquent, la situation de la forêt avant et après le feu.

Les observations sur le terrain ont permis de constater une bonne reprise des jeunes souches du thuya avec un tau de recouvrement considérable. Dans certains endroits à microclimat favorable (versants nord et nord -est), ces souches atteignent la hauteur d'un mètre approximativement en formant une sorte de matorral arboré.

D'après ces constats, la forêt dans cette localité peut prendre son état habituel dans un proche avenir si elle est bien préservée et protégée surtout contre les feux récurrents.

1-Cadre de l'investigation

La wilaya de Mascara est réputée par 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 par sa production tant en qualité que 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 l'érosion hydrique très accentuée. Cet état dramatique a eu des conséquences néfastes sur le secteur agricole de la région. Cependant, il est primordial de penser sur les facteurs du désastre et 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 introduisant 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 le premier concerné par ce déséquilibre due à des facteurs différents parmi lesquels les incendies de forêts.

1.1- Situation de la région de l'étude

La forêt de Fergoug située à une dizaine de kilomètres de la ville de Mohammadia et à une vingtaine de la ville de Mascara fait partie du sous-bassin-versant de l'oued Fergoug sur un territoire partagé entre les communes de Mamounia, Fraguig et Hacine. Elle appartient à la conservation des forêts de Mascara (fig.1). La superficie des formations forestières incluant les clairières avoisine le tau de 5000 hectares. L'accès à cette forêt est moins aisé à l'exception de la partie Est assurée par l'axe routier Mascara-Mohammadia. Deux principales pistes réaménagées partent de la commune de Mamounia vers le cœur de la forêt. En été 2003, une partie importante de cette forêt fut transformée en cendre par un grand incendie qui a ravagé plus de 800 hectares. En 2007, une fois encore le phénomène était présent en détruisant quelques dizaines d'hectares.

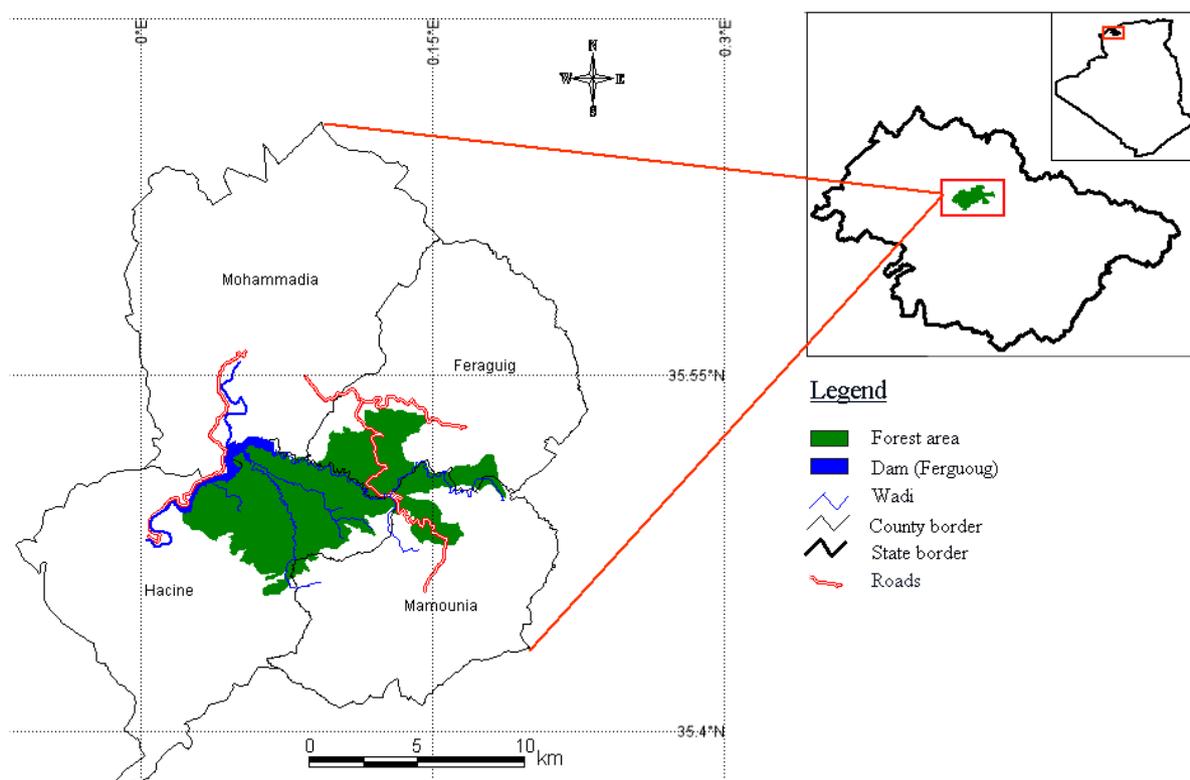


Figure 1. Area of investigation

1.2- 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 Berberie (*Tetraclinis articulata*) comme espèce majoritaire occupe une partie importante de cette forêt. Sur les versants avec des conditions favorables (sol et humidité), cette essence forme substrat plus au moins dense. Tandis que dans les zones où les conditions sont moins propices, elle est transformée en un maquis clair. Le Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) n'est présent que dans quelques endroits distincts sous forme de reboisements lâches.

La strate arbustive présentée par une multitude d'espèces couvre de superficies importantes. Sur les lits des oueds et des cours d'eau on peut rencontrer le Laurier rose (*Nerium oleander*), le Lentisque (*Pistacia lentiscus*) et l'Olivier sauvage (*Olea europea*). La strate buissonnante et herbacée qui accompagne le thuya est constituée de formations mixtes ou individualisées dont le calycotome (*Calycotum spinosa*), le romarin (*Rosmarinus sp*), l'armoise (*Artemisia sp*), l'alfa (*Stipa tenacissima*) et d'autres sont les majoritaires.

Le milieu physique dans cette zone est caractérisé par un relief disséqué avec des pentes plus au moins fortes. La lithologie laisse apparaître une diversité des formations superficielles avec prédominance des sols marneux et argileux sensibles à l'érosion hydrique. La forêt de Fergoug est drainée par un nombre d'oueds et d'affluents moins importants dont l'écoulement est irrégulier et dépend étroitement des pluies en durée et 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 qui se trouve au pied de cette forêt.

Le climat ici est marqué par des conditions contraignantes avec de forts contrastes saisonniers et des irrégularités très nettes des précipitations. Les événements pluviométriques exceptionnels sont assez fréquents tout au long de l'année. Les sécheresses fréquentes ont eu des effets considérables sur l'état du milieu naturel dans cette région.

1.3- Données et matériel

Les données utilisées pour la réalisation du présent travail sont issues de sources différentes disponibles en format numérique et papier. Il s'agit d'une série d'images satellite prises par le Thematic Mapper du satellite Landsat-4 en octobre 1987 et du satellite algérien Alsat-1 acquises pendant et juste après le passage du feu (juillet-août, 2003) et à une date tardive (octobre 2007). La saison dans laquelle ces images ont été prises n'est pas trop séparée. Elle remonte à la période de l'été et le début d'automne (juillet-août-octobre). Cette période d'acquisition est mieux adaptée à la démarche suivie, sachant que cette démarche se base essentiellement sur l'analyse de l'indice de végétation qui peut être influencé par la présence de la végétation annuelle.

Un modèle numérique de terrain obtenu par stéréoscopie Radar du satellite TERRA ASTER (Japon-NASA) d'une résolution de 30 mètres est introduit dans le projet pour l'extraction des paramètres topographiques (pente, orientation, altitudes...) de la zone d'investigation. Les données cartographiques exploitées comprennent la carte topographique d'état major (E= 1 :50000) ainsi que la carte des formations forestières. D'autres informations issues de relevés sur des sites cible sur le terrain ont été intégrées pour la validation des résultats de cette étude.

2-Démarche

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 (fig. 2) :

- Préparation et prétraitement des données ;
- Traitement et analyses ;
- Intégration dans un système d'information.

2.1- Prétraitements

Les opérations de prétraitement des différentes données sont spécifiques pour chaque type d'entre elles. Les documents en format papier ont été scannés et référencés afin d'être facilement intégrés avec les données numériques. Les images satellite acquises par des systèmes imageurs différents, ont subi des opérations appropriées (rectification géométrique, ré-échantillonnage radiométrique et spatial) pour être facilement comparables. Les contours du feu ont été digitalisés manuellement sur les images Alsat-1 prises le 23 juillet et le 10 août quelques jours après avoir pris une grande ampleur (fig. 3).

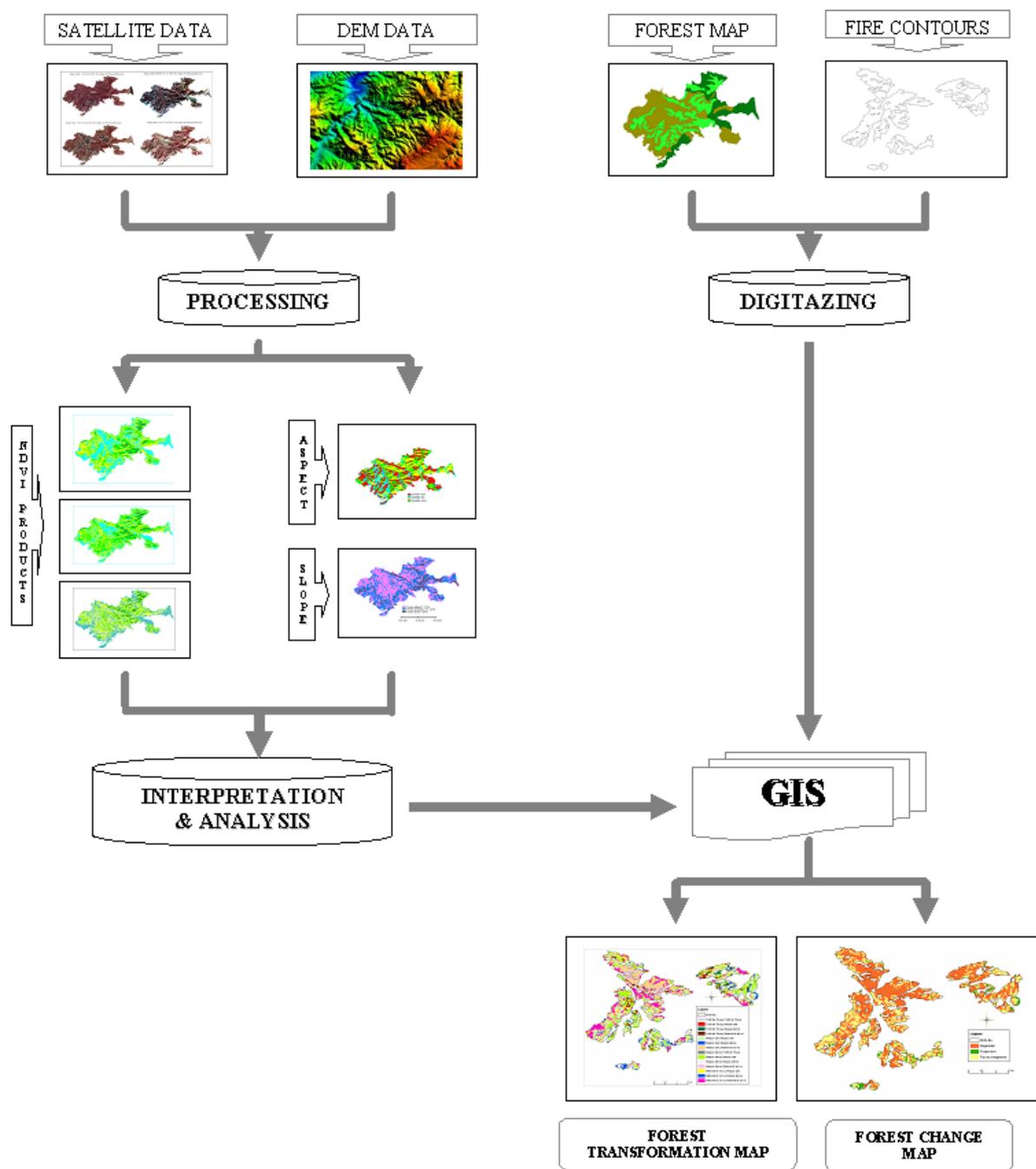


Figure 2. Organizational methodological scheme



Figure 3. Multi-date colour composite satellite images over the study area

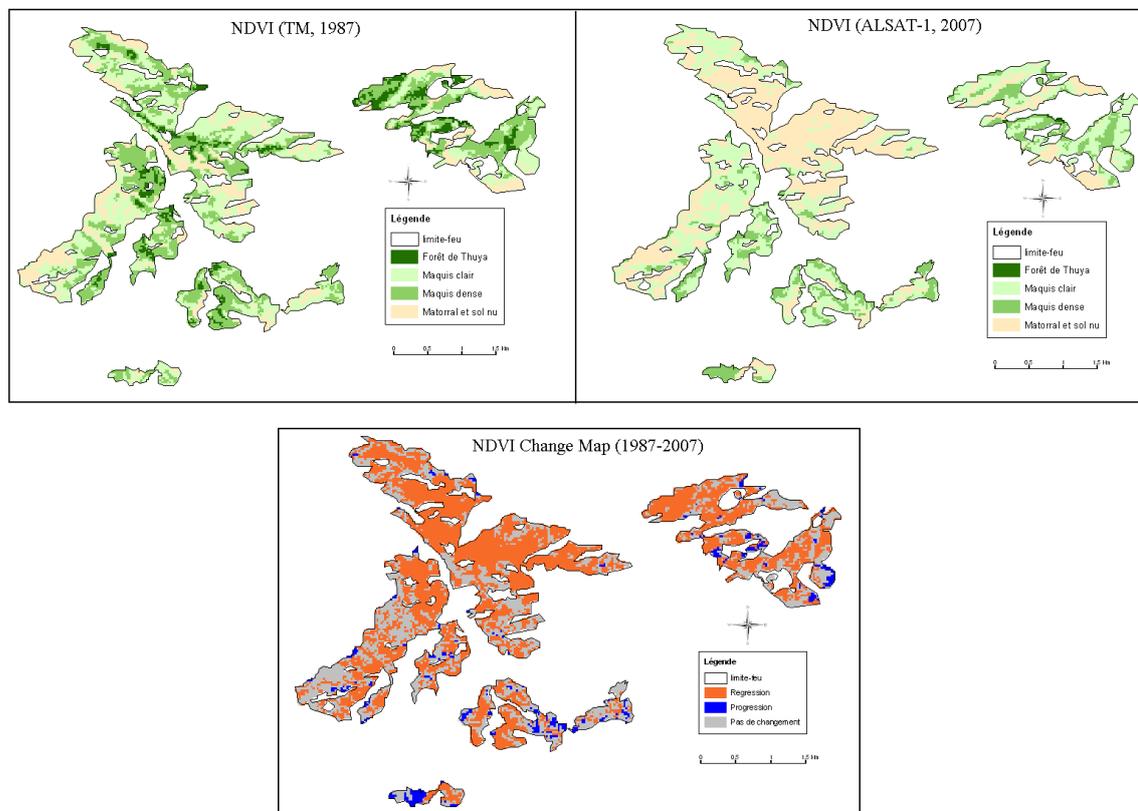


Figure 5: Forest change map of the study area (1987-2007)

Pour d'éventuelles interprétations et analyses, toutes les données ont été converties au format approprié dans la mesure d'être intégrées sous forme de couches d'information dans un système d'information géographique.

2.3- Intégration et croisement des données

La caractérisation de l'état de la forêt avant et après feu ainsi que la description de la relation entre son degré de couverture avec la topographie du lieu a fait l'objet d'une analyse basée sur l'utilisation du pouvoir des systèmes d'information géographique. Dans ce cas d'étude, nous avons effectué un masque sur les différentes données afin de garder uniquement les zones parcourues par le feu (fig. 6). Cependant, toutes les couches de données à savoir la carte des pentes, de l'exposition et les cartes d'occupation forestière issues des images satellites ont été croisées dans un SIG. Cette opération a permis de dégager la carte de changement dans la couverture forestière de la région étudiée en une période de 20 ans (1987 – 2007).

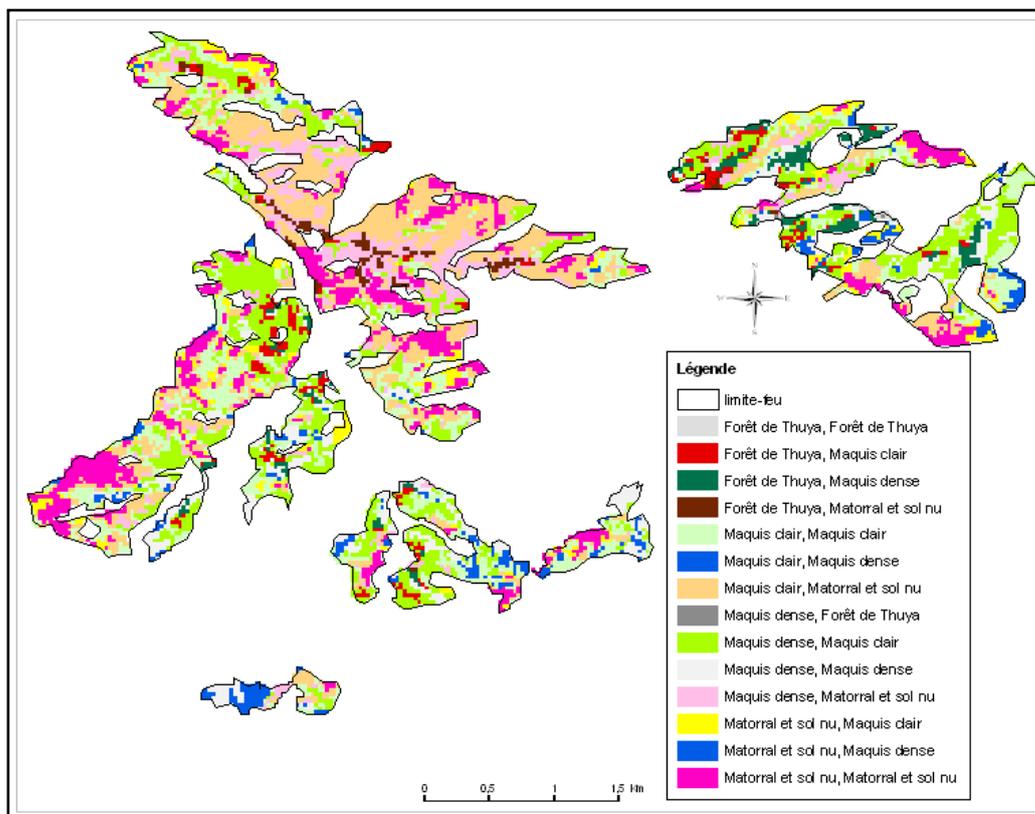


Figure 6: Forest evolution map of the study area (1987-2007)

3-Interprétation et & Discussion

Le croisement de la carte d'occupation forestière avec la carte des pentes et de l'exposition a montré que les classes « forêt de thuya » et « maquis dense » occupent généralement les versants orientés vers le nord sur des pentes faibles à moyennes. Cela est dû au fait que ces versants sont plus exposés aux vents du nord qui aident les sols à préserver plus au moins leur humidité. Contrairement aux versants du nord, les versants orientés vers le sud et l'ouest conservent moins d'humidité car ils sont influencés par la chaleur des longues journées de l'été et par conséquent, la couverture végétale dans ces versants est plus dégradée (Matorral, sol nu). D'après les statistiques dans le tableau ci-dessous, la superficie totale parcourue par le feu est d'environ 836 hectares dont 7.8% est occupée par le peuplement de thuya, 36.25% de maquis dense, 37.15 de maquis clair et 18.78 de matorral et de sol nu.

Le croisement entre la carte forestière de 1987 et de 2007 montre une réduction considérable des superficies de thuya (98%) et le maquis dense (159%) d'une part, et d'autre part, une extension remarquable 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 qui sont à l'état actuel dans le stade de matorral et dans certaines localités elles forment un maquis clairsemé.

Classe d'occupation	Superficie en 1987		Superficie en 2007		Observation
	(Ha)	(%)	(Ha)	(%)	
Forêt de Thuya	65,46	7.82	1,40	0.17	98% Réduction
Maquis clair	310,82	37.15	348,61	41.66	13% Extension
Maquis dense	303,23	36.25	130,25	15.57	159% Réduction
Matorral et sol nu	157,18	18.78	356,43	42.60	57% Extension
TOTAL	836,69	100	836,69	100	

Les changements parvenus dans cette zone entre 1987 et 2007 sont illustrés dans le tableau qui suit :

1987 \ 2007	Forêt de Thuya	Maquis clair	Maquis dense	Matorral et sol nu
Forêt de Thuya	1.20	26.20	25.83	12.23
Maquis clair		121.17	20.3	169.35
Maquis dense	0.20	156.71	70.94	75.38
Matorral et sol nu		38.21	8.12	110.85

On distingue par exemple que sur les 65.46 ha qui ont été occupés par la forêt de thuya en 1987, seulement 1.2 ha est conservé, tandis que 26.20 ha sont 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 sont changés en sol nu et matorral et 20.3 en maquis dense. Le même sors est constaté chez la classe « maquis dense » et la classe « matorral et sol nu ».

En général, les superficies bien couvertes par la strate arborée ont régressées, tandis que celles dépourvues ou bien occupées par une végétation dégradée ont connue un accroissement remarqué. Suite aux investigations sur le terrain, on a remarqué une reprise significative de la strate forestière dans les territoires incendiés principalement le thuya qui par ses souches éclatantes forme un maquis dense dans certaines localités.

Il faut dire à la fin qu'il est évident que la reprise de la forêt en une courte période (2003-2007) ne doit pas dépasser le stade de matorral dont elle se trouve aujourd'hui. Et si on veut qu'elle prenne son état initial, il faut veiller sur sa préservation et sa protection contre les faits destructeurs dont la répétition des feux.



CONCLUSION

Les incendies de forêts sont des facteurs de destruction massive de la forêt et de son habitat. La forêt détruite commence à renaître de nouveau et si les conditions favorables à sa croissance seront réunies, elle reprendra sans doute soit son état initial soit un autre différent au premier. Nous avons essayé dans cette étude d'évaluer l'état de la forêt dans la région de Fergoug ravagée par un grand incendie en été 2003. L'outil spatial nous a facilité cette tâche en utilisant des images satellite prises avant le passage du feu et à une période plus tardive. L'analyse de ces images intégrées avec d'autres données auxiliaires telles que la carte des pentes et des expositions dans un système d'information géographique nous a permis d'évaluer l'état de la reprise végétale des zones incendiées et de dresser la carte des changements de cette région. Nous avons constaté sur le terrain une belle reprise de l'espèce arbustive « Thuya de Berberie » surtout sur les versants orientés vers le nord. La préservation et la protection contre les feux répétitifs et les autres faits destructeurs peut aider cette forêt de renaître à nouveau et d'avoir son charme d'auparavant.

References bibliographiques

- 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 Volume: 5232, February 2004.
- BENHANIFIA K., 2002:** "Multitemporal Remote Sensing and Geographic Information Systems: A Useful Tool for Detecting and Mapping Forest Changes" Surveying and Land Information Science, Vol.62, No.3, 2002
- BOUCHETATA A. et al. 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 2006 ; 17 (3) : 415-424
- BOULFROY E. 1996 :** « prédiction de la régénération forestière naturelle après feu dans la forêt boréale québécoise ». Mémoire de la maîtrise en ressources renouvelables présenté à l'université du Québec à Chicoutimi. <http://bibvir.uqac.ca/theses/1537609/1537609.pdf>.
- CHUVIECO et al. 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, Tessaoniki, Greece 4-6 November 1993, pp 71-83.
- HADDOUCHE I., MEDERBAL K. & SAIDI S., 2007:** Space analysis and the detection of the changes for the follow-up of the components sand-vegetation in the area of Mecheria, Algeria. Revue SFPT n°185 (2007-1), France.
- 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 n°02 Nov.2006 «Ecologie-Environnement », Lab. Agro-Bio/Zones arides, Univ. Tiaret, PP 01-14.*
- HADDOUCHE I., 1998 :** Cartographie pédopaysagique de synthèse par télédétection (image Landsat TM). Cas de la région de Ghassoul (El Bayadh). Thèse de Magistère. Institut National d'Agronomie (INA). Alger. 143 p.
- 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, PP. 9 - 21.