

The use of satellite remote sensing and geographic information systems in monitoring the dynamics of alfatières aquifers. Case of the delegation of Hassi el Frid of the governorate of Kasserine in Tunisia.

L'utilisation de la télédétection satellitaire et des systèmes d'informations géographiques dans le suivi de la dynamique des nappes alfatières. Cas de la délégation de Hassi el Frid du gouvernorat de Kasserine en Tunisie



S. JARRADI^{1*}, K. TOUNSI²

¹Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture - Bureau sous régional de Tunis

² Institut Sylvo-Pastoral de Tabarka

*Corresponding author: slim.jarradi@fao.org

Abstract - Esparto grassland in Tunisia covers approximately 452.000 ha, mainly located in central Tunisia. Esparto grassland provides numerous goods and environmental services like fodder production for the livestock, fighting desertification and climate change mitigation. Esparto grassland are threaten by the up-growing anthropogenic pressure (overgrazing, farming...). Local managers need an efficient tool to monitor ecosystems that are managing. This study provide a methodological approach based on easy and free GIS and Remote Sensing data and tools that could be easily handled by local managers to asses land use changes. In our case, we applied this methodology in Hassi El Frid, Kasserine, to assess changes in Esparto grassland. We have found that areas initially covered with Esparto grassland were converted in Olive trees plantation, cereals fields and Cactus respectively 55%, 35% et 7%.

Keywords: Remote Sensing, Land Use Change Assessment, Esparto Grassland, Kasserine.

Résumé- En Tunisie, les nappes alfatières couvrent environ 452.000 ha. Elles offrent plusieurs biens et services, notamment la feuille d'alfa pour des usages industriel et artisanal, le fourrage pour l'alimentation du cheptel, la réduction de l'érosion hydrique et éolienne et la séquestration du carbone. En outre, les nappes alfatières contribuent efficacement à l'atténuation des effets des changements climatiques.

Ces nappes alfatières subissent une forte dégradation notamment par le défrichement, la surexploitation et le surpâturage. Les outils de gestion de ces espaces sont limités et s'ils en existent, les données qu'ils présentent ne sont pas actualisées. Dans le présent travail, nous avons essayé de fournir une méthodologie pour la révision des occupations du sol dans les nappes alfatières qui pourrait être appliquée par les gestionnaires locaux de cette ressource et qui se base sur des données et outils de Télédétection et de SIG qui sont d'utilisation et d'accès faciles comme les images Landsat, GoogleEarth et QGIS. La zone d'étude, la délégation de Hassi El Frid, appartient au Gouvernorat de Kasserine qui présente les plus importantes surfaces en alfa du pays. Les résultats de notre étude ont montré qu'au niveau de la zone de Hassi El Frid, les superficies occupées initialement par l'alfa ont été substituées par l'oléiculture, les grandes cultures et le cactus respectivement de 55%, 35% et 7%. Il s'agit d'une cadence de régression des surfaces et des qualités, pour le moins, alarmante et qui risque de s'accroître davantage.

Mots clés : Télédétection, Réaffectation des Occupations du Sol, Nappes Alfatières, Kasserine

1. Introduction

En Tunisie, les nappes alfatières couvrent jusqu'en 2005 une superficie de 452.000 ha (DGF, 2010)¹. Elles se situent pour l'essentiel dans les Gouvernorats de Kasserine (32%), Sidi Bouzid (22%) et Gafsa (21%), en plus de Gabès (7%), Médenine (4%) et Kairouan (4%).

Les nappes d'Alfa offrent plusieurs biens et services, notamment la feuille d'alfa pour des usages industriel et artisanal, le fourrage pour l'alimentation du cheptel, la réduction de l'érosion hydrique et éolienne et la séquestration de carbone. En outre, ces nappes contribuent efficacement à l'atténuation des effets des changements climatiques. En effet, les nappes alfatières peuvent absorber des quantités plus ou moins importantes de carbone atmosphérique selon leur état végétatif et selon leur taux de recouvrement du sol, contribuant ainsi à l'atténuation des émissions des gaz à effet de serre (DGF, 2005). Toutefois, ces nappes d'Alfa subissent une forte pression, aux origines diverses notamment par le défrichement, la surexploitation, le surpâturage, qui est combinée à des modes de gestion inadaptés expliquant les niveaux élevés de dégradation. En effet, selon la DGF, les superficies de l'Alfa sont passées de 635 000 ha en 1961 à 452 000 ha en 2005 et la productivité de 4,5 Qx/ha à 3,4 Qx/ha entre 1976 et 2003 (DGF2004)².

De surcroît, les gestionnaires de ces espaces et leurs partenaires ne disposent ni d'un état actualisé de la ressource (superficies, productions,...), ni de plans de gestion à court, moyen et long termes qui auraient dû être réalisés par déclinaison de la nouvelle stratégie de développement durable du secteur forestier et pastoral national 2014-2025³.

Le présent travail vise à développer une méthodologie de cartographie des nappes alfatières qui se veut fiable et généralisable en utilisant les outils modernes d'investigation spatiale (images satellites) et les approches automatisées de leur discrimination. Le domaine d'expérimentation choisi est la délégation⁴ de Hassi El Frid du gouvernorat de Kasserine (le gouvernorat alfatière par excellence). Les images satellites employées sont celles du satellite Landsat8 et de Google Earth qui sont exploitées selon des processus intégrés de Système d'Information Géographique et de traitement d'images.

2. L'Ecosystème alfatière : des biens et services diversifiés et une ressource en régression continue

L'écosystème alfatière en Tunisie fournit plusieurs biens et services. Une estimation récente (DGF et GIZ 2014)⁵ de la valeur économique totale de ces biens et services les situe aux environs de 85 millions de Dinars Tunisiens par an⁶.

Sur le plan environnemental, les nappes d'alfa jouent un rôle environnemental primordial, surtout en Tunisie centrale. Les services environnementaux ou les services de régulation se résument principalement en la protection contre l'érosion, la protection contre l'ensablement, la séquestration de Carbone et la préservation de la biodiversité. Ces services représentent plus de **62%** de la Valeur Economique Totale des nappes alfatières Tunisiennes.

Au niveau économique, l'exploitation de ressource l'alfa procure aux habitants des steppes des revenus supplémentaires directs, ponctuels ou étalés sur l'année selon les modes de valorisation et de commercialisation des feuilles (vente directe, fabrication de produits de l'artisanat). Cette contribution au revenu des ménages peut être indirecte sous forme de dépenses épargnées ou évitées par une valorisation de l'alfa par le pâturage (source de fourrage pour le cheptel à portée de main). A titre d'exemple, dans la localité de Oussaia, au gouvernorat de Kasserine et qui a fait l'objet d'une étude pour la « Caractérisation écologique, socioéconomique et d'utilisation des nappes alfatières, et élaboration

¹. Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, Direction Général des Forêts Tunisie. 2010 : Inventaire Forestier et Pastoral National par télédétection. 180p.

²Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, Direction Générale des Forêts, Tunisie. 2005 : Etude prospective des nappes alfatières. 114p

³. Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, Direction Général des Forêts Tunisie. 2015 : Stratégie de développement du secteur forestier et pastoral national. 85p.

⁴. La délégation est un découpage administratif considéré au niveau de la Tunisie. La délégation est une entité qui est plus petite que le gouvernorat (département en France) et le secteur (Imadat en arabe).

⁵.Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, Direction Général des Forêts Tunisie et l'Agence Coopération Allemande au Développement. 2014 : Etude sur la valeur économique des nappes alfatières et les coûts de leur dégradation. 29p.

⁶. 85 millions de DTN soit l'équivalent de 33 millions de dollar américain environ (base valeur de 2017).

participative d'un plan de gestion » conduite par la DGF et l'IUCN (2012)⁷, plus de 35% des ménages utilisent les nappes alfatières pour le parcours direct et environ 14% des ménages valorisent l'alfa dans des activités artisanales. De plus, l'activité industrielle liée à l'alfa (transformation à l'usine des feuilles d'alfa en pâte à papier), emploie entre 900 et 1200 ouvriers alors que la cueillette occupe environ 6000 ménages (Selmi et al., 2005, SNCPA, 2012)⁸.

Malgré cette importance économique, sociale et environnementale avérée, l'écosystème alfater demeure fragile et les biens et services rendus grandement compromis. L'analyse des quantités d'alfa ramassées et celles transformées par la Société Nationale du Cellulose et de la Pâte d'Alfa (SNCPA- monopole d'Etat), montre qu'elles sont en diminution constante, laquelle diminution est confirmée par une réduction importante des surfaces en alfa qui se font au profit de nouvelles affectations des sols (agriculture pluviale, oliveraies, périmètres irrigués et urbanisation) supposées plus rentables ou permettant une appropriation d'un espace collectif ou appartenant à l'Etat.

Ghrab 1981⁹ a rapporté une description de la steppe tunisienne faite par Monchicourt 1895, il disait : «c'est une mer grandiose, interminable, monotone où l'alfa pousse à profusion, les extrémités des feuilles arrivent au menton d'un homme debout et les panicules inflorescentielles cachent complètement l'observateur». Les récentes prospections faites sur ces mêmes espaces (2016) ont montré que les feuilles d'alfa ne mesurent guère plus de 20 à 50 cm de longueur en moyenne et ne couvrent qu'exceptionnellement plus de 20 à 50% du sol (IFPN.1995 et 2010).

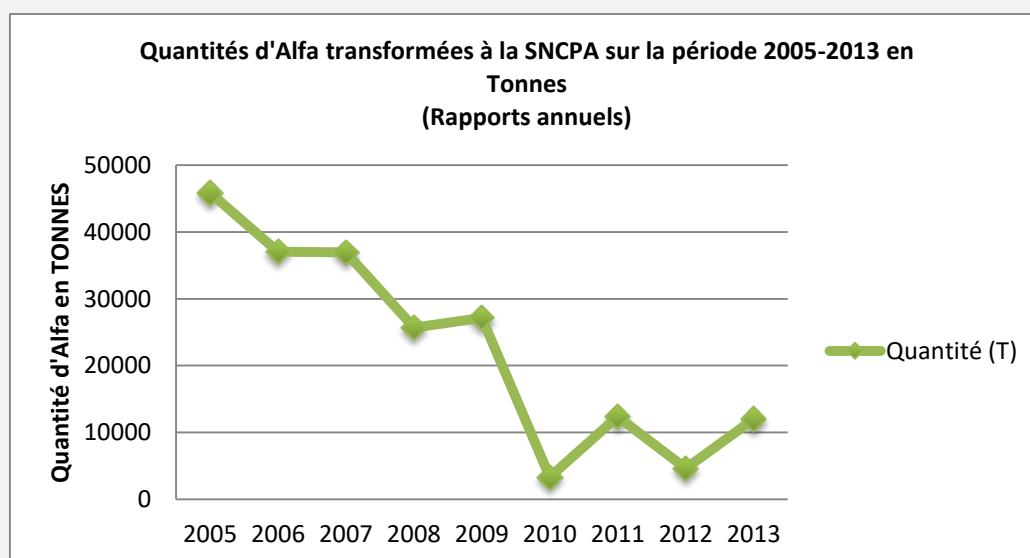


Figure 1. Evolution des quantités d'alfa transformées par la SNCPA entre 2005 et 2013 (en Tonnes)

3. Matériel et méthodes

Le matériel de base employé pour réaliser ce travail sont :

- les images télédéteçtées réalisées par le satellite LANDSAT 8 (11 bandes spectrales avec une résolution spatiale 30m en multispectral, 15m pour la bande panchromatique et 100m pour les bandes infrarouge) qui sont fournies gratuitement sur les sites internet de la NASA. L'image employée dans le

⁷. Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, Direction Général des Forêts Tunisie et l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN). 2012 : Caractérisation écologique, socioéconomique et d'utilisation des nappes alfatières, et élaboration participative d'un plan de gestion pour les nappes alfatières. Site pilote Oussaia. 50p

⁸. S. SELMI, T. ALOUI, M. HELAL. 2005 : L'alfa industriel dans la région du centre-ouest de la Tunisie : pilier principal d'allégement de la pauvreté en milieu rural New Medit N°3. p-p 52-56

. Site Web de la Société Nationale de Cellulose et de Papier Alfa (SNCPA) : <http://www.sncpa.com.tn/societe.php>.

⁹. Ghrab S., 1981. Etude de la variabilité éco-phénologique de l'alfa en Tunisie centrale. Application en vue de la sauvegarde et l'amélioration des nappes alfatières. Thèse doctorat. Fac. Sci. Et tech. St Jerome. 135p.

cas présent date du 12 Octobre 2015. Elle correspond au moment où l'alfa est en train de passer d'une période de vie latente qui a duré trois mois à une période de vie active. C'est le réveil végétatif pendant lequel les touffes d'alfa ont une activité photosynthétique accrue qui pourrait éventuellement s'exprimer au niveau du signal télédétekté par des niveaux de réflectance élevés par rapport à leur environnement. L'image satellite ainsi recueillie (téléchargée) a fait l'objet de traitements géométriques (redressement), radiométriques puis atmosphériques afin de transformer les données brutes en réflectances. Ce dernier pré traitement est très important car il permet de soustraire du signal mesuré au capteur, celui induit par les effets de l'atmosphère en termes de processus d'absorption et de diffusion dus aux gaz comme l'ozone, la vapeur d'eau et les aérosols. La procédure employée dite « Semi-Automatic Classification Plugin » (SCP) applique la conversion des nombres numériques (DN), valeurs adimensionnelles, vers le sommet de la réflectance atmosphérique (TOA), qui définit le rapport entre la radiation émise vers la surface et la radiation réfléchiée par la surface. Dans la même étape, la SCP exécute la correction atmosphérique en utilisant la méthode DOS (Dark Object Substraction) ou la soustraction de l'objet sombre.

- les résultats des inventaires forestiers et pastoraux de 1995 et 2005 de la DGF à partir desquels ont été extraits les parcelles d'apprentissage pour les classifications automatiques que nous ont avons réalisé,
- les logiciels de SIG et de traitement d'images Open Source, en l'occurrence Quantum GIS et en particulier l'extension « Semi-Automatic Classification Plugin » (SCP).

La méthode employée a consisté en :

- une conversion des données rasters en nombres numériques (DN « Digital Numbers ») à réflectances.
- la fusion des bandes spectrales,
- la définition des parcelles d'apprentissage par numérisation manuelle,
- la détermination des ROI (Regions of interest) avec un intervalle pour les valeurs des pixels allant de 0.01 à 1, des Macroclass ID (MC ID) et des classes (Class ID),
- la classification proprement dite. Dans ce cas particulier, nous avons adopté la méthode de classification du Maximum de Vraisemblance et l'algorithme "Spectral Angle Mapping"¹⁰. La combinaison des bandes R:B6 ; V:B4 ; B:B3 permet d'obtenir un résultat satisfaisant.

Nous avons retenu sept (7) classes indépendamment des deux classes automatiques qui sont créés par l'algorithme et regroupent les pixels non classés ou ceux qui se chevauchent :

- 1- Sol nu
- 2- Labour
- 3- Agriculture
- 4- Alfa
- 5- Forêts
- 6- Eau
- 7- Habitations.

Par la suite, nous avons utilisé l'outil calculateur de Bandes (Band Calculator) pour générer les indices de végétation normalisée (NDVI), l'indice de brillance (SAVI) et l'indice de brillance corrigé (MSAVI). Les formules sont les suivantes :

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

$$SAVI = \left[\frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} \right] * (1 + L)$$

$$MSAVI = \frac{(2 * NIR + 1 - \sqrt{(2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - R)})}{2}$$

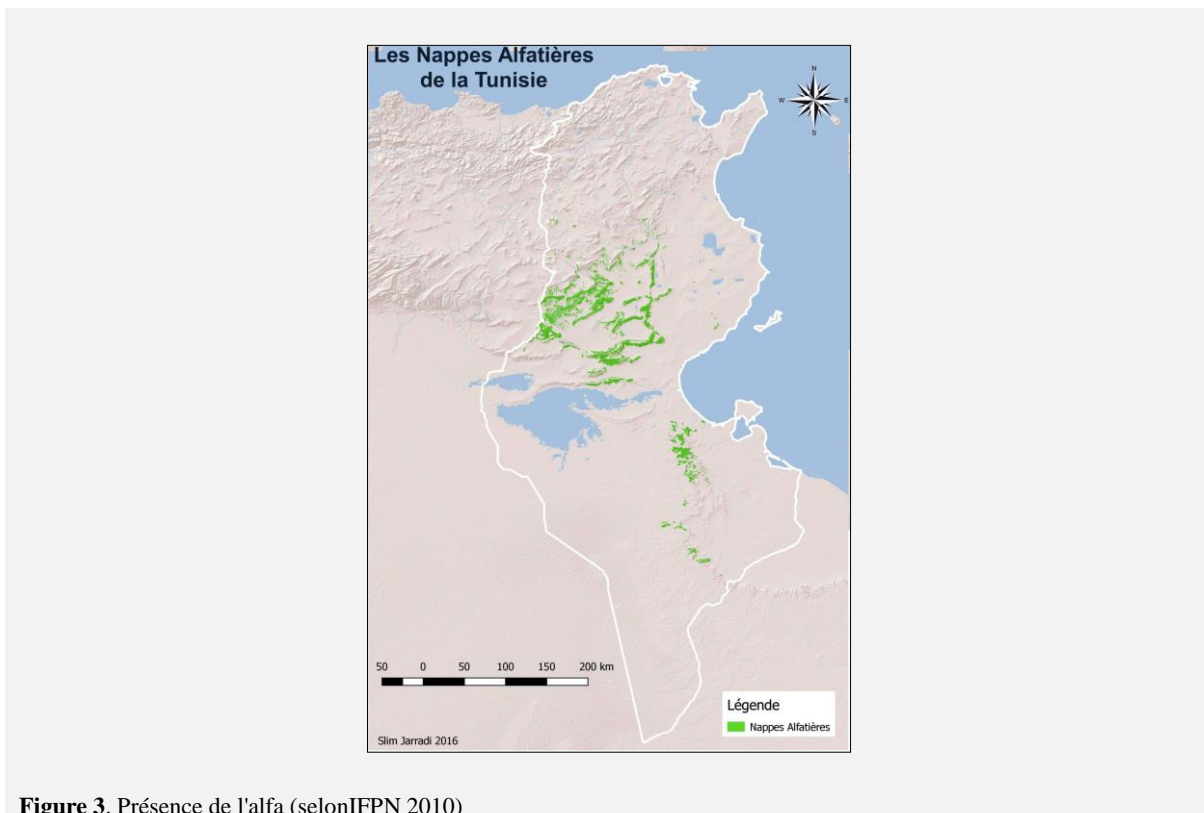
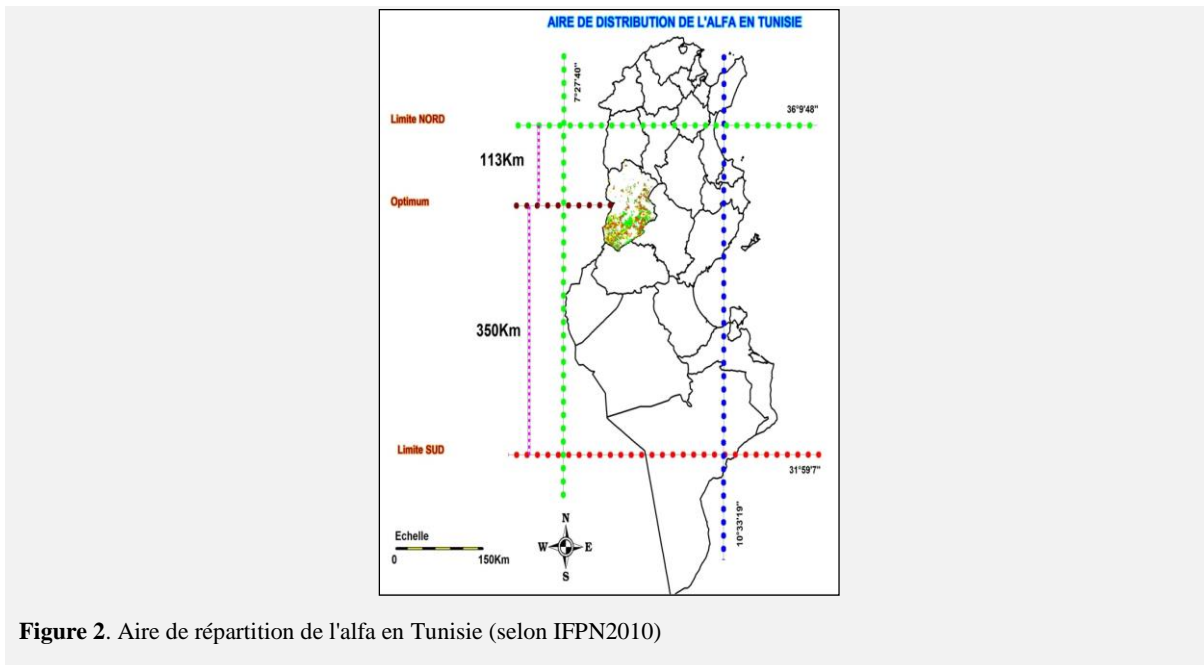
Où :

- NIR : le proche infrarouge
- R : le rouge
- L : facteur de correction de la brillance du sol, généralement L est égale à 0.5.

¹⁰ Le Spectral Angle Mapping (SAM) est une méthode de classification basée sur le calcul de la similarité spectrale entre les spectres de l'image par référence au spectre de la réflectance.

4. L'alfa à Hassi El Ferid : une représentativité thématique et spatiale

L'alfa (*Stipa tenacissima*) est une plante steppique, herbacée, typiquement méditerranéenne et très résistante à la sécheresse. Elle possède une amplitude écologique très large, préfère les milieux arides et coexiste avec un cortège floristique varié et diversifié. En Tunisie, les nappes alfatières se situent pour l'essentiel dans les Gouvernorats de Kasserine, Sidi Bouzid et Gafsa. Des superficies plus au moins importantes sont rencontrées à Gabes, Médenine, Kairouan et Tataouine.



En termes d'exigence pédologique, l'alfa s'observe surtout sur des sols superficiels, bien drainés, sablonneux ou calcaires et pauvres en matière organique. Elle évite les sols hydromorphes ou salés (Marion, 1966¹¹ ; Le Houerou, 1969)¹².

Sur le plan phénologique, le cycle végétatif de l'alfa peut être découpé en deux ensembles chacun est constitué de deux phases : le premier ensemble qui correspond aux périodes où l'activité photosynthétique est ralentie regroupe la phase du repos végétatif (Janvier et Février) et celle de la vie latente (Juillet, Août et Septembre). Le deuxième ensemble est composé de deux phases de vie active s'étalant entre Mars et Juin et en entre Octobre et Décembre, et qui correspondent au maximum d'activité photosynthétique. Cette distinction péhnologique peut être exprimée en signal télédétecté d'où le lien entre la télédétection satellitaire et la reconnaissance de l'espèce.

Par ailleurs, les deux inventaires pastoraux et forestiers de 2005 et 2010 (réalisés sur la base de prises de vues aériennes (photos) ou satellitaires réalisées respectivement en 1990 et 2000) montrent que le gouvernorat de Kasserine et en particulier la partie sud à laquelle appartient la délégation de Hassi El Frid demeure la région de l'alfa par excellence¹³.



¹¹ Marion J., 1966 ; L'alfa en Tunisie, ses problèmes. Rapport Technique. FAO.

¹² . Le Houerou H.N, 1969 : La végétation de la Tunisie steppique. Ann. Inst. Agron. Tunisie 42 (5). 238-241 pp.

¹³ . Selon INFPN 2010, le gouvernorat de Kasserine représente presque el tiers de la superficie totale en alfa du pays (146000ha/452000ha). Le même pourcentage (30%) est représenté par la surface en alfa dans la délégation de Hassi El Frid par rapport au gouvernorat de Kasserine (soit 40.000ha/146000Ha).

5. Les steppes d'alfa, des espaces et des ressources sous pressions

En Tunisie, l'alfa couvrait 1,12 Million ha (Monchicourt, 1895 in Ghrab, 1981). D'autres auteurs comme Lambert (1912)¹⁴, estimaient la superficie qu'occupait l'alfa d'environ 1,5 Million ha. Les résultats présentés par le dernier inventaire forestier et pastoral national (DGF 2010) font état de 452 000 ha en 2000 (date des prises de vues aériennes).

Le recul de l'étendue des nappes alfatières a fait l'objet de nombreuses analyses dans différentes études. Bien que ces études aient été unanimes sur le fait de la disparition de l'alfa, les auteurs ont divergé sur son rythme. En effet, les pressions exercées sur les espaces pastoraux en général et les steppes d'alfa en particulier n'ont jamais cessé. Ils vont des exploitations abusives aux destructions pures et simples et la réaffectation des terres défrichées en agriculture annuelle ou oléiculture. Selon Marion, 1966, la régression des surfaces couvertes en alfa semble avoir pour principale origine les défrichements pour la culture suite à la politique de sédentarisation engagé depuis l'indépendance (1956) et l'augmentation des effectifs des ménages ruraux. Aussi, la pratique de l'élevage (qui était le propre de ces populations à l'origine nomades) et l'accroissement des troupeaux qui dépassent largement la capacité des nappes alfatières créant ainsi un déficit fourrager qui est devenu très vite chronique et une dégradation prononcée du couvert végétal (Ghrab, 1981). L'exploitation industrielle de l'alfa pour la production de la pâte à papier en Tunisie ou ailleurs qui a déjà été qualifiée d'arbitraire au XIX^{ème} et XX^{ème} siècle est devenue irrationnelle actuellement (Chaabani, 1993)¹⁵. Les prélèvements dépassent de 50% les possibilités annuelles de prélèvement qui sont estimées à 30.000 tonnes.

Ces dernières années, de nouvelles utilisations ont été trouvées pour l'alfa par les habitants des steppes. L'introduction de l'élevage bovin laitier intensif dans ces régions a fait que les éleveurs font de plus en plus recours à l'alfa comme aliment d'encombrement pour leur bétail. La tonne d'alfa est payée entre 250 et 450 Dt/Tonne soit deux à trois fois plus chère que ce que propose la SNCPA (150Dt/Tonne) favorisant ainsi un commerce illégal et une exploitation de la nappe toute l'année ignorant ainsi la période de repos. Malgré les différences au niveau des chiffres avancés par les divers auteurs, une chose est certaine est les surfaces occupées en alfa en Tunisie sont en baisse continue et progressive au fil des temps. La régression moyenne annuelle en hectares est passée de 4500 entre 1895-1931 à 11000 ha entre 1931-1961 puis à 14000 ha entre 1961-1974 (Ghrab, 1981). D'autres auteurs (DGF et GIZ.2014) font état d'une régression moyenne annuelle en hectares de l'ordre de 30.000 ha entre 1995 et 2005.

A la lecture de ces données, nous constatons qu'entre 1895 et 2005, plus de 60% des nappes alfatières tunisiennes ont été détruites. Cette régression des étendues de l'alfa s'accompagne par des perturbations sociales et économiques plus ou moins profondes selon le niveau de dépendance des familles de la Tunisie Centrale de cette ressource et de leur capacité d'adaptation à des mutations aussi rapides. Une étude réalisée par la DGF en 2014 en collaboration avec la GIZ, a estimé le coût engendré par la dégradation des nappes alfatières en Tunisie d'environ 14 Million de Dinars par an.

6. Résultats et discussions

L'utilisation des images satellites Landsat8, les combinaisons de canaux effectués et les algorithmes de classification employés ont montré qu'il est envisageable de pouvoir procéder à la cartographie automatique de l'alfa à condition de bien choisir la date de prise de vue et les seuils de rehaussement des images. Le mois d'octobre qui correspond à la période de transition de l'alfa du stade phénologique de repos végétatif vers une période d'activité synthétique accrue semble être convenable pour la discrimination spectrale de l'alfa de son en environnement. Néanmoins, malgré les améliorations apportées par les indices de végétation et de brillance employés, les confusions entre les nappes alfatières à faible recouvrement (inférieur à 10%) et les sols nus demeurent importantes.

¹⁴ P. Lambert, 1912: Dictionnaire illustré de la Tunisie. Edition C Saliba Ainé. 468 p.

¹⁵ M. Chaabani: 1993. Exploitation de l'Alfa en Tunisie, Biologie, Aménagement et Exploitation. Rapport Technique Direction Générale des Forêts. 14p.

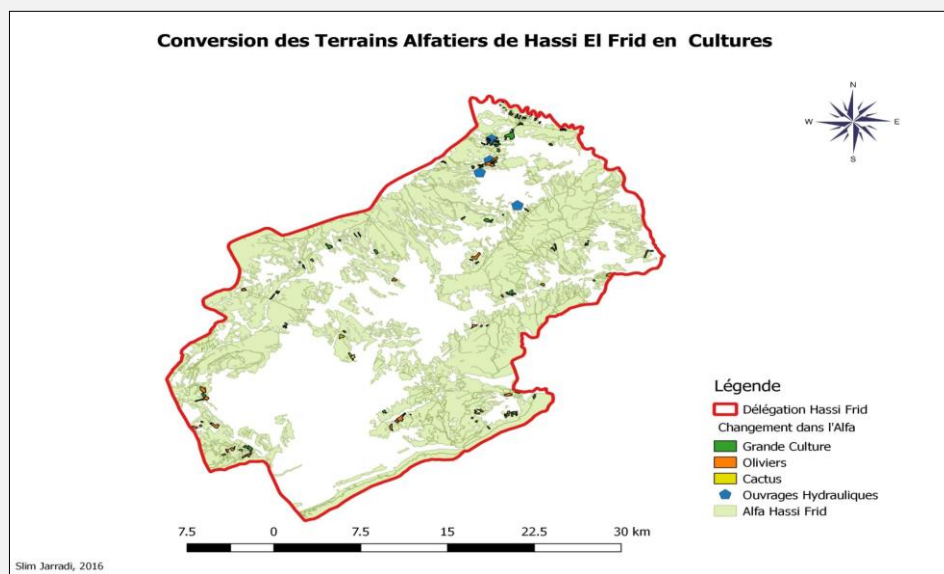


Figure 6. Changement des affectations des sols dans les nappes alfatières de Hassi El Frid

La comparaison des résultats du dernier inventaire forestier et pastoral national de 2000 (publié en 2010) et les surfaces en alfa déterminées par classification automatique confirment la dynamique régressive en termes de surface et de recouvrement que subissent les nappes alfatières de Hassi El Frid et plus largement les steppes tunisiennes et ce depuis des décennies.

Plusieurs raisons expliquent les agressions subies par les nappes alfatières dans cette région. Le facteur prépondérant demeure l'activité anthropique exercée par les habitants de la région qui peut avoir diverses explications (appropriation foncière, diversification des sources de revenu par l'introduction de l'agriculture et surtout l'oléiculture,...). En effet, dans les espaces occupés initialement par l'alfa en 2000, estimés à environ 43 Mille ha, 765 ha ont été substitué par l'olivier, 487 ha par les grandes cultures et 102 ha par le cactus (tableau1). Elle est aussi expliquée par l'absence d'une politique claire de gestion rationnelle de cette ressource aux intérêts incontestables aux niveaux social, économique et environnemental. Les Procès-Verbaux d'aménagement des steppes sont dépassés depuis au moins une vingtaine d'années et leur actualisation constitue toujours un défi pour les gestionnaires.

Tableau 1. Superficie des classes d'affectation des sols qui ont substitué l'alfa.

Classes d'Occupation des Sols	Superficie (ha)
Oliviers	765
Grandes Cultures	487
Cactus	102

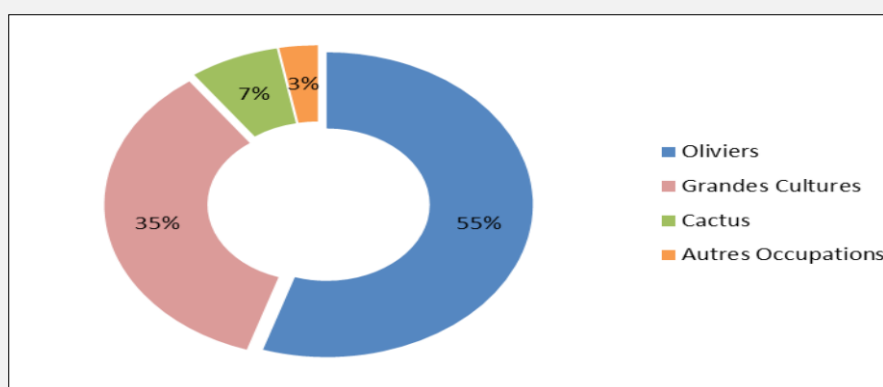


Figure 7. Les classes d'affectation des sols qui ont substitué l'alfa.

Par ailleurs, les variabilités climatiques et en particulier les sécheresses prolongées constatées ces dernières années ne sont que des facteurs amplificateurs du phénomène comme l'a montré l'étude FAO-GIZ de 2012.

7. Conclusion

Les nappes alfatières jouent un rôle socio-économique primordial. Ecologiquement, elles participent d'une manière efficiente au maintien de l'équilibre de l'écosystème local et à la lutte contre la désertification dans les zones arides et présahariennes. Socialement, elles constituent une source d'emploi et d'amélioration des conditions vitales de la population des régions où elles se développent. A travers la présente étude, nous avons mis en évidence la cadence alarmante de la dégradation des nappes alfatières en Tunisie. Un pays qui était décrit comme alfatier au cours du XIX^{ème} siècle et qui a vu disparaître plus d'un million d'ha d'alfa sur un siècle. Les surfaces reprises aux nappes d'alfa souvent le plus souvent affectées à l'agriculture et en particulier l'oléiculture. Le facteur anthropique est incontestablement le facteur prépondérant qui explique cette dynamique régressive continue et de plus en plus rapide touchant des espaces aux accès difficiles qui, jusque récemment, ont été épargnés tels que les glacis et les terrains à topographie accidentée. Aussi les mutations des systèmes agricoles et de l'élevage dans ces régions marqués par l'introduction d'un élevage bovin laitier a fait de l'alfa un aliment d'encombrement pour le bétail augmentation ainsi sa valeur économique et exerçant ainsi une pression supplémentaire sur cette ressources déjà fragile. Ainsi, l'industrie de la pâte à papier dans la région se trouve compromise et des problèmes sociaux et économiques se profilent à des horizons assez proches rendant les populations aux moyens financiers limités qui vivent en partie de la vente de l'alfa encore plus vulnérables.

Par ailleurs, de part sa simplicité et la gratuité des données et autres logiciels employés pour sa mise en œuvre, la méthodologie développée dans le cadre de ce travail serait de grande utilité pour les gestionnaires locaux qui n'ont pas une grande connaissance des outils de Télédétection ou Systèmes d'Information Géographique mais qui souhaitent profiter de ce progrès technologique pour moderniser leurs approches de travail et pouvoir suivre la dynamique de cette ressource à une fréquence plus soutenue.

Une combinaison entre le traitement d'image Landsat 8, datant du mois d'octobre 2015 pour une classification semi-automatique et pour le calcul des indices NDVI et MSAVI suivi d'une interprétation visuelle des images de Google Earth et le report des changements de l'occupation du sol par QGIS serait une approche pratique pour accumuler une connaissance sur l'état de nos écosystèmes naturels. Pour le cas de notre zone d'étude Hassi El Frid, gouvernorat de Kasserine, nous avons observé que 55% des terrains alfatières détruits ont été réaffectés à l'oléiculture.

8. Références

- Abourida A. (2007)** Approche hydrogéologique de la nappe de Haouz (Maroc) par télédétection, isotopie, SIG et modélisation, Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Semlalia Marrakech. p144
- Baldy CH. (1965)** Climatologie de la Tunisie Centrale. FAO/UNDP.
- Boudy P. (1952)** Guide du forestier en Afrique du Nord. La maison rustique. Ed. Paris.
- DGF (1973)** Aménagement des Nappes Alfatières de Kasserine. p180
- DGF (2010)** Résultats du deuxième Inventaire Forestier et Pastoral National. p180
- DGF et IUCN(2012)** Caractérisation écologique, socioéconomique et d'utilisation des nappes alfatières, et élaboration participative d'un plan de gestion pour les nappes alfatières. Site pilote GrouaaEjjedra
- DGF et GIZ(2014)** Etude sur la valeur économique des nappes alfatières et les coûts de leur dégradation.
- General Directorate of Forests (DGF) and World Bank Group, 2015:** Towards a Sustainable Management of Forest and Rangeland Ecosystems in Tunisia: Analysis of Benefits and Costs of the Degradation of Forests and Rangelands. 85 p.
- Errebei L. (2004)** Contribution à la typologie des nappes alfatières dans la région de Kasserine et essais de multiplication. PFE, INAT. p 67.
- Errebei L. (2006)** Production et exploitation rationnelle de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) dans de différentes nappes alfatières en Tunisie. Mémoire de Master, INAT. p80
- FAO (2016)** Trees, forests and land use in drylands: The first global assessment. p40.

- Ghrab S.(1981)** Etude de la variabilité éco-phénologique de l'alfa en Tunisie centrale. Application en vue de la sauvegarde et l'amélioration des nappes alfatières. Thèse doctorat. Fac. Sci. Et tech. St Jerome. 135p.
- GIZ (2012)** : Vulnérabilité de l'écosystème alfatier face au Changement Climatique.
- Ghobtane A., 2008.** Etude de la dynamique des nappes alfatières de Kasserine et caractérisation éco-physiologique de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. INAT. 289p.
- Huete, A.R. (1988)** A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, vol. 25, issue 3, 295-309.
- Institut national de la statistique INS(2014)** Recensement de 2014.
- Léopold B. (1887)** A travers la Tunisie : Etudes sur les oasis, les dunes, les forêts, la flore et la géologie. Edition J. Rotschild, Paris. p228
- Le Houérou H.N. (1959)** Ecological and Floristic Researches on the Vegetation of the Southern Tunisia. Institute of Research on the Sahara, Algeria.
- Le Houerou H.N (1969)** La végétation de la Tunisie steppique. Ann. Inst. Agron.Tunisie 42 (5). 238-241.
- Le Houérou N. (1980)** forêt méditerranéenne, t. II, n^o2, 1 980.155-174.
- Long G. (1954)** Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie centrale Ann. Serv. Bot. Agron. Tunisie. Vol.27.
- Marion J. (1966)** L'alfa en Tunisie, ses problèmes. Rapport Technique.FAO.
- McQuarrie G. (1995)** European influence and tribal society in Tunisia during the nineteenth century: the origins and impact of the trade in esparto grass 1870-1940., Durham Theses, Durham University.
- Mechmech M.(2016)** Apport de la télédétection et de la modélisation à l'estimation des eaux pompés réellement au niveau des nappes pour l'irrigation : cas des nappes de Mannouba.
- Mohamed CH. (1993)** Exploitation de l'Alfa en Tunisie, Biologie, Aménagement et Exploitation. Rapport Technique. p14.
- Paul L. (1912)** Dictionnaire illustré de la Tunisie. Edition C Saliba Ainé. p468.
- Pons, A., &Quézel, P. (1985)** The history of the flora and vegetation and past and present human disturbance in the mediterranean region. 25-43 in: Gomez-Campo C. (ed.), Plant conservation in the Mediterranean area. - Geobotany 7.
- Rouse J.W, Haas R.H., Schell J.A &Deering D.W. (1974)** Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.
- S. SELMI, T., ALOUI, M., HELAL. S.(2005)** L'alfa industriel dans la région du centre-ouest de la Tunisie: pilier principal d'allègement de la pauvreté en milieu rural New Medit N°3.52-56
- SNCPA(2012)** <http://www.sncpa.com.tn/societe.php>
- Thomas R. (1856)** Letters patent to Thomas Routledge dated 30th January, 1856 for improvements in invention of the manufacture of half-stuff and paper and sealed 31st July, 1856.
- Qi J., Kerr Y., Chehbouni A.(1994)**External factor consideration in vegetation index development. Proc. of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, ISPRS, 723-730.
- Quézel P., et Médail F.(2003)** Que faut-il entendre par "forêts méditerranéennes"? Forêt Méditerranéenne, t. XXIV, n° 1, mars 2003. PP 11-31.
- USGS (2015)** <https://www.usgs.gov/>