# IDENTIFICATION ET SUIVI DES PAYSAGES ET DE LEUR BIODIVERSITÉ DANS LA WILAYA D'EL TARF (ALGÉRIE) A PARTIR DES IMAGES LANDSAT, SPOT ET ASTER

**Ahmed BOUGHERARA**

*Ecole Normale Supérieure de Constantine, Algérie*
*ahmedbougherara@yahoo.fr*

Soumis le 26 octobre 2009 ; accepté le 6 mai 2010 - © *Revue Télédétection*, 2010, vol. 9, n° 3-4, p. 225-243

*Résumé*

*L'objectif de ce travail est d'aider à la mise à jour des cartes des formations végétales et de l'occupation du sol, ainsi que d'effectuer un suivi de la dégradation qui affecte les paysages et leur biodiversité dans la wilaya d'El Tarf (Algérie). Une partie notable de la superficie de la wilaya est soumise à une réglementation de protection des écosystèmes (parc national d'El Kala, réserve de biosphère et zones humides de la convention RAMSAR) ; en revanche, les zones périphériques au parc national sont soumises à une pression anthropique forte et croissante pouvant conduire à une dégradation importante. Les traitements numériques (classifications non dirigées des images-satellites) ont permis de discriminer les principales unités physionomiques du couvert végétal dans la wilaya d'El Tarf et le parc national d'El Kala. L'analyse visuelle et diachronique des compositions colorées des images satellitales Landsat MSS (1973), TM (1987), ETM+ (2000), ASTER (2001 à 2006) et Spot (2002 et 2006) a permis l'identification et le suivi des différentes formes de dégradation qui affectent le milieu naturel de la wilaya depuis plus de 35 ans.*

***Mots-clés :*** *Télédétection, cartographie de la végétation, action anthropique, dégradation des milieux, wilaya d'El Tarf, parc national d'El Kala, Algérie.*

***Assessment and monitoring of landscapes and biodiversity in the El Tarf wilaya (Algeria) from Landsat, SPOT and ASTER images***.

*Abstract*

*The objective of this work is to help updating vegetation and land use/land cover maps and to monitor degradation processes presently affecting landscapes and biodiversity in the administrative region (wilaya) of El Tarf (Algeria). A significantly large area of this wilaya is subject to ecosystems conservation regulations : the National Park of El Kala (also Biosphere Reserve) and the wetlands of the Ramsar Convention. However, peripheral areas remain unprotected and are thus subject to increasingly high level of anthropogenic pressure that can lead to significant degradation of various ecosystems. Digital processing (unsupervised classifications) of these images were used to identify the major physiognomic units of vegetation in the El Tarf wilaya and the national park of El Kala. Visual analysis and multitemporal analysis of color composites of Landsat MSS satellite imagery (1973), TM (1987), ETM + (2000), ASTER (2001 to 2006) and Spot (2002 and 2006) allowed the identification and monitoring of degradation processes that took place in the region during the past 35 years.*

***Keywords****: Remote sensing, vegetation mapping, anthropic pressure, degradation monitoring, El Tarf wilaya, El Kala national park, Algeria.*

## 1. INTRODUCTION

Dans la wilaya d'El Tarf, l'homme est le principal agent de transformation du couvert végétal et de diminution de la biodiversité. Ces perturbations ne sont pas continues, mais ponctuelles dans le temps et dans l'espace ; à un moment donné, elles ne couvrent qu'une faible partie de l'espace. Analyser leur impact sur le paysage et les écosystèmes nécessite donc une observation à long terme sur de vastes superficies. L'imagerie satellitale à moyenne et haute résolution spatiale répond à ces objectifs (Tsayem-Demaze *et al*., 2001).

Une cause importante de dégradation réside dans la répétition des incendies. Les facteurs naturels (sècheresse) sont souvent combinés aux actions humaines (incendies volontaires) pour engendrer des destructions importantes du couvert végétal. La susceptibilité de la forêt aux feux s'explique dans une large mesure par l'irrégularité des précipitations et la longueur de la saison sèche au cours de laquelle les plantes deviennent inflammables.

D'autres formes de transformation du milieu naturel sont dues à l'introduction d'espèces végétales étrangères à la région. C'est le cas de l'eucalyptus qui occupe actuellement une surface totale de 8 639 ha au sein du parc national d'El Kala (PNEK), et de 13 047 ha dans toute la wilaya. Son introduction est liée à la programmation d'une usine à papier dans la région. Le pin maritime constitue une véritable forêt et occupe dans le parc une superficie de 14 474 ha. Il faut signaler également la présence du frêne et du pin d'Alep. Ainsi, le couvert végétal a subi des transformations telles qu'il est difficile de parler de « milieu naturel ».

Les zones humides de la région ont longtemps été considérées comme des milieux malsains, stériles et parfois dangereux (Fournier, 1862). Ainsi, dès le début de la colonisation, la plaine d'Annaba a connu plusieurs tentatives d'aménagement. Par exemple, le lac Tonga (voir figure 1) a connu plusieurs tentatives d'assèchement durant plus d'une cinquantaine d'années (1870-1930). L'échec est dû essentiellement à l'absence d'études hydrologiques et limnologiques qui caractériseraient le cycle de l'eau dans le bassin versant du lac. Cette entreprise a certainement laissé des séquelles sur la biodiversité du lac. Aujourd'hui, la gestion scientifique qui permettrait une bonne conservation de la biodiversité n'est pas encore mise en oeuvre. L'entreprise qui a échoué au lac Tonga a réussi dans la partie ouest de la plaine où l'assainissement a conduit, dès les années 40 du siècle dernier, à l'extension et/ou à la création de grands domaines agricoles (essentiellement viticoles) qui caractérisent le paysage jusqu'à nos jours. Néanmoins, la salinité des sols reste une contrainte difficilement surmontable dans ce type de milieu. La lagune du lac Mellah (voir figure 1) a connu au début des années soixante une opération d'élargissement du canal la reliant à la mer. Cet aménagement est à l'origine de profonds bouleversements qui ont affecté notamment sa biodiversité. L'introduction de poissons asiatiques et l'assèchement du lac Oubeïra en raison du pompage pour l'irrigation ont aussi appauvri la biodiversité de ce lac (De Bélair, 1990).

La technologie aidant, avec le temps, toutes les zones humides ont finalement subi des modifications importantes, pour certaines irréversibles. En effet, pratiquement, tous les espaces du PNEK et de ses zones limitrophes sont plus ou moins anthropisés (assainis, aménagés ou mis en valeur). Ces écosystèmes sont sujets à des changements induits par un rythme de développement très rapide et mal maîtrisé. Ils sont également touchés par la pollution et le déversement des déchets, ou l'extraction excessive des eaux souterraines. Tous ces facteurs participent à faire disparaître certaines zones humides et rendent urgente la mise en place d'une gestion à long terme qui favoriserait l'accès aux ressources tout en assurant le maintien de l'équilibre des écosystèmes.

Néanmoins, avec le temps, la population a apparemment appris à connaître ces écosystèmes humides naturels. Elle découvre aussi que ce sont des milieux extrêmement productifs, qui apportent beaucoup d'avantages et qu'il faut gérer dans l'esprit du développement durable.

La plupart des recherches concernant le parc ont été effectuées sur la partie des complexes humides en raison notamment de l'importance de cette zone comme aire de repos des oiseaux migrateurs sur la rive sud de la Méditerranée (réserve UNESCO, RAMSAR). Ainsi, malgré sa richesse florale et faunistique, la partie forestière est restée très peu étudiée.

Aujourd'hui, la carence de données cartographiques, indispensables à l'aménagement et à la gestion du parc, peut être comblée en partie par l'utilisation de la télédétection. Les images satellitales permettent de dresser des inventaires périodiques qui viennent appuyer le travail sur le terrain.

## 2. ZONE D'ÉTUDE

### 2.1 Présentation de la wilaya d'El Tarf

Située au nord-est de l'Algérie, le territoire de la Wilaya d`El-Tarf est limité au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la République de Tunisie, à l'ouest par la Wilaya de Annaba et au sud par les wilayat de Guelma et Souk-Ahras (figure 1).

La wilaya d´El-Tarf s'étend sur une superficie de 2 891 km² et abrite une population de 366 950 habitants (2007). La diversification et la richesse de son sol lui confèrent une double vocation agricole et touristique (Ouelmouhoub, 2005). En effet, elle dispose d'une superficie agricole utile (S.A.U) de 71 000 hectares (24 % du territoire) et d'un littoral de 90 km. De plus, elle est frontalière avec la République de Tunisie sur une bande de 98 km de long. (figure 1).

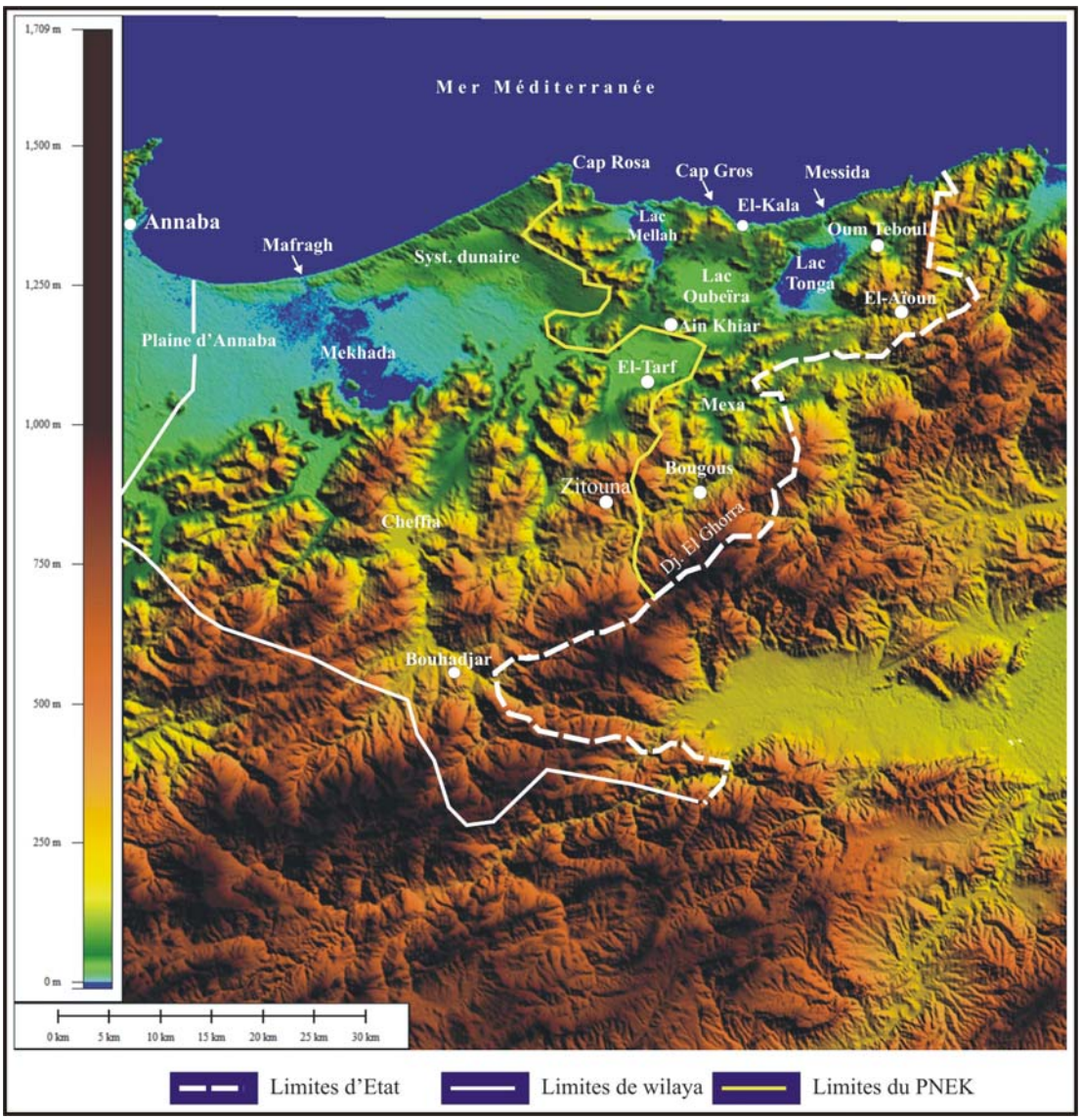



**Figure 1** : Carte de la situation géographique de la zone d'étude et toponymie des principaux repères. Extrait d'image SRTM indiquant les variations altitudinales et faisant ressortir les principaux ensembles morphologiques .

## 2.2 Présentation du parc national d'El Kala

Le parc national d`El Kala (PNEK) qui a été créé en 1983, et classé réserve de Biosphère en 1990, regroupe neuf communes et s'étend sur 76 438 ha, soit 26% de l'espace de la wilaya (figure 2). Le Parc représente un réservoir de la biodiversité méditerranéenne (Stevenson *et al.*, 1988) ; on y trouve 1264 espèces végétales, soit 32% de la flore algérienne et 878 espèces animales, dont les plus emblématiques sont le cerf de barbarie, le lynx caracal, la hyène rayée, le renard roux ou doré et la mangouste. Il renferme de nombreuses espèces rares ou menacées selon les listes IUCN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) et CITES (Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages).

Fortement boisé (plus de 69% de sa superficie), le parc national d'El Kala s'étend sur une bande côtière de 40 km et longe la frontière tunisienne sur 98 km. Plus de 120 000 habitants vivent sur ce territoire. Cette pression humaine sur les espaces faunistiques et floristiques les rend très vulnérables.

Les ressources économiques présentes sur l'espace du parc montrent que l'agriculture, le tourisme et la pêche demeurent les principales activités. Cependant, leur organisation dans l'espace et dans le temps laisse apparaître des incohérences défavorables à la conservation de ce milieu naturel : surpâturage, pêche non contrôlée, tourisme balnéaire non régulé et beaucoup d'activités illicites (Bouazouni, 2004).

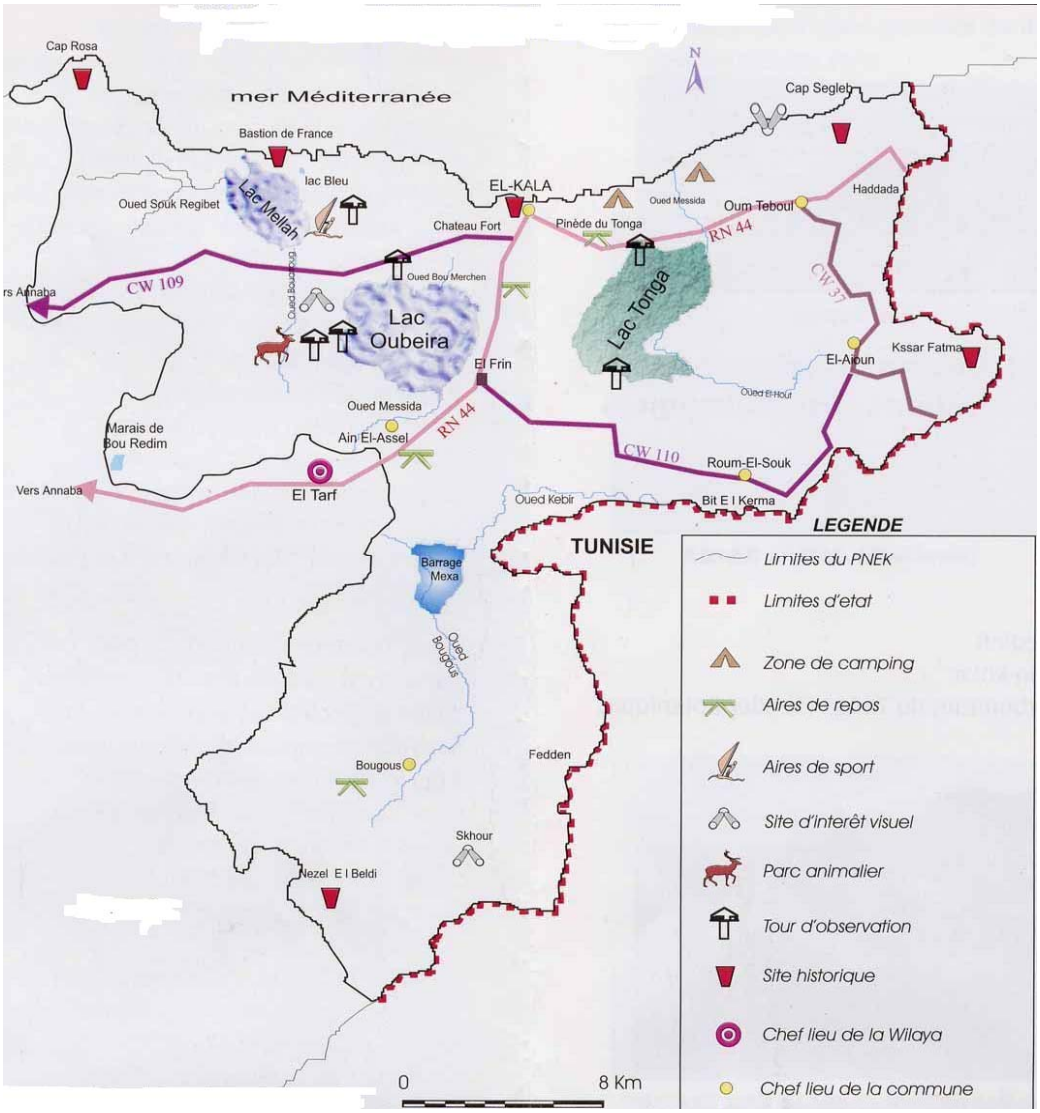



**Figure 2** : Carte du parc national d'El Kala et de ses sites d'intérêt touristique (source : Ministère algérien de l'Agriculture, Direction des Forêts, dépliant délivré par le parc animalier de Braptia) voir http://annaba.net.free.fr/html/kala44.htm

## 3. LE CADRE NATUREL DE LA WILAYA D'EL TARF ET DE SON PARC NATIONAL

### 3.1 Les conditions climatiques

Les données fragmentaires ne permettent pas de dresser un tableau détaillé des conditions climatiques de cette région qui bénéficie de conditions favorables et de microclimats dont on ne cerne pas encore les contours. Selon la classification d'Emberger, la zone se situe dans l'étage bioclimatique subhumide caractérisé par un hiver doux et humide et un été chaud et sec. Le régime pluviométrique est de type méditerranéen. Les précipitations varient de 700 mm à 1000 mm par an, dont 80% sont concentrés durant la saison pluvieuse entre les mois d'octobre et mars, janvier étant le mois le plus pluvieux (Marre, 1987). Cette concentration fait apparaître une période sèche de quatre mois (la sécheresse reste le facteur limitant la productivité). L'évaporation est supérieure à la pluviométrie huit mois sur douze, cela signifie que même si les pluies sont suffisantes, l'irrigation est une nécessité (Seltzer, 1946 ; Aouadi, 1989).

### 3.2. Les conditions morpho-édaphiques

La zone montagneuse comprise entre la vallée de la Seybouse au nord-ouest et la Médjerda au sud, correspond à un empilement de nappes de charriage. Cet ensemble est formé essentiellement de flysch numidien (Vila, 1980 ; Marre, 1987). Ainsi, les montagnes telliennes sont occupées par une épaisse formation gréso-argileuse du flysch numidien (formations siliceuses), domaine d'expansion favorite du chêne-liège calcifuge (Aouadi, 1989).

Les formations récentes résultent de la combinaison et de l'alternance d'un alluvionnement continental et marin entrecoupé de lits sableux indurés (Joleaud, 1936). Les dunes présentent à leur base un niveau à nappe aquifère

alimentée par les précipitations et les crues des « châabets ». Ces nappes affleurent dans les dépressions inter dunaires, et dans les zones de déflations du sable par le vent (Marre, 1987 ; Tomas, 1977).

D'une manière générale, on distingue, selon une coupe nord-sud, les ensembles morphologiques suivants (cf. figure 1) :

- le cordon dunaire, constitué de sables quaternaires, qui peut atteindre par endroit des épaisseurs considérables. Ce massif dunaire est un grand réservoir d'eau (quantité et qualité). Ce milieu très fragile subit des défrichements importants qui ne sont pas sans conséquences sur la stabilité du milieu ;

- les collines argilo-gréseuses constituent l'essentiel du relief isolant des bassins ou de petites plaines. Du point de vue lithologique, il s'agit d'un relief d'érosion différentielle mettant en valeur l'opposition de deux couches dures et tendres composées de grès et d'argiles. Ces formations numidiennes (Flysch numidien et argiles sous numidiennes) constituent un milieu défavorable à l'agriculture mais très favorable aux formations ligneuses et particulièrement au chêne liège. C'est le domaine des forêts et des maquis denses. Les affleurements argileux sont souvent défrichés et exploités sous forme d'enclaves ;

- les dépressions ou les bas-fonds, formées à la faveur d'affleurements des formations les moins résistantes et les plus imperméables (argiles sous numidiennes), elles occupent les bas reliefs des bassins et/ou plaines. De ce fait elles sont traversées par les lits des oueds ou occupées par les zones humides. Les terrasses des oueds constituent les zones les plus fertiles de cet ensemble ;

- les zones humides qui peuvent être subdivisées en deux catégories : l'une située sur le cordon dunaire (dépressions inter-dunaires) et qui subissent un assèchement en raison de l'exploitation excessive des eaux souterraines du massif dunaire (Benzouai, 1987), l'autre occupe les dépressions des plaines sous forme de lacs, de marais, de marécages (« gareat ») alimentées par les eaux provenant des reliefs environnants;

- la basse montagne (altitude entre 500 et 1500 m) représentée par les contreforts de la terminaison Est de la chaîne numidique, où prédominent aussi les mêmes formations du Flysch numidien. Vers le sud, cet ensemble se caractérise par la massivité du relief et l'altitude atteint les 1200 mètres à Djebel El Ghorra (limite sud du parc national).

Ainsi, les trois quarts de la zone d'étude sont occupés par le flysch gréso-argileux convenant à la formation de sols bruns forestiers légèrement lessivés. On rencontre également des sols peu évolués, d'érosion, des sols minéraux bruts ainsi que des affleurements rocheux, principalement de grès siliceux. Les sols de marécages à base de limons sont largement développés dans les bas fonds inondables.

### 3.3 Les formations végétales

Située en plein domaine tellien, la zone d'étude est subdivisée en trois étages bioclimatiques, avec l'étage thermo-méditerranéen qui recouvre la quasi-totalité de la zone d'étude, l'étage méso-méditerranéen représenté essentiellement par le Djebel El Ghorra et l'étage supra- méditerranéen représenté par les pelouses (Aouadi, 1989). La répartition des séries de végétation à l'intérieur de l'étage est conditionnée par les modifications édaphiques et le modelé. La présence de l'eau dans le sol joue un rôle de premier plan.

Le chêne-liège (*Quercus suber* L.) et le chêne zeen (*Quercus faginea* Lam.) constituent des espèces climaciques. Les forêts de chêne-liège sont à exposition chaude, alors que celles du chêne zeen préfèrent les expositions et les stations fraîches. Le chêne zeen se caractérise par un sous-bois très bas et lâche**.** En revanche, le sous-bois de la forêt de chêne-liège est plus dense, dominé par la bruyère arborée **(***Erica arborea* L.). Le pin maritime (*Pinus pinaster* Aiton), occupe la majeure partie du système dunaire (reboisements) et une petite surface entre El Kala et Oum Téboul. Il apparaît également sous forme d'enrésinement du chêne liège à l'extrême nord-est du PNEK. C'est dans le PNEK que se trouvent les seuls peuplements relictuels de la sous-espèce *Pinus pinaster* ssp. r*enoui* (Villar) Maire en Algérie (Stevenson *et al.*, 1988).

Le maquis couvre une superficie importante (Aouadi, 1989). Les principales espèces qui le constituent sont : le chêne kermès (*Quercus coccifera* L.) qui apparaît le plus souvent sous forme de maquis climacique dans les zones dunaires littorales, les bruyères *(Erica* sp. pl.)., qui forment en grande proportion le sous-bois des forêts de chêne-liège, le myrte *(Myrtus communis* L.*),* assez abondant dans la forêt de chêne-liège et de chêne zeen, l'arbousier *(Arbutus unedo* L.*),* qui préfère les sols fertiles et les ravins, la filaire *(Phillyrea angustifolia* L.*),* qui se présente en forêt sous forme d'arbrisseau, le tamaris *(Tamarix aphylla* (L.) Karst.) que l'on rencontre sur les berges d'oueds et sur les dunes et le palmier nain *(Chamaerops humilis* L.*),* localisé sur la frange côtière.

## 4. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Les objectifs de ce travail peuvent être résumés comme suit :

- cartographier les unités physionomiques de la végétation de la wilaya à partir de traitements numériques des images satellitales LANDSAT, SPOT ou ASTER, et participer ainsi à la mise à jour de la carte des formations végétales et de la carte d'occupation du sol de la région ;

- caractériser les états de surface présents dans les unités physionomiques de la wilaya d'El Tarf, puis déterminer à travers les cas étudiés les processus et les facteurs d'évolution de ces milieux ;

- déterminer les formes de dégradation qui affectent les paysages en se basant sur une lecture des compositions colorées permettant de saisir les changements à l'échelle de la saison et de l'année, voire sur les trois dernières décennies ;

- permettre une plus grande efficacité dans l'inventaire, la cartographie et le suivi de l'évolution du milieu naturel et donner aux décideurs les moyens de disposer d'une information précise et actualisée pour la gestion et la protection des ressources naturelles .

# 5. MATÉRIELS ET MÉTHODES

## 5.1 Matériels

Nous disposons pour ce travail des données suivantes sur toute la wilaya:

- cartes topographiques de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT) aux échelles de 1/25 000 (type 1972), de 1/50 000 (type 1960) et de 1/200 000 (type 1960) ;

- photographies aériennes aux échelles de 1/ 20 000 (mission 1973) et 1/27 000 (mission 1993) ;

- la carte de la végétation à l'échelle de 1/200 000 (Aouadi, 1989) ;

- la carte de la végétation à l'échelle de 1/200 000 (PNEK, non datée) ;

- quatre images multibandes Landsat : MSS (1973), TM (1987 et 1988), ETM+ (2000) ;

- quatre images ASTER (2001 à 2006) ;

- deux images SPOT (2002 et 2006) ;

## 5.2 Méthodes

Dix images-satellites multibandes ont été analysées. Les images enregistrées en 2006 (ASTER et SPOT) ont permis de déterminer les états de surface et ont servi de point de référence pour l'étude diachronique réalisée avec les autres images satellitales (de 1973 à 2006). La démarche adoptée se récapitule comme suit :

### *5.2.1 La cartographie des formations végétales*

La cartographie du couvert végétal naturel ou cultivé exige, au préalable, que l'on définisse les formations végétales à délimiter. Ceci suppose que l'on ait une connaissance suffisante des formations concernées et des principes et concepts de classification ; pour accéder à cette information, nous avons bénéficié de l'aide des enseignants du département de Biologie du Centre Universitaire d'El Tarf.

Les auteurs des deux cartes de végétation existantes ont essayé de définir et classer les formations végétales en adoptant des critères variés. La carte de Ouadi (1987) utilise essentiellement des caractères écologiques et dynamiques, montrant la relation entre la végétation et le milieu, sans oublier le rôle de l'action anthropique. Quant à la carte du PNEK (non datée), elle se fonde principalement sur les caractères propres de la végétation elle-même, tels que la physionomie et la flore des groupements végétaux. Les formations végétales sont classées en tenant compte aussi de leur degré d'ouverture, donc en fonction de leur état de dégradation. Malgré le niveau d'identification de la végétation atteint par ces cartes à l'échelle de 1/200 000, il faut remarquer que les limites des formations végétales cartographiées ne correspondent que rarement à la réalité du terrain, d'où la difficulté de leur utilisation lors de la lecture des images satellitales. Cependant, notre interprétation des images satellites s'appuie en partie sur ces cartes, plus particulièrement celle du PNEK.

Plusieurs éléments, à savoir l'interprétation visuelle des compositions colorées, standards et améliorées, l'étude sur le terrain et les traitements numériques (classifications non dirigées), nous ont servi à discriminer les unités physionomiques représentant les différents aspects de la végétation de la zone d'étude et à établir la légende de la carte établie à l'issue de cette étude.

### *5.2.2 La cartographie des formes de dégradation*

Outre la cartographie des formations végétales, il est aussi nécessaire d'analyser et de cartographier les changements qui affectent le couvert végétal, de même que de mettre au point une méthode de suivi des différentes formes de dégradation.

L'utilisation des données satellitaires à moyenne et haute résolution de Landsat MSS (1973), TM (1987 et 1988), ETM+ (2000) et ASTER (2001 à 2006) SPOT (2002 à 2006) permet de mettre en évidence, d'analyser et de comprendre les mécanismes des différents changements.

D'autres formes de dégradations évoluent sur des échelles temporelles plus larges, ou bien leurs surfaces sont trop petites par rapport à la résolution utilisée et n'ont pas pu être mises en évidence par les images satellitales). Dans ce cas nous avons utilisé les photographies aériennes (missions 1973 et 1993) respectivement à l'échelle 1/20 000$^{e}$ et 1/27 000$^{e}$ ou des extraits d'images de *Google Earth* 2008. Nous mentionnons par ailleurs, que la date de la première mission de photographie aérienne coïncide avec la date de la première image satellitale MSS (1973).

### *5.2.3 Réalisation des compositions colorées*

Après amélioration du contraste, une composition colorée des bandes spectrales Proche Infrarouge (PIR), Rouge et Vert a été réalisée. Les compositions colorées sont obtenues par combinaison de trois bandes spectrales affichées dans l'ordre colorimétrique rouge, vert et bleu. De la sorte, on obtient une image synthétique enrichie de l'apport spécifique de chacune des trois bandes spectrales. Dans le cas de l'imagerie Landsat ETM+ on utilise également la bande spectrale Infrarouge de courtes longueurs d'onde (SWIR) affichée en rouge, la bande spectrale PIR affichée en vert et la bande spectrale affichée en bleu. Le choix des bandes spectrales affichées est fait en fonction des propriétés spectrales des éléments d'occupation du sol de la zone d'étude. En effet, les enregistrements du PIR contribuent de manière significative à la discrimination des couverts végétaux, alors que les enregistrements du SWIR complètent ceux de la bande spectrale rouge et confortent ainsi l'interprétation visuelle (Tsayem-Demaze, 1998).

### *5.2.4 L'analyse visuelle*

Elle consiste en l'application à l'image satellitaire de la méthode classique de la photo-interprétation (Provencher et Dubois, 2007). Ainsi, l'examen sur écran des compositions colorées des images a permis d'identifier des zones homogènes grâce aux critères de couleurs et de texture et d'expliquer leur répartition dans l'espace. L'analyse des images disponibles a permis de suivre les changements qui ont affecté les paysages entre 1973 et 2006. Cette lecture s'est faite sur des images des bandes spectrales isolées (SWIR, PIR, ROUGE et VERT) et sur les compositions colorées mentionnées plus haut. Ces variantes nous ont permis d'apprécier l'efficacité de chaque bande ou combinaison (Bougherara et Lacaze, 2008).

### *5.2.5 Les traitements numériques*

Nous avons été amené à effectuer des traitements numériques afin d'affiner les résultats de l'analyse visuelle. La méthode appliquée consiste en un classement par l'algorithme ISODATA appliqué aux bandes spectrales PIR, ROUGE et VERT ou SWIR, PIR et ROUGE (cf. compositions colorées). Elle regroupe automatiquement les pixels dont les radiométries sont proches les unes des autres, selon des critères ne faisant pas appel à une référence *a priori.* Le nombre de classes a été fixé à 7, chaque classe ayant pour amplitude minimale 5, pour écart-type maximal 1 et un nombre minimal de pixels égal ou supérieur à 500.

### *5.2.6 Validation de l'interprétation par les données de terrain*

Deux missions sur le terrain pour reconnaissance et validation des résultats ont été organisées du 19 au 26 mai 2006 et du 26 au 31 mai 2007 dans la région d'El Kala. Elles avaient pour but de :

- reconnaître et définir les différentes formations végétales et toutes les autres unités thématiques selon leurs réponses spectrales sur les compositions colorées ;

- caractériser les types de végétation en fonction de leur physionomie, leur composition floristique et leur évolution ;

- vérifier les résultats de l'interprétation visuelle des images satellitaires et apporter des précisions pour les zones difficiles à interpréter ;

- noter l'impact de l'action humaine sur le milieu naturel dans les changements et dégradations observés;

- apporter d'autres informations impossibles à extraire des images satellitaires comme la stratification des différentes formations végétales.

- procéder à l'évaluation de la qualité des résultats obtenus par classifications non dirigées.

L'observation directe du paysage a aidé à la compréhension des réponses spectrales des entités au sol. Cette mission sur le terrain s'est faite en s'appuyant sur les cartes déjà disponibles et les interprétations préliminaires des images satellitaires. La méthode consiste à déterminer des parcelles sur une image satellite et de les repérer sur la carte et sur le terrain afin de valider la signification thématique des classes issues de la classification non dirigée.

Les cartes topographiques que nous possédions étaient aux échelles 1/200 000$^{e}$, 1/50 000$^{e}$ et 1/25 000$^{e}$. Cette précision était suffisante pour réaliser une vérification terrain dans de bonnes conditions. Ainsi, les points de vérification ont pu

être déterminés et localisés avec précision sur la spatiocarte et sur les cartes topographiques aux 1/50 000e et 1/25 000e qui étaient suffisamment précises, mais non actualisées.

Lors de la mission de terrain du 26 au 31 mai 2007 trois transects rectilignes et de longueurs variables (800 à 1000 m) situés entre le lac Tonga et la plage de la Messida ont été réalisés. Ces transects recoupent essentiellement la forêt de pin d'Alep au sud et le maquis de chêne kermès au nord. Chaque relevé est localisé sur les cartes au 1 /25 000. Le sol et la végétation sont décrits aussi précisément que possible et quelques photos des sols et des paysages ont été prises. Une vue panoramique à partir du djebel Messida nous a permis de dominer les différents paysages qui constituent le domaine Oum Teboul-lac Tonga.

Il est à noter que deux des quatre images ASTER en notre possession dataient du 24 mars 2006 et du 12 juin 2006. Ainsi, la validation terrain a pu être réalisée à la même période de l'année que l'enregistrement des images, avec un décalage d'une année ce qui a permis d'avoir des conditions de milieu équivalentes. Le stade phénologique des plantes vivaces relevé lors de cette mission était donc proche de celui enregistré sur les images. L'optimum aurait été d'effectuer une vérification terrain au moment de l'enregistrement des images. Cela avait été envisagé en demandant la programmation de l'enregistrement d'une image SPOT, mais cette demande n'a pu se concrétiser, faute de conditions atmosphériques favorables.

## 6. RÉSULTATS

### 6.1 Interprétation de la composition colorée de l'image Landsat ETM+ du 3 mai 2000

La composition colorée a été réalisée à partir des bandes spectrales PIR, ROUGE et VERT (Figure 3). Cette image Landsat enregistrée au printemps montre une activité importante de la végétation naturelle et/ou cultivée. Ainsi, les zones blanches sont assez limitées et se cantonnent essentiellement dans des espaces précis. Cette situation est légèrement nuancée ; car on retrouve en plein centre des zones basses des superficies colorées en cyan montrant aussi des zones non cultivées. Ce sont plutôt des zones qui attendent probablement de recevoir des cultures de printemps. Ces zones suivent, en général, les tracés des oueds principaux

Dans ce type de composition colorée, les zones bénéficiant d'un couvert végétal développé montrent des couleurs allant du rouge foncé au rose (N'Guessan, 2001). Le rouge foncé et le rouge recouvrent les zones montagneuses et accidentées qui sont recouvertes par une forêt dense à ouverte et/ou un maquis dense. Ce couvert végétal naturel persiste encore en raison de la morphologie et de la prédominance des formations gréseuses de la nappe numidienne qui surmontent les argiles sous numidiennes. Localement, l'affleurement des argiles sous numidiennes adoucit la pente et rend possible des enclaves cultivables. Le rouge vif apparaît au milieu de la plaine. Il indique des bosquets et des ripisylves qui s'allongent le long des oueds actuels ou d'anciens cours abandonnés. C'est le cas du site de l'aulnaie de Ain Khiar .

Le rouge clair et le rose se situent au centre de la plaine et sur les rives des oueds. Ces surfaces deviennent de plus en plus importantes en allant vers le nord-ouest où la couverture végétale est essentiellement herbacée. L'absence de parcellaire nous permet de dire que cette végétation herbacée est pour l'essentiel spontanée. Les dizaines de zones grises de surface souvent limitée dans différents milieux représentent les surfaces incendiées et/ou défrichées.

### 6.2 Interprétation de la classification non dirigée de l'image Landsat ETM+ du 03 mai 2000

La classification est obtenue à partir du traitement des bandes spectrales PIR, ROUGE et VERT de l'image Landsat ETM+ du 03 mai 2000 (figure 4).

Le résultat, obtenu dan un premier temps avec 14 classes, fait ressortir une répartition des couverts végétaux assez conforme à la réalité observée sur le terrain, modulée par l'influence d'autres signatures spectrales liées aux sous bois et/ou au sol. De ce fait, nous avons opté pour l'opération « Interactive Class Tool » dans le logiciel ENVI, qui nous permet de visualiser la répartition de chaque couleur séparément et par conséquent de vérifier assez rapidement et efficacement les limites de chaque unité cartographiée. Les résultats obtenus sont satisfaisants et peuvent être améliorés en rassemblant certaines classes (opération « combine class »). Ainsi, dans ce cas, nous avons opté pour un nombre de sept classes, considéré ici comme nombre optimal. Finalement, la classification non dirigée par ISODATA des bandes spectrales PIR, ROUGE et VERT s'avère un traitement utile et constituant une étape importante dans l'identification des formations végétales de la région (Donnay, 2000). Les unités physionomiques ainsi discriminées peuvent être décrites comme suit:

a/ **Eaux et zones incendiées**: Cette classe, rassemble la mer, les zones humides et le surfaces incendiées. Ainsi, elle englobe la lagune d'El Mellah, les lacs d'Oubeïra et Tonga, les retenues des barrages (sauf la retenue du barrage Cheffia) et le marais de la Mekhada. Nous constatons aussi d'autres points bleus disséminés dans la forêt qui représentent des zones récemment incendiées (surfaces noires sans couverture végétale). En absorbant la quasi-totalité du rayonnement solaire, ces taches se comportent comme les zones humides et l'eau ; **b/ Forêts denses** : Elles sont constituées d'eucalyptus couvrant des zones homogènes, continues et vastes situées essentiellement autour du lac Oubeïra et au sud du lac Tonga, de pins d'Alep occupant une surface modeste et discontinue au nord du lac Tonga et de

chêne-liège qui occupe le reste de la carte sous forme de taches de différentes surfaces dont les plus grandes couvrent les zones les plus accidentées. La discrimination des différentes essences sur la base des signatures spectrales reste difficile malgré les nuances perceptibles mais souvent dominées par les effets de la topographie ;

**c/ Forêts claires, maquis et broussailles** : Cette classe occupe la surface la plus importante dans la wilaya. Elle est constituée essentiellement de pins maritimes, sous forme de reboisements qui couvrent une grande partie du système dunaire. Cependant, la densité des arbres est trop faible pour fixer efficacement le sable des dunes vives. Aussi, en raison de la réflectance élevée du sable, la zone apparaît, sur les images à moyenne résolution, comme un couvert végétal très dégradé. Le reste de la forêt claire est représenté par le chêne liège qui occupe pratiquement toutes les collines des contreforts de la terminaison est de la chaîne Numidique ;

**d/ Maquis denses :** Cette classe englobe trois types de maquis dense : celui de la Messida au nord du lac Tonga est constitué essentiellement de chêne kermès ; il occupe les deux massifs dunaires et se caractérise par des surfaces importantes continues et homogènes. Le maquis dense du système dunaire est constitué de genévrier et s'étend parallèlement au littoral mais n'atteint pas la plage. Ce liseré reste très étroit car lié à la partie « consolidée » du cordon dunaire. Les maquis naturels comme celui du Cap Gros (entre El Kala et la vieille Calle) occupent des sites perchés où l'épaisseur du placage du sable est mince et où l'influence du substratum gréseux est importante, d'où la présence de formation végétale calcifuge caractérisée essentiellement par un maquis de chêne liège, dense mais discontinu. Les maquis résultant d'une dégradation anthropique, au détriment des forêts de chêne liège, représentent la quasi-totalité des maquis de la zone intérieure de la wilaya ;

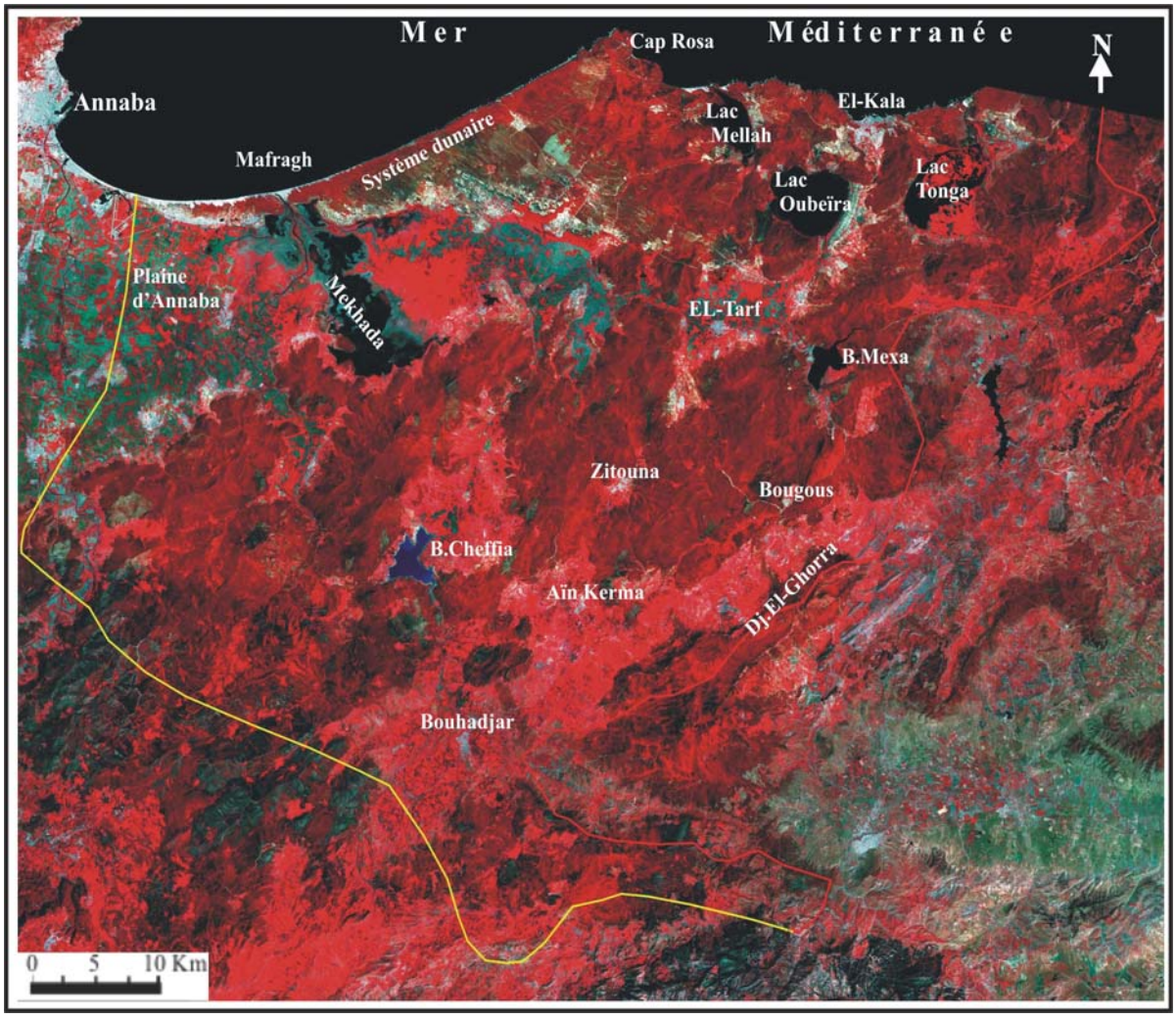



**Figure 3** : Composition colorée à partir des bandes spectrales PIR, ROUGE et VERTE d'une image Landsat ETM+ du 03 mai 2000.

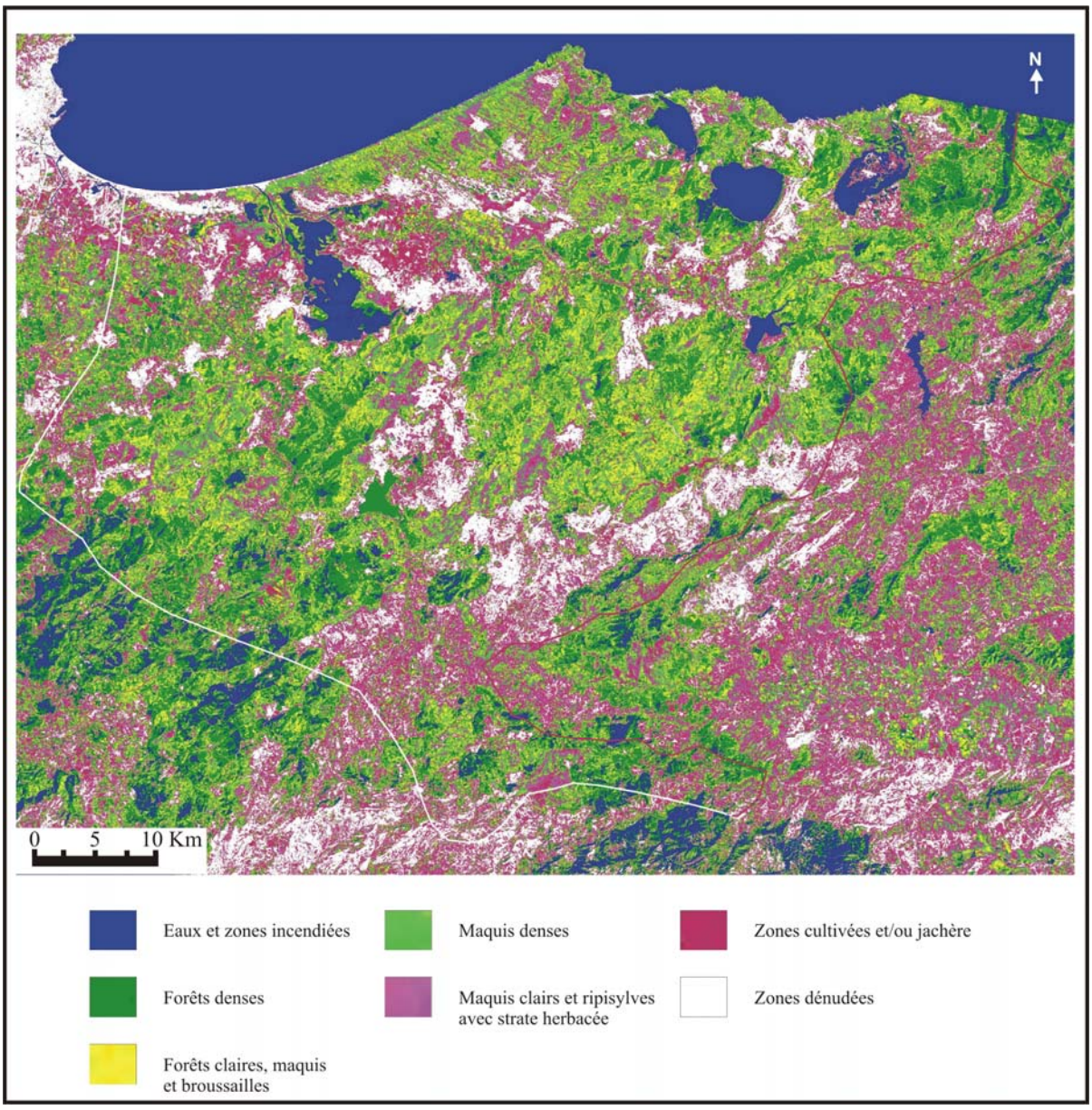



**Figure 4** : Spatiocarte des principales unités physionomiques selon une classification non dirigée d'une image Landsat ETM+ de mai 2000.

**e/ Maquis clairs et ripisylves avec strate herbacée :** Ils se présentent sous deux aspects : le premier sous forme de liseré suivant la partie en voie de consolidation du système dunaire qui surplombe la plage, le deuxième est représenté par de petites taches plus ou moins isolées ou formant des auréoles autour des zones dégradées. Par endroits, ils se confondent avec les zones de parcours. Les ripisylves bordent les cours d'eau qui drainent les reliefs couverts de placages éoliens ou se développent dans les zones de suintement aux pieds des cordons dunaires ;

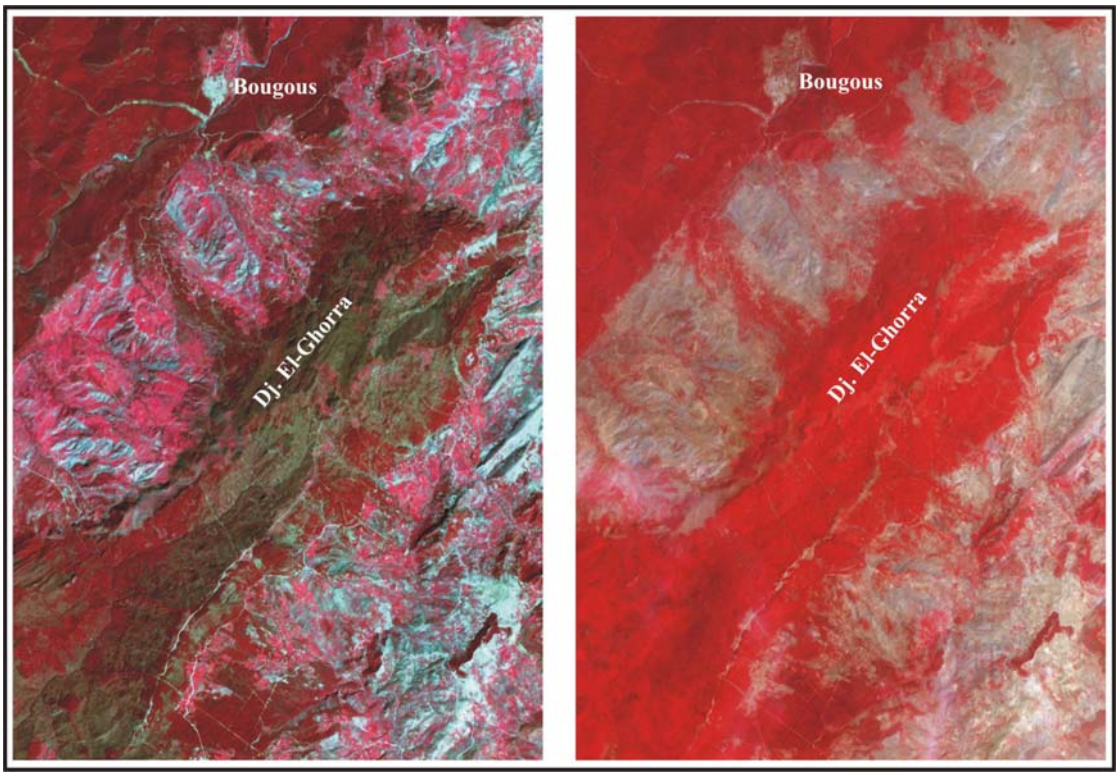
**f/ Zones cultivées et/ou en jachère:** Cette classe représente les zones où la végétation naturelle a disparu. Elle se localise dans le sud-est de la carte, dans le territoire tunisien (cette zone n'est pas protégée dans le cadre d'un parc comme c'est le cas de la zone limitrophe située dans le territoire algérien). On la trouve aussi dans la zone ouest, où la dégradation prend la forme d'une bande orientée nord-sud, qui s'explique par l'absence de protection, car le parc national d'El Kala n'atteint pas cette partie de la wilaya d'El Tarf. Enfin une troisième localisation est définie par les basses terrasses qui se concentrent le long de l'oued Kébir Est, où l'on observe des terres en jachère ;

**g/ Les zones dénudées :** Elles se situent au centre des zones occupées par la classe précédente, où l'on ne constate aucune trace du couvert végétal. Ayant des réponses spectrales similaire, les zones urbanisées se confondent souvent avec les zones dénudées.

## 6.3 Analyse diachronique des images satellitales pour le suivi de la dynamique des paysages

### *6.3.1 Dynamique saisonnière des espèces végétales dominantes : résultats de la comparaison de deux images ASTER (23 mars 2006 et 1er août 2001)*

Cette comparaison nous permet de faire une lecture nuancée des deux images (figure 5). L'image du début de printemps montre d'une part, une zone complètement couverte de végétation avec essentiellement deux signatures spectrales sous forme de rouge foncé et de rouge clair, et, d'autre part, une zone assez limitée située sur les hauteurs du Djebel El Ghorra avec une teinte marron verdâtre indiquant une zone dénudée ou couverte par une végétation en période de dormance. La lecture de la deuxième image prise au mois d'août nous permet de constater que zone d'El Ghorra se caractérise par une activité biologique intense en été. Cette situation s'explique par la phénologie du chêne zeen (espèce à feuillage caduc) qui se différencie de celle du chêne liège (espèce à feuillage persistant) et de celle des espèces herbacées (activité photosynthétique au printemps, puis dessèchement en été).




a b

**Figure 5** : Discrimination des unités physionomiques du Djebel El Ghorra à deux saisons : a), image ASTER du 23 mars 2006. b) image ASTER du 01 août 2002.

### *6.3.2 Les formes de dégradation affectant le système dunaire*

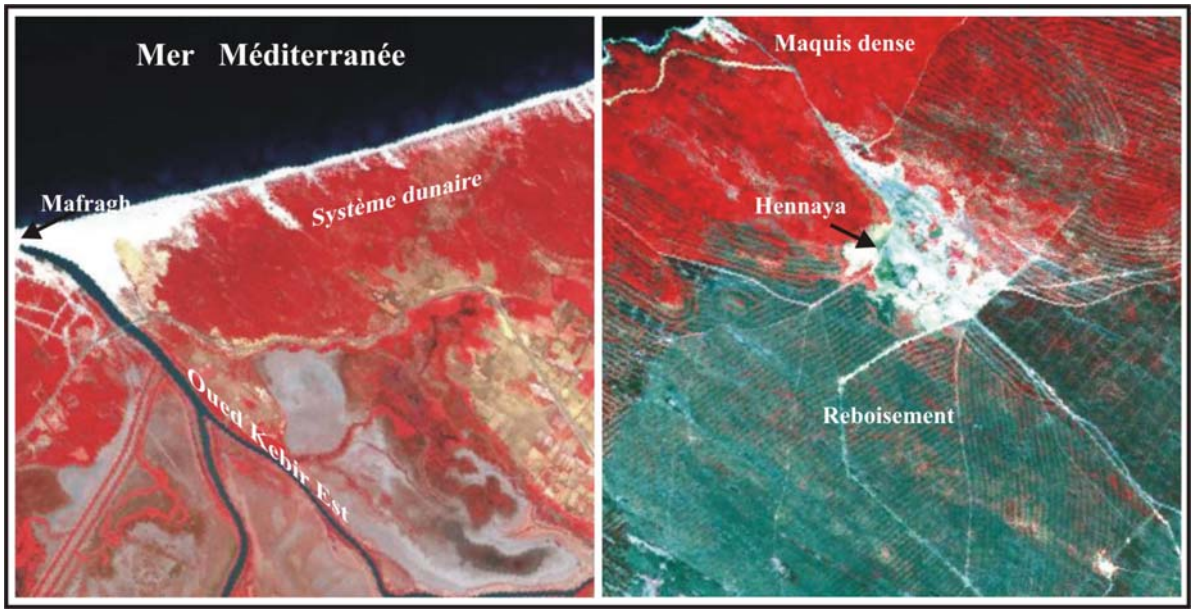
Les niveaux de dégradation du couvert végétal du système dunaire apparaissent sous différentes couleurs allant du marron clair au blanc. La phase ultime de la dégradation est représentée par la couleur blanche. Elle se situe au nord du massif dunaire. Elle est particulièrement importante au niveau de l'embouchure de la Mafragh, où la réactivation de la dynamique éolienne est essentiellement due à l'action de l'homme car la zone a été utilisée pendant plus d'une décennie comme sablière (figure 6a).

Le hameau d'El Hennaya représenté par une grande tache blanche situé au milieu du système dunaire est une zone complètement dénudée (figure 6b). Il est à noter que cet espace dénudé existe depuis la fin des années cinquante comme en témoigne la carte topographique à 1/50 000 de Bouteldja. Il constitue le centre d'où partent tous les sentiers qui sillonnent le système dunaire. Ce douar n'a pas connu la croissance qui caractérise les exploitations situées à la limite sud du cordon dunaire. Il est resté une escale qui a facilité l'exploitation du système dunaire. Ce hameau est sans réseau d'assainissement. Il déverse ses eaux usées dans le massif dunaire. Or ce dernier est considéré comme le château d'eau qui alimente toute la région (Kherici, 1985).

La deuxième zone de dégradation couvre toute la retombée sud du système dunaire (figure 7). C'est de loin la zone la plus importante car elle s'étale sur plusieurs centaines d'hectares sans interruption. Là aussi, c'est l'action anthropique qui est responsable de cette situation. Pendant des années, la culture illicite et itinérante de l'arachide a causé des dégâts énormes en éliminant le couvert végétal naturel et/ou introduit. Aujourd'hui, en raison de l'épuisement des sols, la végétation a du mal à recoloniser les surfaces abandonnées par la culture de l'arachide (figure 7a). Par ailleurs, la

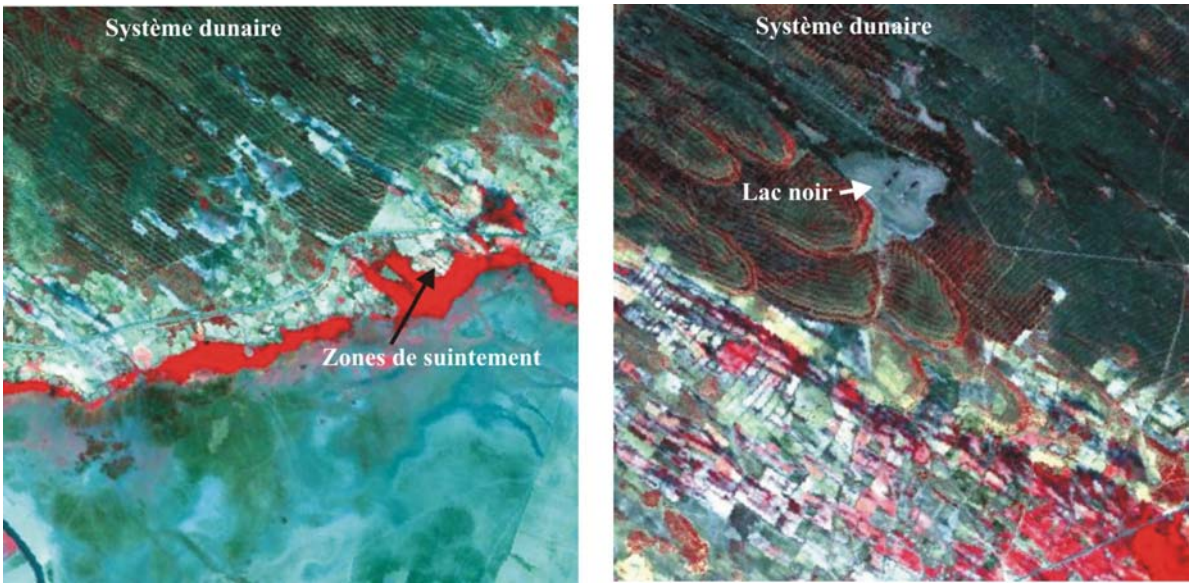
multiplication des forages, ces dernières années, a fait baisser la nappe phréatique au point de menacer les lacs interdunaires d'assèchement (exemple de la disparition du Lac noir mentionnée par De Bélair et Samraoui, 1994 ; voir figure 7b). L'assèchement des « garaet » et des lacs du système dunaire est une forme de dégradation du milieu dangereuse. Le rabattement de la nappe phréatique prive la végétation de l'humidité nécessaire à son maintien dans un milieu difficile. Sa disparition entraînerait la remobilisation des sables et l'ensablement des zones limitrophes sous l'effet de l'érosion éolienne (figure 7b).

La terminaison sud du système dunaire est densément peuplée. L'habitat et le système parcellaire sont largement conditionnés par l'affleurement de la nappe phréatique à cet endroit sous forme de sources et de zones humides. La construction de la route nationale longeant le cordon dunaire à la fin des années 80 a contribué au développement de plusieurs agglomérations (Berrihane, Mouissia) d'où la dégradation constatée due à cette activité intense qui a tendance à envahir le système dunaire. On constate que le couvert végétal qui recouvre la partie sud du cordon dunaire est dans sa quasi-totalité constitué de reboisements de pin maritime. Ainsi, ce qu'on appelle aujourd'hui le milieu naturel est un milieu largement anthropisé.




a b

**Figure 6**: a) le système dunaire et la sablière de la Mafragh (image SPOT, décembre 2006). b) Le hameau de Hennaya et les reboisements du système dunaire (image SPOT, juillet 2002).



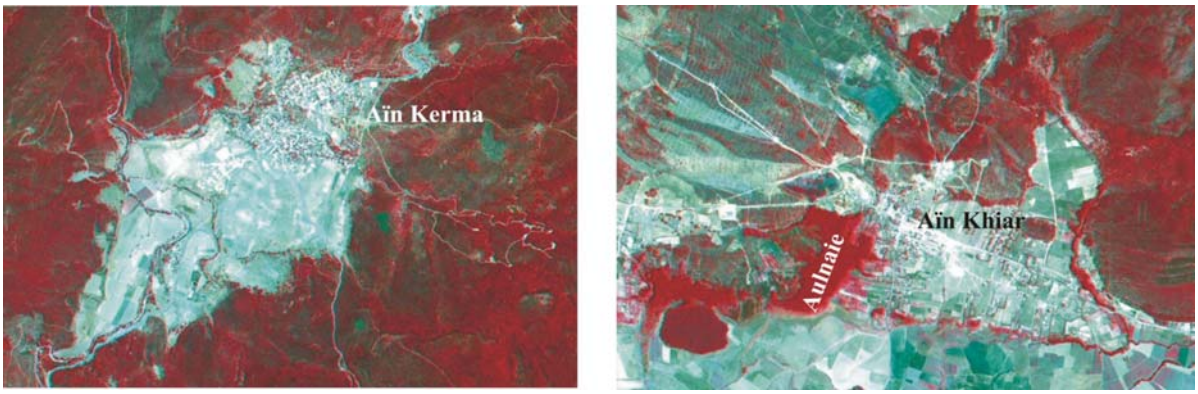

a b

**Figure 7** : Les formes de dégradation au niveau du cordon dunaire : a) recul du couvert végétal et dégradation du milieu devant la généralisation de l'agriculture sur un système dunaire très fragile. b) assèchement du Lac noir (images SPOT de juillet 2002).

### *6.3.3 Extension des villes et dégradation du milieu naturel*

La dégradation du milieu naturel apparaît le long des axes routiers, ainsi qu'autour des agglomérations et des hameaux. Ce phénomène est aussi important en plaine qu'en montagne.

A partir des extraits des images SPOT 2002 et 2006 nous constatons que la répartition des zones blanches (donc dénudées) est conditionnée par l'armature urbaine. En effet, toutes les agglomérations sont entourées par une couronne blanche qui marque l'impact de celles-ci sur les milieux naturels environnants. Le cas des villes d'Aïn Khiar et de Aïn Kerma est édifiant (figure 8).



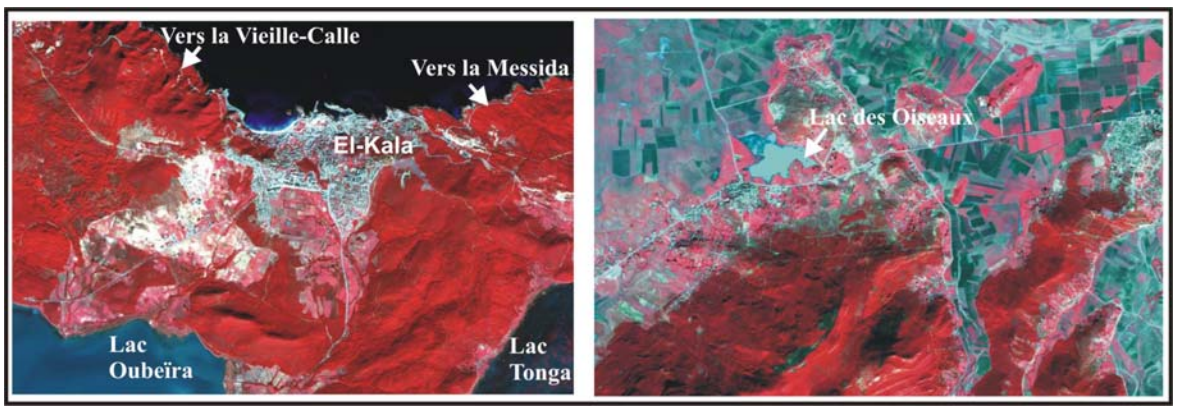

a b

**Figure 8.** a) Tache bleu clair indiquant les surfaces dégradées autour de l'agglomérations de Aïn Kerma ( Image SPOT, juillet 2002) b) En évitant la plaine inondable, l'extension de l'agglomérations de Aïn Khiar a mordu sur la zone forestière et de grandes zones avoisinantes ont été défrichées (Image SPOT, décembre 2006)

L'agglomération de Ain Khiar située dans une zone protégée au pied du versant sud du lac Oubeïra, est entourée de grandes surfaces défrichées récemment. La zone située au nord de ce défrichement a été incendiée quelques années auparavant. Cependant, on constate que la régénération végétale est rapide.

La ville d'El Kala a au moins triplé sa surface en 35 ans. La ville est restée longtemps cantonnée sur les versants dominant la baie. Le plateau était partagé entre l'agriculture intensive et le maquis. Cependant, et malgré les restrictions imposées à la ville en raison de sa situation en plein domaine protégé du parc, et la promulgation d'un nouveau chef-lieu de wilaya à quelques kilomètres de là (El Tarf), la ville d'El Kala a connu une extension suivant tous les axes routiers qui sortent de la ville. L'urbanisation a également envahi le plateau, d'où le recul des différents couverts végétaux (figure 9a). La zone sud nouvellement urbanisée est partagée entre les bassins versants des lacs Oubeïra et Tonga, d'où la menace de pollution qui pèsera sur ces deux lacs à court terme. Nous constatons aussi l'apparition de tracés de nouvelles routes dans les zones de protection intégrale de la Messida à l'est et du Cap Gros à l'ouest.

L'agglomération du Lac des oiseaux a connu elle aussi une extension très rapide (figure 9b). L'urbanisation a quitté l'ancien site du village sur la colline pour envahir les surfaces planes constituant les bords du lac. Ainsi, les différents rejets se déversent directement dans le lac. Ce dernier est classé comme réserve depuis 1990, mais reste menacé (Samraoui *et al*., 1992).




a b

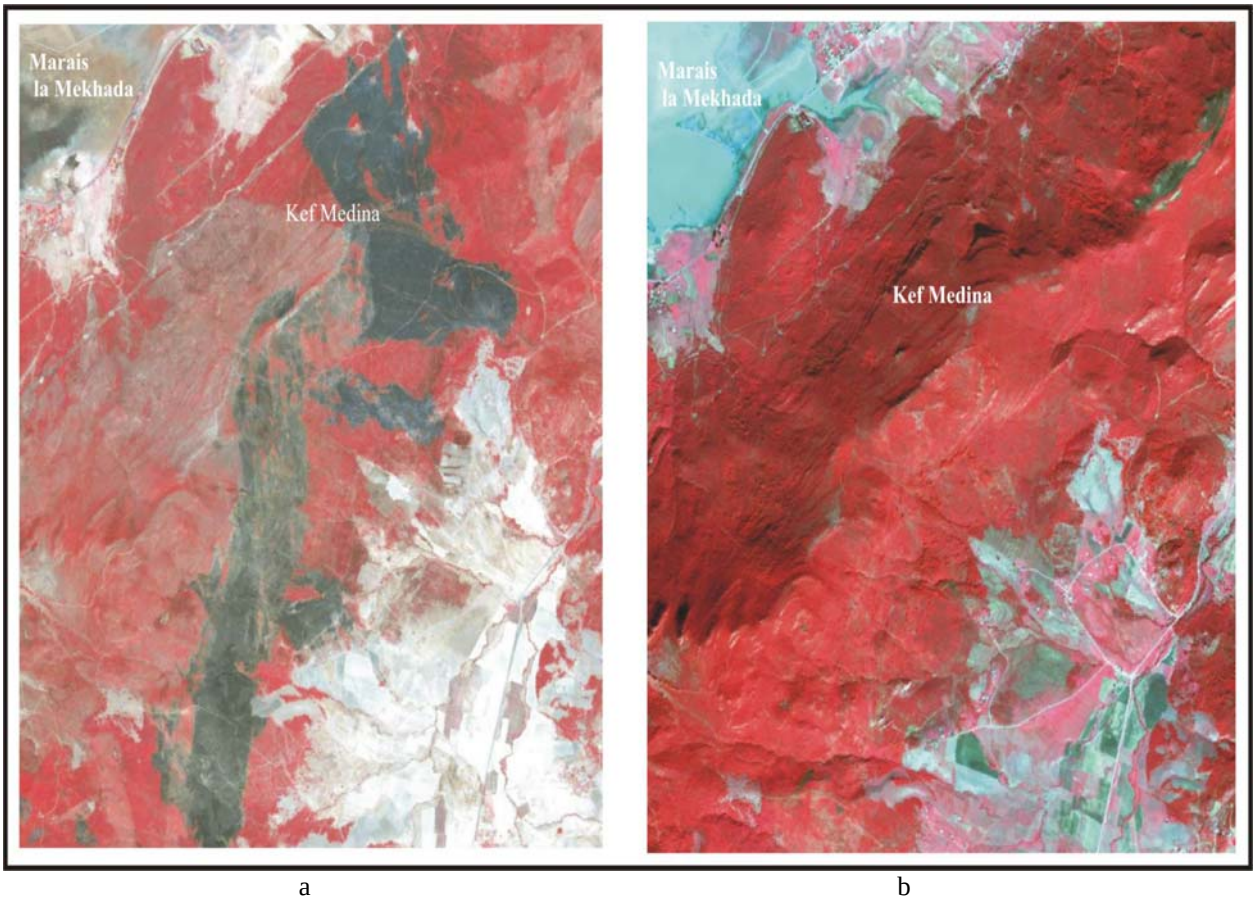
**Figure 9**: a) Extension de la ville d'El Kala b) Agglomération du Lac des oiseaux en bordure du lac (Images SPOT, décembre 2006).

Le petit bourg d'El Tarf, promu chef-lieu de la wilaya, est devenu en deux décennies une agglomération importante. Malgré sa situation hors du parc, ce nouveau centre urbain conditionne pour une grande part l'orientation du développement dans le parc national d'El Kala situé à proximité immédiate. L'agglomération d'Aïn El Assel, située à moins de 4 km d'El Tarf, subit un rythme de développement imposé par ce voisinage. Coincée entre les zones inondables et la forêt, la ville a fini par mordre sur l'espace forestier. En retrouve cette situation dans la quasi-totalité des agglomérations et particulièrement celles qui se situent sur le piémont (zone de contact entre la montagne et la plaine).

### *6.3.4 Rôle des incendies répétés dans la dégradation du milieu naturel*

La présence renouvelée de surfaces brûlées souligne l'importance de ce fléau dans la région. Cette importance s'explique par le stress hydrique prolongé, conjugué aux pratiques d'élevage extensif. En effet, la saison sèche qui débute à partir du mois de mai participe à un assèchement plus ou moins important de la strate herbacée en général (Eva *et al*., 2003). Ces tapis herbacés sont par conséquent parfaitement combustibles dès le mois de juin. Cependant, les forêts sans sous-bois comme la forêt du chêne-zeen sont moins vulnérables.

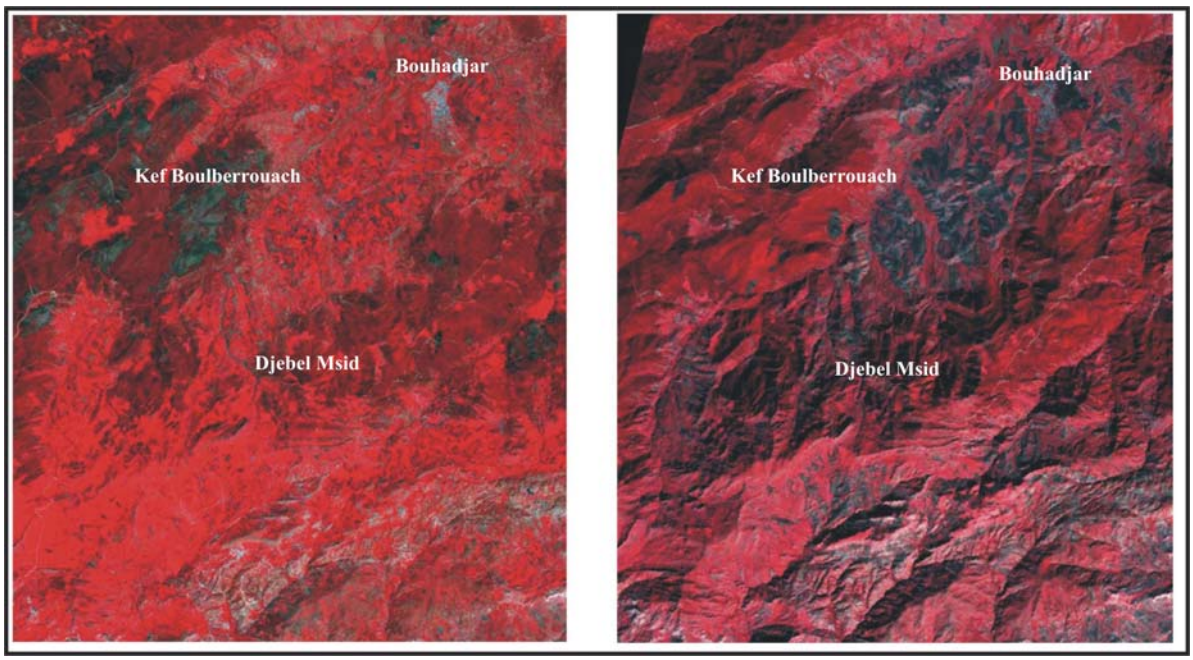
Ainsi la zone sud de la Mekhada est régulièrement incendiée (figure 10a); toutes les images en notre possession (1972-2006) montrent des taches noires et/ou grises indiquant des incendies récents ou relativement anciens. Cependant, la régénération du couvert végétal est généralement rapide (figure 10b).




a b

**Figure 10** : a) Composition colorée de l'image SPOT du 31 juillet 2002 montrant les surfaces incendiées dans la zone sud de la Mekhada b) Composition colorée de l'image SPOT du 28 décembre 2006 montrant un massif (Kef Medina) densément couvert, témoignant de la régénération rapide de la végétation.

La composition colorée de l'image LANDSAT ETM+ du 03 mai 2000 (figure 11 a) montre que les zones de forêts et maquis denses sont parcourues par des feux, et particulièrement les massifs du Kef Boulberrouach, qui avaient été épargnés par les incendies de 1988 (figure 11b). Un traitement numérique permet de quantifier les surfaces affectées par les incendies (Figure 12). Ainsi, dans cette zone particulièrement vulnérable du sud de la wilaya, les incendies détruisent régulièrement le couvert végétal naturel.




a b

**Figure 11** a) Composition colorée de l'image LANDSAT ETM+ du 03 mai 2000 b) Composition colorée de l'image LANDSAT TM du 27 janvier 1988.

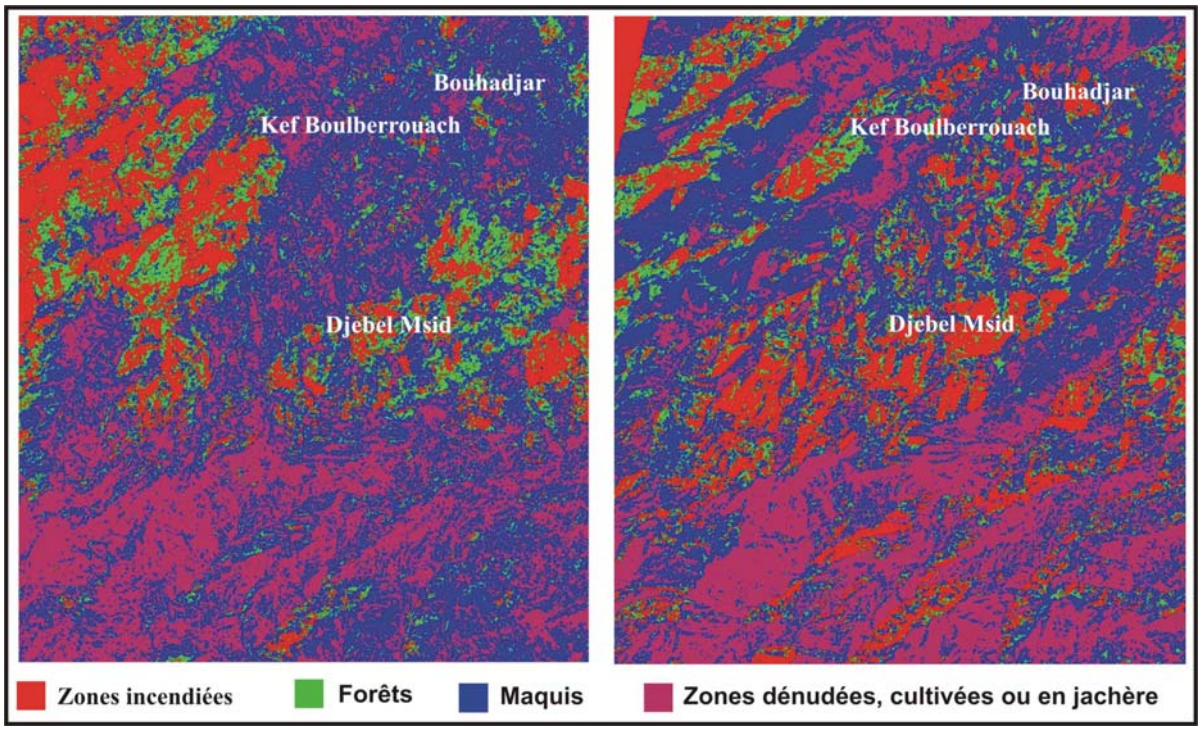


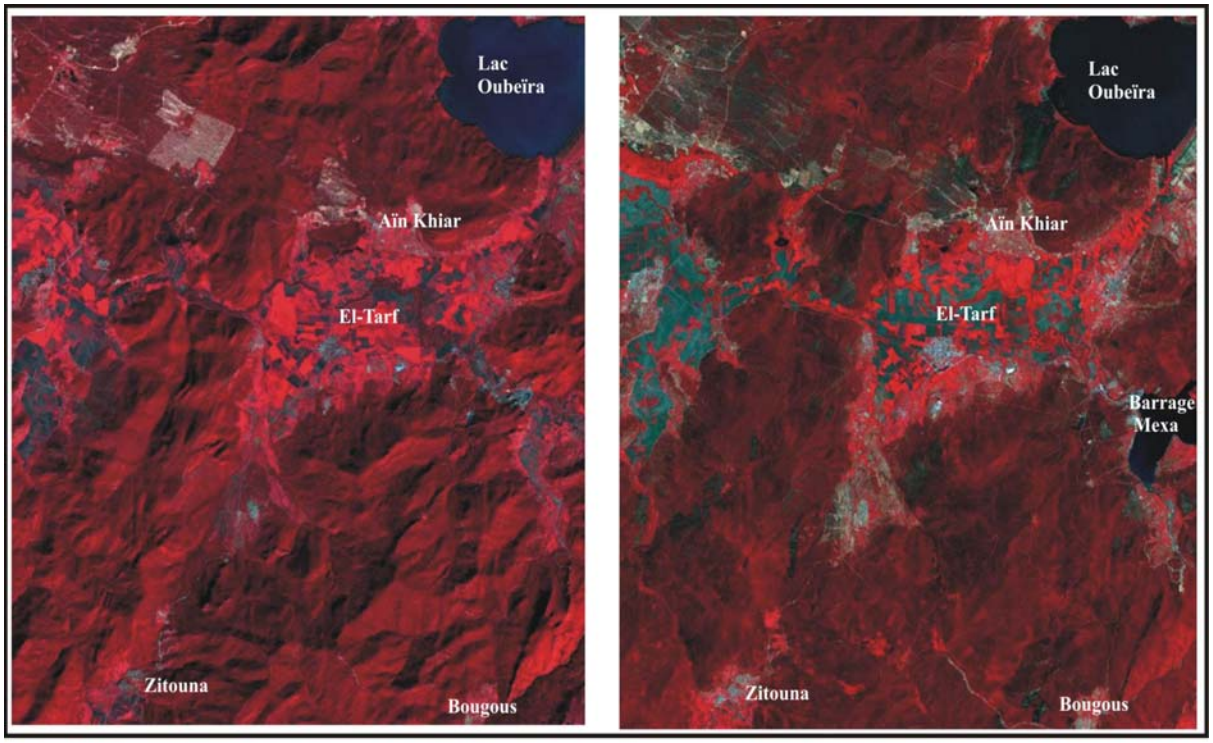

**Figure 12** : Classifications non dirigées réalisée à partir des images ETM+ et TM présentées à la figure 10..

Sur 183 rapports d'incendies consultés dans la région d'Annaba, environ 80 % indiquent « cause volontaire, auteur inconnu ». La fréquence des incendies dans une même zone, modifie la composition et la structure de la végétation et empêche la régénération de certaines espèces.

Ainsi, la réduction de la superficie forestière est surtout imputable aux incendies. De ce fait, les feux de forêts constituent une menace majeure pour le parc. Environ 0,5 à 1% de l'espace de la forêt de parc est brûlé chaque année. Durant l'année 2003, la superficie forestière dévastée par les feux est de 817 ha toutes essences confondues (source : services du PNEK).

### *6.3.5 Les défrichements autorisés dans la zone périphérique du Parc National d'El Kala*

L'analyse diachronique des images Landsat de janvier 1988 et mai 2000 (figure 13) permet de mettre en évidence l'apparition de nombreuses enclaves qui traduisent une disparition du couvert végétal causée par les incendies ou par les défrichements, qui sont autorisés, voire encouragés, en zone périphérique du parc national.




a b

**Figure 13** : a) la composition colorée de janvier 1988 ne montre aucune trace d'incendies (les zones plus sombres sont dues aux ombres portées par les versants) ; b) la composition colorée de mai 2000 montre des taches grises ou noires indiquant des surfaces brûlées, ainsi que la mise en eau du barrage Mexa.

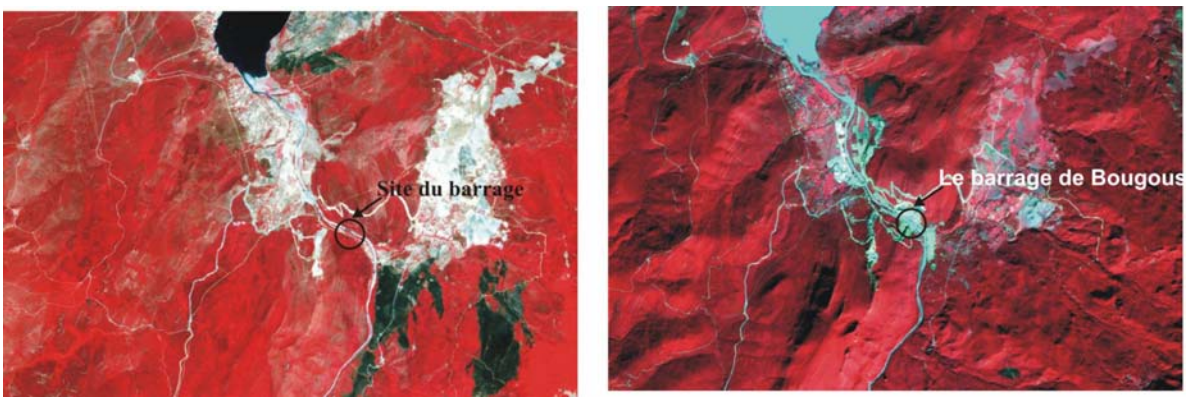
On constate en effet sur l'image Landsat de mai 2000 (figure 13b) la présence de taches de couleur sombre parsemées essentiellement dans la zone montagneuse ; ces taches atteignent rarement des surfaces importantes. Ces enclaves peuvent être le résultat de feux allumés et contrôlés par la population, ou bien d'une action volontaire de déforestation qui vise les zones qui ont une aptitude à une culture donnée ou susceptibles de donner un rendement acceptable du moins durant les premières années d'exploitation.

Une partie de ces dégradations s'explique donc par une volonté politique : afin de résorber le chômage, l'Etat a accordé, à des jeunes, des concessions dans la zone montagneuse, pour une mise en valeur agricole d'une surface d'une dizaine d'hectares de maquis. Ces actions ont hélas favorisé la dégradation du milieu et ont porté des coups durs à la politique de conservation des écosystèmes affichée parallèlement par l'Etat.

D'autres enclaves de couleur rouge vif indiquent l'apparition de formations herbacées sur l'image du 3 mai 2000, en remplacement des formations ligneuses qui apparaissaient sur l'image de 1988. Cette situation est certainement due à des incendies récents (2 à 3ans) qui ont permis l'envahissement des enclaves par une couverture herbacée. Enfin, on note l'importante surface incendiée qui apparaît comme une tache noire au sud du lac Oubeira (figure 13b). En conclusion, on peut souligner que la conjonction de deux facteurs (défrichements et incendies) aboutit à une dégradation significative de la couverture végétale.

### *6.3.6 Impacts des aménagements sur la dégradation du milieu naturel*

Un premier exemple d'impact important est celui du barrage de Bougous, en construction en amont du barrage Mexa. C'est le sixième barrage construit dans un rayon de 15 km (trois dans le territoire tunisien et trois sur le territoire algérien). Cette course à la mobilisation des eaux de surface de part et d'autre des frontières oublie la fragilité du milieu notamment le complexe humide situé en aval (figure 14).




a b

**Figure 14** : Site du barrage de Bougous : a) avant la construction du barrage (image SPOT, juillet 2002) b) barrage en construction (image SPOT, décembre 2006).

Un autre exemple concerne le maquis du cap Rosa, qui a un substratum de sables éoliens, donc très fragile. Ces dernières années (2003 et 2006), la zone a connu des dégradations spectaculaires causées essentiellement par des tronçons de route et d'autres installations importantes. Cette zone est aussi très fréquentée durant la saison estivale (figure 15).




a b

**Figure 15** : Formes de dégradation dans la région du Cap Rosa : a) taches blanches indiquant la dégradation du milieu sous forme de mitage (image SPOT, juillet 2002) ; b) importante tache blanche (nouvelle route) indiquant une accélération de la dégradation (image SPOT, décembre 2006)

.

Le système dunaire qui couvre la majeure partie du secteur est du lac Mellah constitue également un milieu très fragile qui reste marqué par des niveaux de dégradation allant de la zone complètement dénudée aux zones de maquis dense. En raison de sa proximité de la ville, de la présence de la plage et les vestiges de la vieille Calle, le secteur subit une pression anthropique importante particulièrement durant la saison estivale. L'ouverture de la route côtière El Kala-

Vieille Calle en 2006 (zone protégée) a permis l'ouverture d'autres pistes et l'apparition d'îlots de mise en valeur et l'augmentation des flux de visiteurs d'où l'augmentation du risque d'incendie.

Malgré son statut de zone protégée, la zone de la Messida a subi des aménagements importants, notamment par la création d'une route reliant la plage à la ville d'El Kala en longeant la côte et l'implantation d'une auberge de jeunesse sur la route d'Oum Teboul. Ces transformations nous laissent sceptiques quant à la notion de protection intégrale mise en exergue dans les plans de conservation. Cette protection est également remise en cause, depuis avril 2008, par la construction d'une autoroute Est-Ouest, reliant la frontière tunisienne à la frontière marocaine ; le passage de l'autoroute va non seulement couper le parc en deux, mais c'est également la voie pour de nouvelles infrastructures et dégradations.

## 7. CONCLUSION

Cette étude a permis de déterminer et discriminer, par télédétection, les formations végétales de la wilaya d'El Tarf. Les images satellitales utilisées ont permis de réaliser une cartographie de la végétation (spatiocartes des unités physionomiques). La discrimination et l'identification des formations végétales dans les cas les moins évidents ont été résolus grâce aux traitements numériques et aux observations de terrain. Les analyses des changements et des perturbations (dégradation du milieu naturel) ont été menées essentiellement à partir d'interprétations visuelles, qui pourraient être confirmées facilement par des traitements numériques appropriés.

La divergence des conclusions avancées par les différents acteurs sur le rythme de recul du couvert forestier, provient du fait que jusqu'ici les différentes études ne permettaient pas de faire une généralisation car les stations d'observations, toujours peu nombreuses, ne suffisaient pas pour montrer une évolution d'ensemble. On sait que la forêt de la région subit, depuis plusieurs années, de fortes pressions d'origines diverses, entraînant différentes formes de dégradation des ressources naturelles renouvelables. L'importance de la dégradation des formations végétales naturelles a de graves incidences aussi bien sur la forêt que sur l'écosystème. Cette dégradation de la végétation naturelle, due essentiellement à l'acquisition de nouvelles surfaces agricoles, à l'extension des agglomérations, aux incendies et aux défrichements sous différents prétextes, concerne tous les ensembles morphologiques.

La région d'étude est incontestablement à vocation agricole, c'est le secteur le plus pourvoyeur d'emplois permanents et saisonniers. Avec une S.A.T (surface agricole totale) de 11 000 ha, l'agriculture occupe 14,5 % du territoire du PNEK. Actuellement, force est de constater que le Parc National d'El-Kala est la plus densément peuplée des aires protégées d'Algérie. Cette situation n'est pas sans rapport avec les difficultés actuelles de gestion de ce territoire.

D'une manière générale, la superficie moyenne défrichée individuellement est comprise entre 25 ares et 10 hectares. Les défrichements concernent les forêts de chêne-liège, d'eucalyptus, les aulnaies, les ripisylves, les oliveraies et plusieurs autres formations arbustives et herbacées des zones pâturées. Sur les sols favorables à l'activité humaine, le maquis à oléastre et à lentisque, formation végétale qui couvrait probablement une grande partie de la plaine de Annaba, a été complètement remplacé par des cultures.

A travers les cas traités, on constate une régression des surfaces des forêts denses spontanées de la région. Actuellement, tout porte à croire que l'évolution des paysages conduit à une dégradation qui n'épargne aucun secteur. La comparaison de dix images (LANDSAT, ASTER et SPOT) acquises entre 1973 (MSS) et 2006 (ASTER et SPOT), nous a permis de suivre les dégradations du couvert végétal opérées en 35 ans sur les cinq ensembles paysagers qui constituent le territoire de la wilaya d'El Tarf, en l'occurrence le cordon dunaire, le complexe humide, les bas-fonds, les collines argilo-gréseuses et les contreforts de la terminaison Est de la chaîne numidique. La destruction régulière des formations végétales naturelles fait évoluer celles-ci des stades primaires de la forêt dense aux différents faciès de dégradation et de reconstitution, et souvent à l'invasion des surfaces par l'agriculture. Ainsi, l'impact anthropique reste le facteur principal d'une dégradation qui, en progressant, risque d'exacerber les phénomènes d'ensablement naturel et d'assèchement de certaines zones humides et de conduire à la disparition de sites protégés, comme l'aulnaie de Ain Khiar.

On peut considérer que la méthode utilisée dans cette étude, qui associe à la fois l'analyse visuelle, les traitements numériques, les contrôles de terrain et les documents élaborés essentiellement par les forestiers, est satisfaisante et opérationnelle et peut donc être étendue aux régions voisines de l'extrême Nord-Est de l'Algérie et constituer un moyen pratique pour la surveillance continue de l'impact de l'action de l'homme sur le milieu naturel.

## 8. REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé en partie lors de stages effectués par A. Bougherara au laboratoire CNRS UMR 8586 PRODIG à Paris et a bénéficié d'un financement partiel grâce à une action de recherche soutenue en 2006-2007 par le réseau Télédétection de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) : « Télédétection de l´impact des activités humaines sur la dynamique d'écosystèmes protégés en région méditerranéenne : exemples des réserves de biosphère de l'Arganeraie (Maroc) et d´El Kala (Algérie) » (coordinateur B. Lacaze).

## 9. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


Aouadi H. (1989), La végétation de l'Algérie Nord-orientale: histoire des influences anthropiques et cartographie à 1/200 000. Thèse Sciences, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 108 p.

Benzouai R. (1987), Elaboration et utilisation d'un modèle de simulation pour la planification et l'exploitation des eaux superficielles d'un bassin versant : cas de la Mafragh (Extrême nord-est algérien). Thèse, Université de Nancy II.

Bougherara A. et Lacaze B. (2008), Identification et suivi des paysages et leur biodiversité dans la wilaya d'El Tarf (Algérie) à partir des images LANDSAT et ASTER. Communication aux XI$^{eme}$ journées scientifiques de télédétection de l'AUF (Télédétection et gestion de l'environnement), Antananarivo, Madagascar, 3-7 novembre 2008.

Bouzouni O. (2004), Parc national d'El Kala : Etude socio-économique du PNEK. Projet régional pour le développement des aires marines et côtières protégées dans la région de la Méditerranée (MedMPA).

De Bélair G. (1981), Biogéographie et aménagement de la plaine de la Mafragh (Annaba, Algérie). Thèse de 3$^{eme}$ cycle, Université Paul Valéry, Montpellier, 143 p., + annexes.

De Bélair G. (1990), Structure, fonctionnement et perspectives de gestion de 4 éco-complexes lacustres et marécageux (El-Kala, Est algérien). Thèse, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 193p.

De Bélair G. et Samraoui B. (1994), Death of a Lake: Lac Noir in Northeastern Algeria. *Environmental Conservation*, 21, pp 169-172

Fournier E. (1862), Sur la végétation des environs de la Calle (Algérie). *Bulletin de la Société Botanique de France*. pp. 422-433.

Donnay J.P. (coord.) (2000), La spatiocartographie. Numéro spécial, *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, vol. 38, n°1, 136 p.

Eva H.D., Gregoire J. M., Mayaux Ph., Chevallier D. (réd.) (2003), Suivi des feux de végétation dans les aires protégées d'Afrique sub-saharienne : Apport des techniques spatiales et des données satellitales pour le suivi des feux en Afrique sub-saharienne, Commission européenne - Centre commun de recherche des communautés européennes, EUR 20862 FR, 55 p.

Joleaud L. (1936), Etude géologique de la région de la Calle. Imprimerie la Typo - Litho et J. Carbonel, Alger, in 8°, 182 p.

Kherici N. (1985), Hydrogéologie du massif dunaire de Bouteldja, Thèse de 3$^{eme}$ cycle. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 202 p.

Marre A. (1987), Etude géomorphologique du Tell Oriental Algérien de Collo à la frontière tunisienne, Thèse d'Etat, Université d'Aix-Marseille II, 555 p., 154 fig., 2 cartes h. t., 36 photos, éditions SNED, Alger.

N'Guessan K. E. (2001), Etude de l'évolution de la végétation du «V Baoulé» (contact forêt/savane en Côte d'Ivoire) par télédétection.in : *Télédétection et sécheresse* Ed. AUPELF- UREF et John Libbey Eurotext, Paris, pp.181-196.

Ouelmouhoub S. (2005), Gestion multi-usage et conservation du patrimoine forestier : cas des subéraies du parc national d'El Kala (Algérie). Thèse Master of Science CIHEAM-IAMM n°78, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 129 p.

Provencher L. et Dubois J. M. (1987), *Précis de télédétection, vol. 4 : Méthodes de photointerprétation et d'interprétation d'images.* Presses de l'Université du Québec et Agence universitaire de la Francophonie, Sainte-Foy (Québec), 468 p.

Tomas F. (1977), Annaba et sa région, Thèse d'Etat, Université de Saint-Etienne, 720 p.

Samraoui B., de Bélair G., Benyacoub S. (1992), A Much-threatened Lake: Lac des Oiseaux in Northeastern Algeria. *Environmental Conservation*, 19, pp 264-267.

Seltzer P**.** (1946), *Le climat de l'Algérie*, éditions Carbonnel, Alger, 219 p.

Stevenson A. C., Skinner J., Hollis G. E., Smart M. (1988). The El Kala National Park and Environs, Algeria: An Ecological Evaluation. *Environmental Conservation*, 15, pp 335-348.

Tsayem-Demaze M., Polidori L., Fotsing J.M., (2001), Caractérisation multi-échelle et multi-capteur de la déforestation tropicale amazonienne. *Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection*, n° 161, pp. 74-84.

Vila J.M. (1980), La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, Thèse d'Etat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 2 tomes, 665 p., 199 fig., 40 pl.