

VARIATION ET VARIABILITÉ DE LA DYNAMIQUE DE LA VÉGÉTATION AU NORD DE LA TUNISIE

FEKI M.

Université de Kairouan, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines. 3100 Rakkada, Kairouan Tunisie. U.R «GREVACHOT» [m_feki@hotmail.com]

Résumé - La présente étude porte sur l'analyse de la variabilité de la dynamique végétative au nord de la Tunisie à partir des « phenologic metrics » des NDVI. Après la détermination de la pleine période de croissance végétative, la dynamique de la végétation est appréhendée par le test de Mann Kendall et le test de corrélation linéaire. Cette démarche a permis de dissocier les groupements végétaux pour lesquels on a mesuré un changement significatif de leur biomasse de ceux ne présentant aucun changement significatif.

Mots-clés : NDVI, tendance, végétation, Tunisie.

Abstract - *Variation and variability of vegetation-dynamic in the North of Tunisia.* This paper aims to study variability of vegetation dynamic, from NDVI phenologic metrics. After determining the full period of vegetative growth, the dynamics of the vegetation was apprehended by the Mann Kendall and the linear correlation test, which separate plant communities with significant change in their biomasses from those with no significant changes.

Keywords: NDVI, Trend, vegetation, Tunisia.

Introduction

La végétation au nord de la Tunisie se caractérise par une succession de formations végétales observables à différentes échelles de temps et d'espace. La dynamique identifiée affecte la structure de la végétation, sa composition floristique et son fonctionnement. Cette dynamique peut être progressive, régressive ou stable (Jaquin, 2010). Elle s'appuie sur les paramètres biophysiques de la végétation, estimés à partir des données de télédétection en utilisant combinaisons linéaires des valeurs de réflectance dans les bandes spectrales du Rouge (R) et Proche Infrarouge (PIR). L'indice de végétation NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Rouse *et al.* 1974) est le plus utilisé pour étudier les couverts végétaux. Il traduit l'activité photosynthétique de la plante, étroitement corrélée à la biomasse et au taux de recouvrement de la végétation (Paruelo *et al.*, 1997). C'est un bon indicateur de l'activité végétative, sensible aux variations spatiales et temporelles des conditions phénologiques du couvert végétal (Huete *et al.* 2002).

Le cadre géographique, objet de cette étude, est le nord de la Tunisie (figure 1) dont le climat méditerranéen est de nuance humide, subhumide et semi-humide (Hénia, 2008). Les précipitations annuelles y varient entre 500mm/an et 1500mm. Cette entité géographique regroupe trois ensembles distincts :

- Le Tell nord-occidental, renfermant les massifs forestiers de la Kroumirie et des Mogods qui dominent une côte souvent rocheuse. Les collines des Amdoun se trouvent au Sud-est de la Kroumirie et celles de Hdhil-Bjéoua au sud des Mogods ;
- Les plaines et les plateaux de la moyenne vallée de Medjerda dont l'altitude moyenne varie entre 140 et 200m ;
- La côte et les plaines (littorales et intérieures) de la région de Bizerte.

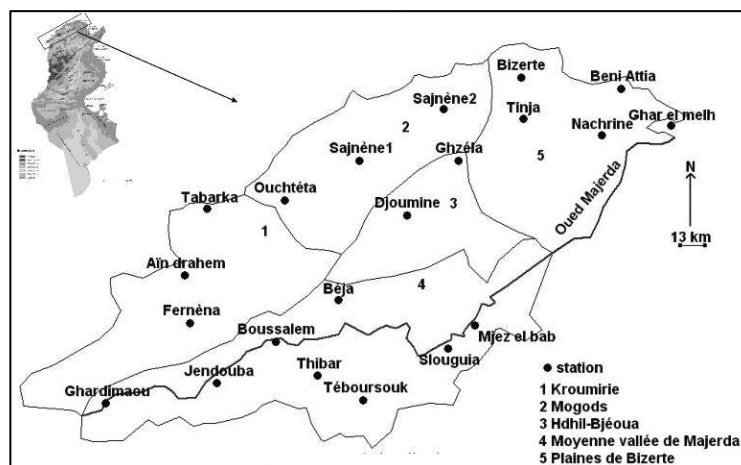


Figure 1. Localisation de la région étudiée.

1. Données et méthodes

1.1. Données

La dynamique de la végétation a été étudiée par l'imagerie satellitaire MODIS TERRA, avec une résolution de 250m entre septembre 2000 et juin 2010. Les images ont été téléchargées à partir du site [http : //edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/](http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/), sous forme de synthèses réalisées tous les 16 jours. Chaque pixel de 250 m contient les valeurs de réflectance dans les bandes 1, 2, 3 et 7 et les valeurs pour les deux indices de végétation NDVI et EVI. Nous nous sommes arrêtés à l'année 2010 car le couvert végétal a subi une grande dégradation (découpages, défrichements, incendies...) à la suite des événements de janvier 2011.

Les données de végétation proviennent de la carte de l'inventaire forestier national et pastoral (Ministère de l'agriculture 2003) qui couvre les gouvernorats de Jendouba, de Béja et de Bizerte.

1.2. Méthodes

L'étude de la dynamique du cycle végétatif de la Tunisie septentrionale est basée sur l'analyse des variations intra et inter annuelles de NDVI, mesurées à partir d'une série temporelle d'images MODIS. Nous faisons l'hypothèse que les évolutions recherchées (régressive, progressive ou stable) se traduisent par un changement (ou pas) mesurable sur le profil temporel du NDVI des groupements végétaux étudiés.

Dans un premier temps, l'outil "Modis Reprojection Tool" (MRT) a permis l'extraction, le découpage de la fenêtre spatiale et la correction géométrique des images de NDVI. La carte de végétation (IFNP) a été superposée sous Idrisi avec une grille de maille régulière (250m*250m), pour déterminer le nombre de polygones de chaque groupement de végétation. Nous avons éliminé, pour tous les groupements, chaque polygone ayant une surface inférieure à 60.000m². En somme, nous avons conservé la nomenclature de l'IFNP et 18 groupements (10 forêts, 8 matorrals) ont été étudiés pour réaliser ce travail (tableau 1).

Tableau 1. Les groupements de végétation au nord de la Tunisie (Source : IFNP, 2003)

forêts		matorrals	
Groupements	Nombre de polygones	Groupements	Nombre de polygones
Zénaie (chêne zeen)	749	chênes liège	1694
Mixtes (chênes zeen et chênes liège)	2752	Chênes kermès	624
Subéraie (chênes liège)	5461	eucalyptus	52
Pinède maritime	355	Pin d'Alep	151
Eucalyptus	1950	Non arboré	6139
Pin d'Alep	2071	Feuillis divers	846
Feuillis divers	893	Feuillis prépondérants	2033
Feuillis prépondérants	586	Résineux	665
Résineux	665		
Résineux prépondérants	817		

Dans un deuxième temps, nous avons établi des profils annuels moyens de NDVI (de septembre 2000 à août 2010, soit 10 années hydrologiques) des groupements végétaux localisés au nord de la Tunisie. L'extraction des valeurs de NDVI est réalisée sous Idrisi, en superposant les images MODIS et la carte de l'inventaire forestier national et pastoral (Ministère de l'Agriculture, 2003). Ces profils se caractérisent par des variations saisonnières du NDVI très importantes (Feki 2013), avec un décalage temporel des phases de développement de la végétation.

Dans un troisième temps, nous avons utilisé un indicateur phénologique ("phenologic metrics") qui traduit l'activité végétale au cours d'une période du cycle de la végétation pour analyser les variations inter annuelles (figure 2 ; Reed B.C. 2006). Cet indicateur consiste à faire la somme des NDVI (*SumNDVI*) mesurés entre la date de démarrage de la phase de croissance et la date à laquelle le maximum d'activité photosynthétique est atteint.

L'indicateur phénologique *sumNDVI* est bien adapté aux couverts végétaux possédant des profils annuels bien définis, très similaires et des phases stables d'une année sur l'autre (Jaquin, 2010). En revanche, il est difficile de l'appliquer au nord de la Tunisie, où l'activité végétale des groupements étudiés est perturbée par l'effet de facteurs environnementaux (variabilité des pluies et pression anthropique) se traduisant par une importante variabilité spatiotemporelle des valeurs de NDVI. C'est pour cette raison que nous proposons d'utiliser, dans ce travail, deux classifications ascendantes hiérarchiques (CAH) afin d'identifier les «phenologic metrics» de chaque groupement. La première CHA a été appliquée sur une matrice ayant 18 variables (les groupements végétaux) et 23 observations (NDVI moyens de septembre 2000 à août 2010). Quant à la seconde, elle a été appliquée sur 18 variables (les groupements végétaux) et 230 observations (NDVI moyens de septembre 2000 à août 2010).

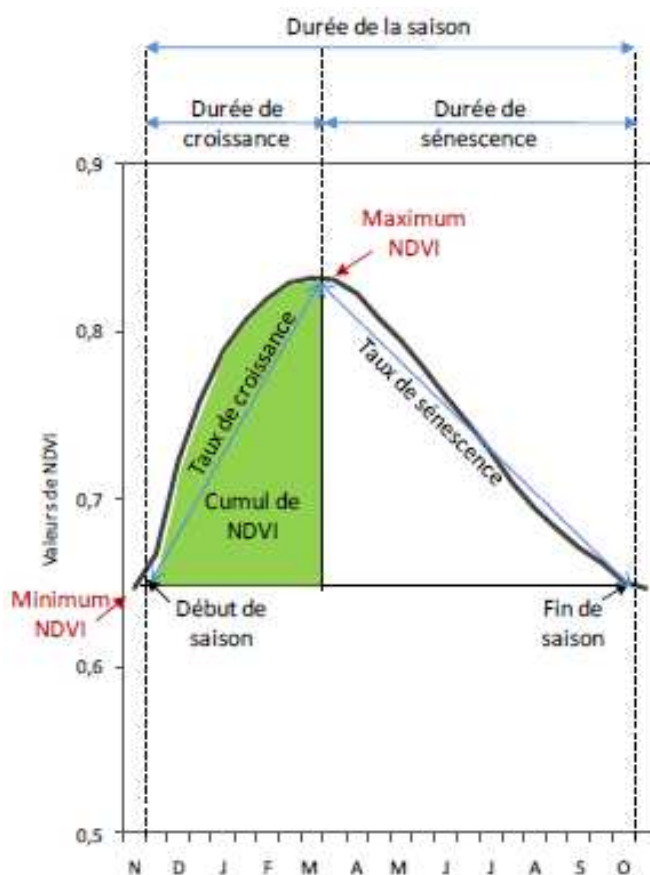


Figure 2. Profil annuel de NDVI d'une végétation et «phenologic metrics» (Jaquin, 2010)

Les changements de l'indicateur phénologique *SumNDVI* sont caractérisés à travers l'étude de la tendance de la série temporelle de cet indicateur par le test de Man Kendall et modélisés par une régression linéaire du type $ax + b$. La valeur de la pente (a_n) est comparée à celle (a_0) d'une tendance nulle, en utilisant le test de Student (intervalle de confiance 95%). Ainsi nous avons pu dissocier les pixels pour lesquels on a mesuré un changement significatif de l'activité végétale de ceux ne présentant aucun changement significatif.

2. Résultats

2.1. Rappel de la dynamique végétative

L'activité végétative au nord de la Tunisie est très dépendante de la biomasse et des conditions climatiques (FEKI, 2013). Elle est marquée par l'absence d'une "hibernation" végétative hivernale en raison de la douceur des températures et de l'abondance de l'eau (réserves pleines), ce qui maintient les NDVI à un niveau élevé, supérieur à 0,5 et/ou 0,6, selon les groupements. Les profils annuels permettent de distinguer trois cycles végétatifs selon la date de maximum NDVI (figure 3) :

- Un cycle marqué par une période de croissance végétative au printemps (entre mi-mars et fin mai) et une autre période en automne (entre octobre et novembre). Ce cycle concerne la zénaie et les forêts mixtes.
- Un cycle végétatif présentant une période de croissance entre mi-octobre et mi-décembre. Il concerne la subéraie et la pinède maritime.
- Un cycle ayant une courte période de croissance végétative qui s'observe de la mi-novembre à la mi-janvier. Il s'agit des forêts de pin d'Alep et des eucalyptus, et les matorrals.

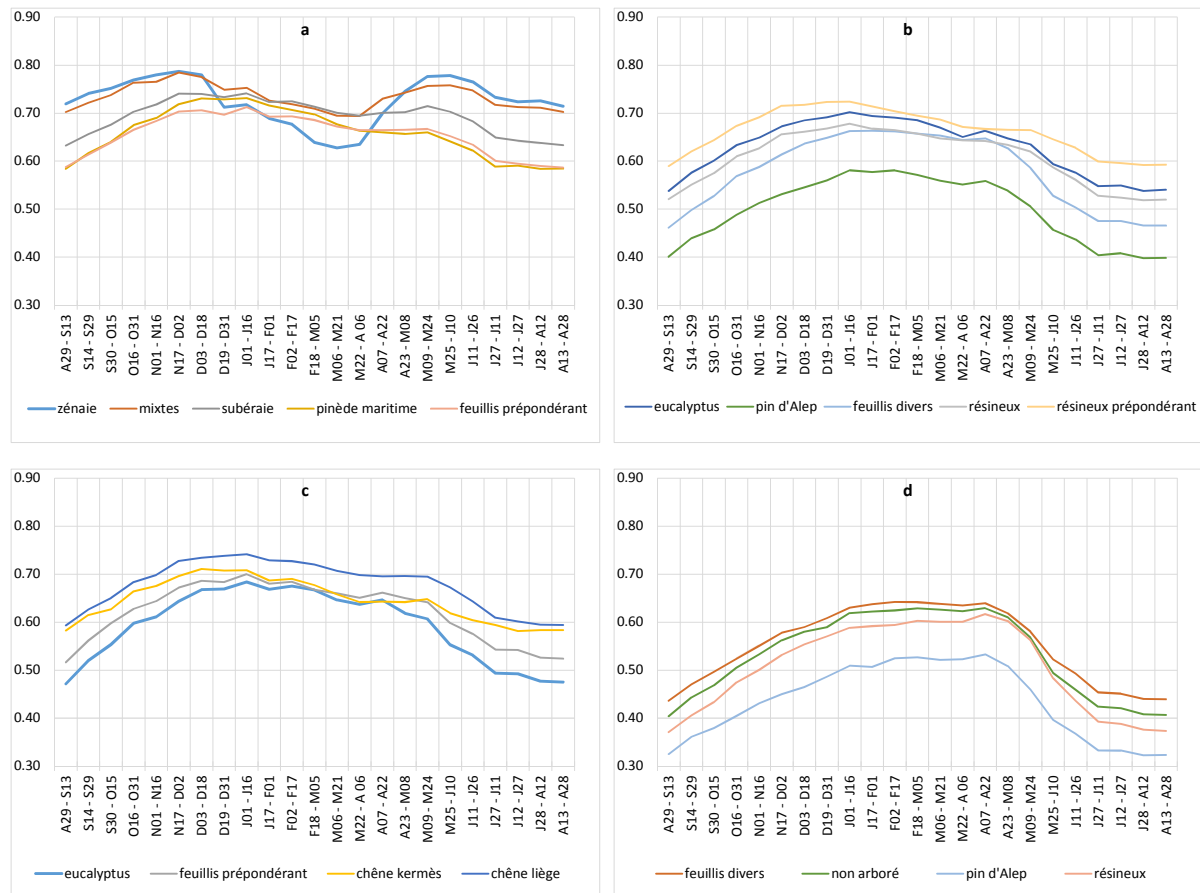


Figure 3. profils annuels moyens de NDVI entre 2001 et 2010 (a, b: les forêts ; c, d: les matorrals ; Feki 2013)

2.2. Détermination de l'indicateur phénologique *Sum NDVI*

Les profils annuels de NDVI des 18 groupements végétaux présentent une grande variabilité interannuelle, avec un décalage temporel des phases de développement de la végétation, notamment au printemps et des minima et maxima de valeurs de NDVI différents (Feki, 2013). Nous avons alors appliqué une CHA sur les NDVI moyens (2000-2001/2009-2010), avec la méthode de Ward comme critère d'agrégation. Le résultat obtenu (tableau 2) met en relief l'existence de 3 classes ; l'indicateur phénologique *sumNDVI* peut être mesuré entre la deuxième synthèse MODIS d'octobre et la dernière synthèse MODIS de mai soit 14 synthèses (classes 2 et 3).

Cette période fixe a été validée par une 2^{ème} CHA (méthode de Ward) effectuée sur une matrice de 18 variables (les groupements de végétation) et de 230 variables (NDVI moyens). En fait, nous avons obtenu le même résultat (3 classes) et un regroupement des 14 synthèses dans les classes 2 et 3. L'indicateur phénologique *sumNDVI* est calculé par groupement (NDVI moyen) chaque année pendant la période de croissance (du 16 octobre au 8 mai). Cette méthode a permis de réaliser, dans un premier temps, des séries temporelles (de 2000-2001 à 2009-2010) et d'étudier, dans un second temps, la dynamique de la végétation.

Tableau 2. Définition des périodes d'évolution de l'indicateur phénologique *sumNDVI*

Classe	Période	Interprétation phénologique
1	Du 25 mai au 15 octobre	Minimum de NDVI : stress hydrique estival
2	Du 16 octobre au 18 décembre	Maximum de NDVI : Niveau maximum de l'activité photosynthétique, pleine période de croissance végétative
	Du 9 au 24 mai	
3	Du 19 décembre au 5 mars	Baisse des NDVI : ralentissement de l'activité photosynthétique avec le froid hivernal
	Du 6 mars au 8 mai	Hausse des NDVI : reprise de l'activité végétative au printemps

2.3. Dynamique de l'indicateur phénologique *Sum NDVI*

Le test de Mann-Kendall, appliqué sur les valeurs annuelles de l'indicateur phénologique *sumNDVI* pour la période 2000-2001/2009-2010, a permis d'identifier les groupements pour lesquels on mesure un changement significatif de l'activité végétale de ceux ne présentant pas de changement significatif. D'après le tableau 3, on observe 2 classes :

- La première englobe la subéraie, les feuillus (divers et prépondérants), la pinède maritime et les résineux (divers et prépondérants). Elle comprend également les matorrals aux chênes liège, aux chênes kermès, non arboré et à base de feuillus (divers et prépondérants). Tous ces groupements présentent une tendance significative positive, caractérisée par une augmentation de l'activité végétale et de la biomasse verte produite (NDVI) pendant la phase de croissance.

-La seconde concerne les autres groupements ne présentant aucune tendance, c'est-à-dire une évolution stable et un maintien de NDVI tout au long du cycle phénologique.

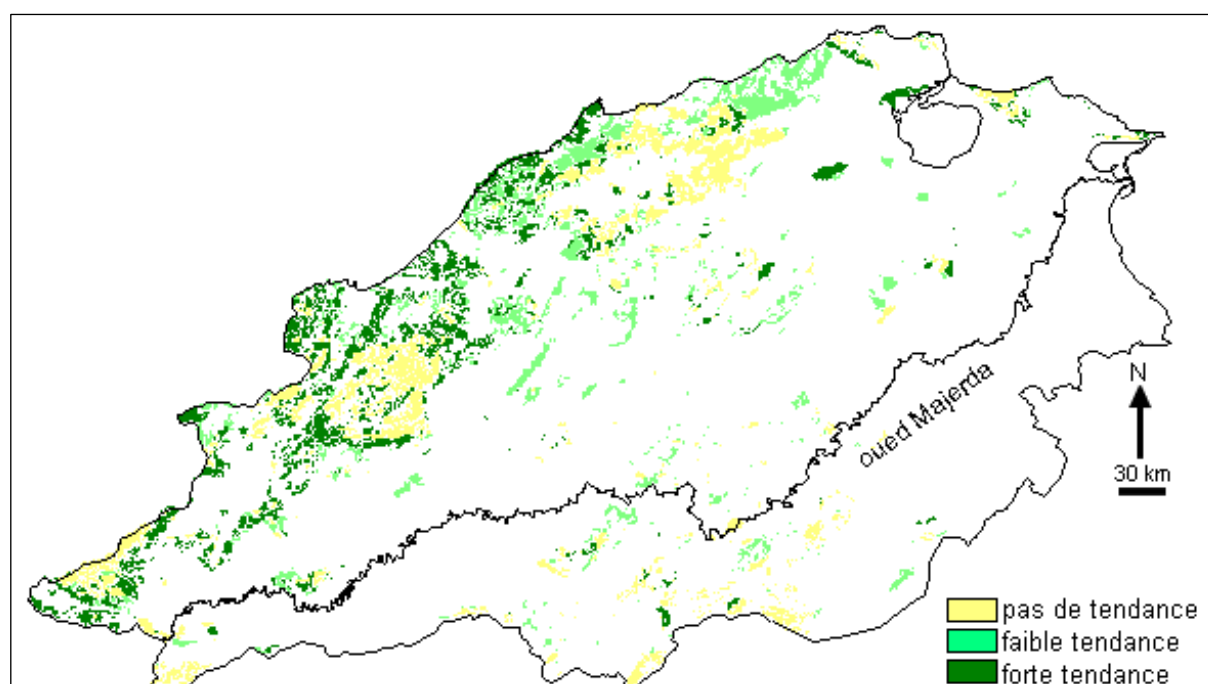
Tableau 3. Dynamique de la végétation selon le test de Mann-Kendall (N.B. la tendance significative est en gris)

Forêts	Taux de Kendall	S	p-value bilatérale	Matorrals	Taux de Kendall	S	p-value bilatérale
zénaie	0.0222	1.0000	1.0000	eucalyptus	0.3333	15.0000	0.2164
subéraie	0.5111	23.0000	0.0466	feuillus divers	0.5556	25.0000	0.0286
feuillus divers	0.6444	29.0000	0.0091	feuillus prépondérant	0.5556	25.0000	0.0286
eucalyptus	0.3333	15.0000	0.2164	chêne kermès	0.64444	29.0000	0.0091
feuillus prépondérant	0.8222	37.0000	0.0004	chêne liège	0.6000	27.0000	0.0167
mixte	0.3333	15.0000	0.2164	non arboré	0.6000	27.0000	0.0167
pins d'Alep	0.0222	1.0000	1.0000	pin d'Alep	-0.0222	-1.0000	1.0000
pinède maritime	0.6444	29.0000	0.0091	résineux	0.4222	19.0000	0.1083
résineux	0.5556	25.0000	0.0286				
résineux prépondérants	0.6889	31.0000	0.0047				

Les séries annuelles de l'indicateur phénologique *sumNDVI* pour la période 2000-2001/2009-2010 sont ajustées par des régressions linéaires ($y = ax + b$) pour vérifier quels groupements de végétation ont connu des croissances significatives ($R^2 > 50\%$) de leur biomasse. Les résultats obtenus montrent que la subéraie, la pinède maritime, les forêts feuillus (divers et prépondérants) et celles des résineux (divers et prépondérants) présentent des tendances significatives. Il en est de même pour les matorrals aux feuillus prépondérants et de chênes kermès. En revanche, les matorrals non arborés et de chêne liège sont caractérisés

par une faible hausse de leur biomasse ($R^2 < 50\%$). D'après la figure 4, les groupements localisés dans les basses altitudes de la Kroumirie (inférieure à 500m) et sur le littoral de Tabarka à Cap Serrat, montrent un accroissement important de leur biomasse. Ceux situés à l'Est et au Sud de la chaîne des Mogods et tout le long de la vallée de la Medjerda, présentent une faible dynamique. Cette dernière est stable en Kroumirie (zénaie et mixtes), au-delà de 500m d'altitude, dans les Mogods (reboisement d'eucalyptus) et au Sud de la vallée de la Medjerda.

Les surfaces, caractérisées par une forte croissance de l'activité végétale entre 2000-2001 et 2009-2010, représentent 36% de la surface forestière (figure 4). Elles sont réparties "équitablement" entre la subéraie (53%) et les autres groupements (pin maritime, pin pignon et chêne kermès 47%). Par contre, celles marquées par une faible croissance, n'occupent que 27% de la dite surface. Elles concernent le matorral non arboré (78%) et celui à chêne liège (22%). Les autres groupements ayant un maintien de l'activité végétale représentent 37% de la surface forestière.



Conclusion

Les deux classifications hiérarchiques ascendantes (CHA), appliquées aux NDVI moyens entre 2000/2001 et 2009/2010, ont permis d'identifier les "phenologic metrics" (3 classes) de la végétation au nord de la Tunisie. Elles ont permis, en effet, de déterminer une période fixe de croissance végétative qui s'étend entre la mi-automne et la fin du printemps. Le test de Mann-Kendall et les régressions linéaires montrent une évolution progressive importante de la biomasse végétale pendant la saison végétative en Kroumirie (subéraie < 500m) et sur le littoral entre Tabarka et Cap Serrat (pin maritime, pin pignon et chêne kermès). Cette évolution est significative, mais faible à l'est et au sud des Mogods et tout au long de la vallée de la Medjerda où se localisent le matorral à chêne liège et celui non arboré. En revanche, elle est stable en Kroumirie au-delà de 500m d'altitude (zénaie et mixte) et dans les Mogods (eucalyptus).

Bibliographie

- Feki M., 2013 : Variabilité spatiotemporelle de l'activité végétative au nord de la Tunisie. *Actes du 26^{ème} colloque de l'AIC, Cotonou*, 236-241.
- Hénia L., (Sous la direction de) 2008 : *Atlas de l'eau en Tunisie*. Publications de l'Université de Tunis, 186p.
- Huete A.R., Didan K., Miura T., Rodriguez E. P., Gao X., & Ferreira L.G., 2002 : Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, **83**, 195–213.
- Jaquin A., 2010 : *Dynamique de la végétation des savanes en lien avec l'usage des feux à Madagascar. Analyse par série temporelle d'images de télédétection*. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 141p.
- Ministère de l'agriculture, 2003 : *Résultats du 2^{ème} inventaire forestier national en Tunisie*. 88p.
- Paruelo J.M., Epstein H.E., Lauenroth W.K., Burke I.C., 1997 : ANPP estimated from NDVI for the central grassland region of the United States. *Ecology*, **78**, 953-958.
- Reed B.C., 2006 : Trend analysis of time-series phenology of North America derived from satellite data. *GIScience and Remote Sensing (Special issue on Multi-Temporal Imagery Analysis)*, **43**, 24-38.
- Reed B.C., Brown J.F., Van der Zee D., Loveland T.R., Merchant J.W., & Ohlen D.O., 1994 : Measuring Phenological Variability from Satellite Imagery. *Journal of Vegetation Science*, **5**, 703-714.
- Rouse J.W., Haas R.H., Deering D.W., Schell J.A., Harlan J.C., 1974 : Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. In NASA (Ed.), *Type III Final Report*. Greenbelt, MD: NASA/GSFC.