



# Synergie des données LANDSAT et MSG pour une cartographie de la végétation sur le littoral ouest-Africain

Julien Andrieu, Catherine Mering

## ► To cite this version:

Julien Andrieu, Catherine Mering. Synergie des données LANDSAT et MSG pour une cartographie de la végétation sur le littoral ouest-Africain. Satellites Grand Champ pour le suivi de l'environnement, des ressources naturelles et des risques, Jan 2010, Clermont-Ferrand, France. <hal-01292401>

**HAL Id: hal-01292401**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01292401>**

Submitted on 23 Mar 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Synergie des données LANDSAT et MSG pour une cartographie de la végétation sur le littoral ouest-Africain

Julien ANDRIEU, Catherine MERING

Université Paris Diderot – Paris7, UMR 8586 PRODIG,

## Résumé

On présente ici une méthode originale d'exploitation conjointe d'une série temporelle de NDVI MSG et d'une mosaïque d'images LANDSAT pour la cartographie des formations végétales du littoral ouest-africain. La carte issue de ces traitements permet d'identifier les rythmes phénologiques qui sont liés à la zonation climatique latitudinale depuis le domaine sahélien jusqu'au domaine guinéen. La cartographie des rythmes phénologiques ainsi effectuée permet en outre de distinguer les secteurs forestiers des secteurs agricoles.

**Mots Clés :** Série temporelles, NDVI, MSG, Cartographie de la végétation

## Abstract

*A new method of west-African coastal zone vegetation mapping, combining NDVI MSG time series with LANDSAT scene mosaic is presented here. The map of phenologic rhythms, provided by such methods, lead to the spatial discrimination of climatic zonation. Moreover, it leads to discrimination between forests and crop lands.*

**Keywords :** Time series, NDVI, MSG, Vegetation mapping

## 1. Introduction

La cartographie de la couverture actuelle du sol et de la végétation par analyse d'images LANDSAT a fait l'objet d'un grand nombre de publications dont [Moreau, 2005 ; Tappan *et al*, 2004, Vasconcelos *et al.*, 2004] sur le littoral ouest-africain. De même, les analyses temporelles de séries de NDVI ont récemment été exploitées pour explorer les liens entre végétation et pluviosité [Camberlin, 2007 ; Hermann, 2005 ; Li et Katafos, 2000 ; Li *et al*, 2004 ; Funk et Brown, 2006]. La méthode d'exploitation des images satellites présentée ici est basée sur une synergie entre ces deux approches. Les objectifs sont d'une part, l'amélioration de la cartographie de la végétation aux petites échelles et d'autre part, un examen des liens entre le fonctionnement de la végétation et sa physiologie. La cartographie des zones boisées a été obtenue par classifications multispectrales des scènes LANDSAT couvrant la zone d'étude (Andrieu et Mering, 2009). En leur sein, une classification des densités a elle aussi été obtenue par classification multispectrale.

Par ailleurs, compte tenu du lien étroit entre l'activité chlorophyllienne des formations de terre ferme et les volumes de pluie au sein d'une même saison qui a été établi par [Camberlin *et al*. 2007], nous avons entrepris de définir des types de rythmes phénologiques à partir de l'analyse des cycles annuels de NDVI. Ainsi, les séries temporelles de NDVI issues de MSG sont exploitées afin de mettre en évidence les différents rythmes phénologiques saisonniers au sein de la région étudiée [Al-Bakri et Taylor, 2003].

On a pu produire une première carte originale des rythmes phénologiques de la zone d'étude. L'intérêt de cette carte pour les différentes formations végétales de terre ferme et son faible intérêt pour les zones de mangrove nous a incité à se concentrer sur les boisements de terre ferme pour la production d'une deuxième carte des formations boisées de terre ferme prenant en compte les rythmes biologiques et la densité forestière. Cette deuxième carte appliquée aux espaces boisés pourrait être reproduite aux espaces agricoles.

## 2. Zone d'étude

La zone d'étude s'étend de 11°N au niveau du Rio Geba en Guinée-Bissau jusqu'à 15°N incluant le delta du Sine-Saloum. La frange littorale est définie de 15°W avec la limite du continent dans le nord de la zone d'étude jusqu'à 17° W limite amont des mangroves sur le Rio Cacheu et le Rio Mansoa. La zone chevauche trois frontières, couvre cinq systèmes estuariens ou deltaïques et peut ainsi être divisée en quatre grandes régions : Le Saloum, l'Ouest gambien, La Basse-Casamance, et le nord bissau-guinéen (figure 1). Un gradient climatique zonal oppose le Nord à la saison des pluies courte (2 à 3 mois) et aux faibles pluviosités (500 à 800 mm) et le sud à la saison des pluies longues (3 à 4 mois) et aux fortes pluviosités (1300-1600 mm).

La végétation de la zone d'étude comprend une première dichotomie entre la végétation de mangrove et la végétation de terre ferme. La végétation de mangrove varie dans l'espace à une échelle très grande en hauteur et en densité en fonction de la hauteur et fréquence d'inondation et de la salinité des eaux. Il s'agit d'une végétation sempervirente dont l'activité chlorophyllienne varie peu durant l'année. La méthode de cartographie ici présentée n'offre pas pour la mangrove de réelle progression par rapport aux techniques existantes.

La végétation de terre ferme varie spatialement le long du gradient climatique depuis les formations végétales soudano-sahéliennes basses et ouvertes et caducifoliées jusqu'aux formations soudano-guinéennes hautes et denses et plutôt sempervirentes. Au sein de ce gradient, la végétation varie localement selon les transformations que les sociétés

ont imposé à la végétation comme par exemple le défrichement total ou partiel de la végétation, ou la mise en place et l'entretien d'une palmeraie, là où spontanément se développe une savane où une forêt sèche.

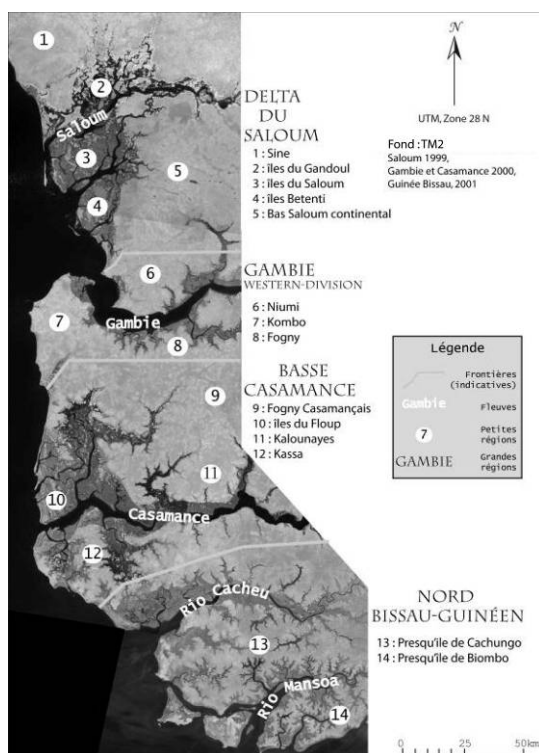


Figure 1 : carte de localisation

### 3. Matériel

Les résultats ici présentés sont produits par le croisement de deux types de cartes, l'une étant issue du traitement d'images du satellite LANDSAT et l'autre du traitement de données du satellite MSG (Météosat Seconde Génération).

#### 3.1. Mosaïque d'images LANDSAT

Cinq scènes LANDSAT sont nécessaires pour couvrir la zone d'étude. Elles sont disponibles pour les dates présentées tableau 1, en téléchargement libre sur le site du GLCF (<http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>). Les images sont géoréférencées, de saisons assez proches pour être comparées, ce qui permet une mosaïque d'assez bonne qualité.

	Path	Row	Date
Delta du Saloum	205	50	04/11/1999
Bassin Arachidier	204	50	30/10/2000
Gambie-Casamance (ouest)	205	51	06/11/2000
Gambie-Casamance (est)	204	51	01/12/2000
Guinée-Bissau	204	52	04/12/2001

Tableau 1 : Présentation des images LANDSAT

#### 3.2. Synthèses de 15 jours de NDVI

Le site du GDR MSG-ATR (<http://msg.univ-paris7.fr/>) offre la possibilité de calcul, en ligne, de synthèses de NDVI en laissant à l'utilisateur le choix des limites de zone et des dates de début et de fin de synthèse. Avec une image toutes les 15 minutes, la synthèse s'effectue par sélection des pixels les plus chauds sur le canal thermique (10.8  $\mu\text{m}$ ) sur les images entre 10h00 et 14h00 des jours sélectionnés. Les images sont de résolution de 3km au nadir. Elles ne sont pas géoréférencées.

Les données sont disponibles de la fin de janvier 2005 à la fin de novembre 2006 avec trois périodes de données manquantes la première quinzaine de mars 2005, les deux derniers mois de 2005 et de la deuxième quinzaine de juin à la première quinzaine d'août 2006.

Grâce à la très haute fréquence de prise de vue, MSG offre une meilleure possibilité d'optimiser l'observation de surfaces sans nuages et semble améliorer la qualité des synthèses journalières [Fensholt, 2007], et des synthèses sur plusieurs jours [Lacaze, 2007].

Pour cette étude, nous avons produit des synthèses bimensuelles (15 jours) du NDVI de MSG issues de la base d'archives du GDR MSG ATR).

## **4. Méthodes**

Il s'agit ici de produire une carte des formations végétales qui combine deux cartes différentes : la carte des rythmes biologiques (issue du traitement des données NDVI de MSG) et la carte des densités forestières (issue du traitement des scènes LANDSAT). L'exploitation des données LANDSAT permet la production d'une carte des densités de boisements (figure 6). [Andrieu, 2008 ; Nagendra et al., 2006] pour alléger et clarifier l'article, ce traitement n'est pas décrit ici.

### **4.1. Analyse des séries temporelles de NDVI issus de MSG**

Pour obtenir une carte des rythmes phénologiques, deux traitements sont réalisés séquentiellement : une Analyse en Composantes Principales (A.C.P.) et une classification.

#### **4.1.1. L'A.C.P. pour l'analyse des séries temporelles**

Pour extraire une information pertinente à partir du volume important de la série temporelle dont on dispose ici (37 images de synthèse de NDVI), nous avons procédé à une A.C.P. sur cette série [Heumann, 2007 ; Li et Katafos, 2000].

Pour interpréter les images correspondant aux premières composantes principales, on utilise l'information statistique issue des traitements. Plus précisément, on se référera aux vecteurs propres liés aux premières composantes et aux coordonnées des individus (pixels) et des variables (les synthèses bimensuelles). Pour caractériser les profils temporels que l'on peut associer aux tendances majeures de ce corpus de données, on sélectionne, sur chaque composante principale, parmi les pixels de coordonnées positives d'une part et négatives d'autre part, les déciles supérieurs de contribution à la formation des facteurs (figure 2). On filtre ainsi les pixels qui contribuent le plus à la formation de la composante principale étudiée. On réalise ensuite le profil temporel du NDVI moyen de chacun de ces classes de pixels.

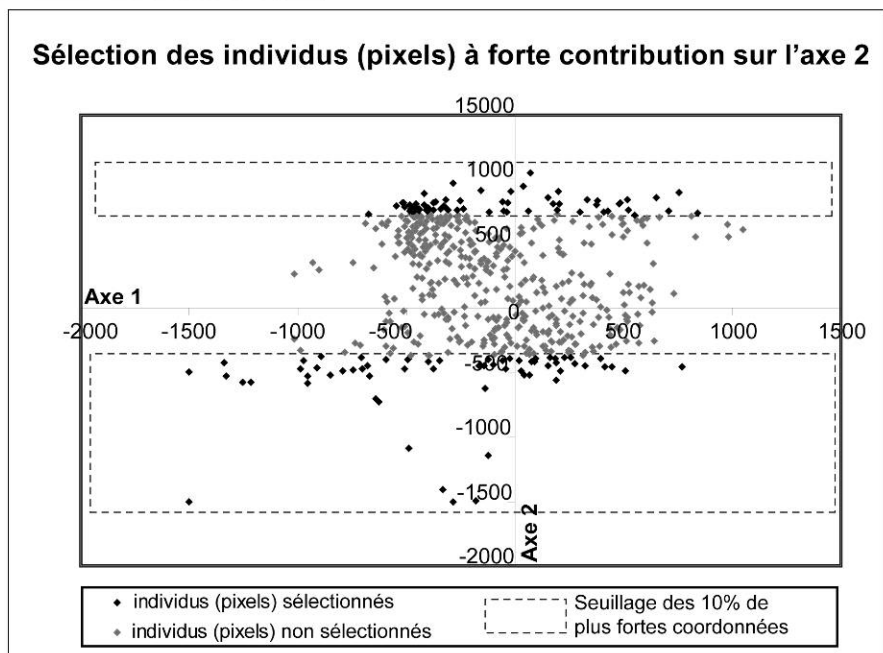
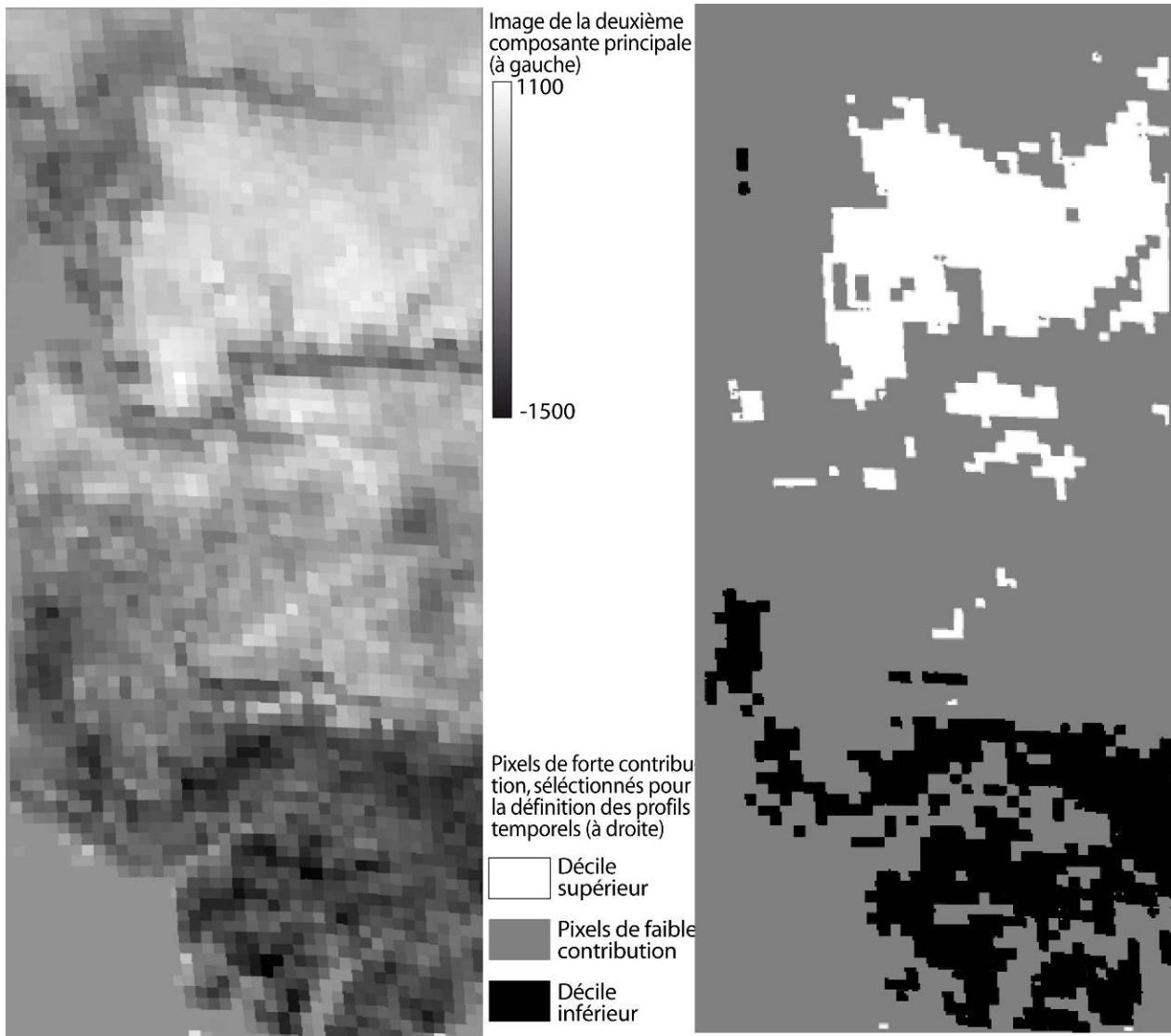


Figure 2 : Sélection des pixels de forte contribution à la deuxième composante. 2a : image de la deuxième composante ; 2b, Pixels sélectionnés ; 2c, représentation des coordonnées des pixels sur le premier plan factoriel.

#### 4.1.2. Carte des rythmes phénologiques

La carte des rythmes phénologiques est produite au moyen d'une classification non dirigée, de l'ensemble des synthèses bimensuelles de NDVI, par l'algorithme des Nuées Dynamiques [Diday, 1973]. Cette carte permet de mettre en évidence des groupes de pixels où la valeur bimensuelle moyenne de NDVI permet de transcrire graphiquement le rythme phénologique propre [Heumann, 2007 ; Pan, 2003].

Pour améliorer la qualité visuelle de cette carte, nous avons procédé à la fusion la carte des rythmes phénologiques avec la mosaïque de scènes LANDSAT [Mering et al. 2005]. Le résultat final est présenté figure 14.

#### 4.2. Croisement de la carte des rythmes phénologiques avec celle des densités de boisements

Pour explorer le lien entre la densité et la phénologie, il a été procédé à un croisement des deux cartes obtenues précédemment : la carte des rythmes phénologiques et celle des densités de boisement.

Les quatre niveaux de densités de boisement (très dense, dense, ouvert, très ouvert) (figure 6) sont combinés aux neuf catégories de rythmes phénologiques résultant de la carte (figure 14), après avoir appliqué un masque aux pixels qui ne correspondent pas aux zones boisées.

### 5. Résultats

#### 5.1. Carte des densités forestières

Sur la carte des densités forestières (figure 3) on constate que les régions aux boisements les plus denses sont les régions centrales, depuis le fleuve Gambie au Rio Cacheu.

Le Delta du Saloum présente des boisements très ouverts, sauf dans les forêts classées aux boisements ouverts ou denses. La Western Division gambienne présente une mosaïque où toutes les physionomies sont représentées. Un assez grand nombre de ces éléments correspondent à des boisements très denses. En Basse-Casamance, les bords de chenaux sont caractérisés par des taches de petite taille qui correspondent à des boisements ouverts. A l'intérieur des terres, on observe des éléments de grande taille correspondant à des boisements denses ou très denses. Le Nord bissau-guinéen est composé d'une mosaïque complexe d'assez petits éléments de tous types de densité. Cette mosaïque présente un gradient de densité des boisements depuis la capitale, Bissau située à l'extrême sud-est de la zone d'étude vers le nord ou l'ouest.

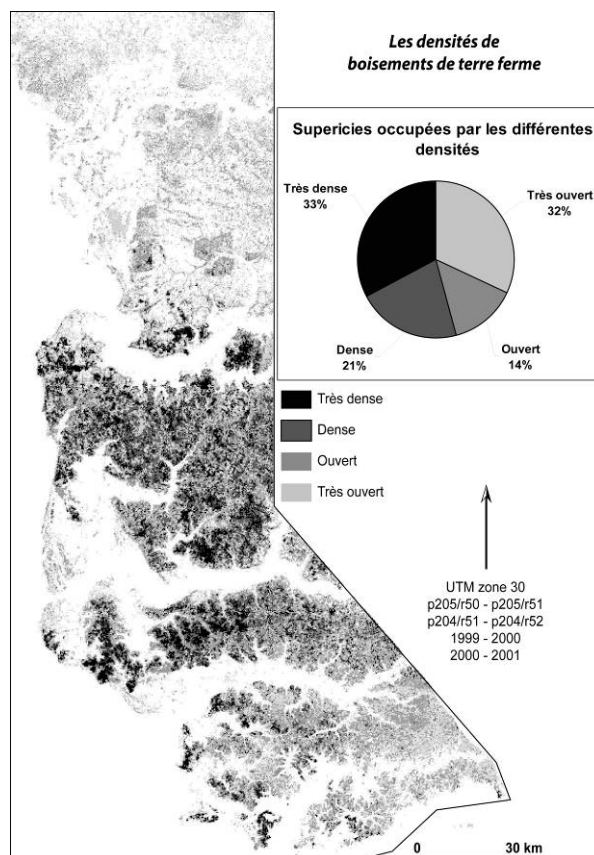


Figure 3 : Carte des densités de boisements

## **5.2. Les rythmes phénologiques sur le littoral ouest-Africain**

Après avoir examiné les tendances majeures des variations des rythmes phénologiques à l'aide de l'A.C.P. sur les séries de NDVI, on procédera à l'analyse de la carte des rythmes phénologiques.

### **5.2.1. Analyse des rythmes biologiques par L'Analyse en Composantes Principales**

L'image issue de la première composante principale (figure 4) fait ressortir le contraste entre les secteurs végétalisés et ceux qui ne le sont pas (l'eau et les vasières non boisées). L'analyse des profils temporels des pixels à forte contribution (figure 5) confirme que les secteurs non végétalisés sont caractérisés par un très faible NDVI tout au long de l'année. En saison sèche, (de fin janvier à début juin) la végétation est caractérisée par un NDVI autour de 0,5. En saison végétative (de fin juin à début janvier) le NDVI présente des maxima voisins de 0,9. Ainsi, le premier axe factoriel permet de discriminer les secteurs végétalisés des secteurs non végétalisés.

L'image issue de la deuxième composante principale (figure 6) oppose les zones végétalisées du nord (en teintes claires sur l'image) de celles du sud et des zones de mangrove (en teintes sombres sur l'image). Les profils temporels associés (figure 7) font ressortir le contraste entre le rythme phénologique des zones septentrionales avec une saison végétative très courte et les secteurs de mangrove et de boisements méridionaux avec une activité végétative importante toute l'année. Ainsi, la deuxième composante principale permet de discriminer les types de végétations caducifoliées du nord (espaces agricoles et savanes septentrionales) de celles sub-sempervirentes (mangroves et palmeraies).

La troisième composante principale (figure 8) met en opposition les secteurs agricoles de la zone d'étude (en sombre sur l'image), avec la partie centrale : le Fogny (Sud Gambie et Nord Casamance), caractérisé par la dominance des savanes forestières (en clair sur l'image). L'analyse des profils temporels associés (figure 9) fait ressortir les différences phénologiques entre les secteurs de savane et les secteurs agricoles, les secteurs de savane connaissant une saison végétative longue avec un début précoce et des NDVI maximaux allant jusqu'à 0,8. Les secteurs agricoles connaissent en revanche une saison courte et assez peu contrastée (maximum de 0,7). La troisième composante principale caractérise donc les formations de savane soudanaises par la longueur et la précocité du début de la saison d'activité chlorophyllienne. Il pourrait s'agir d'un rythme phénologique lié à la combinaison d'un couvert herbacé annuel et d'un couvert arboré important présentant des espèces à la fois sempervirentes et caducifoliées.

L'A.C.P. sur les synthèses bimensuelles de NDVI permet donc de hiérarchiser les contrastes spatio-temporels des rythmes d'activité chlorophyllienne. Tout d'abord, les secteurs non végétalisés sont mis en évidence, ensuite, le sud sub-sempervirent s'oppose au nord caducifolié et enfin les zones agricoles se différencient des secteurs de savane.

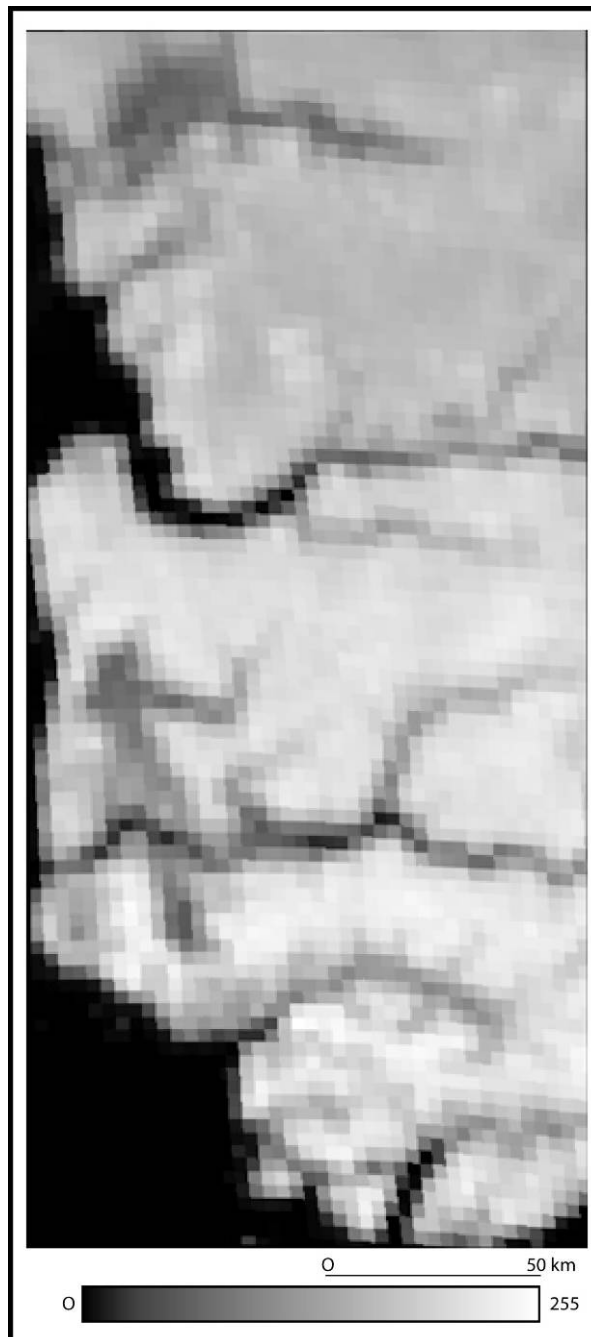


Figure 4 : Premier axe factoriel, aspect spatial

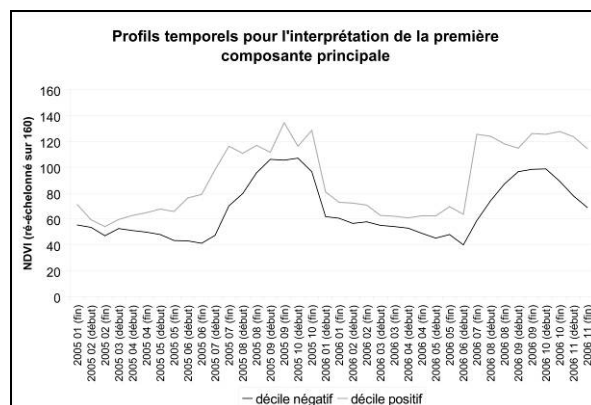


Figure 5 : Premier axe factoriel, aspect temporel



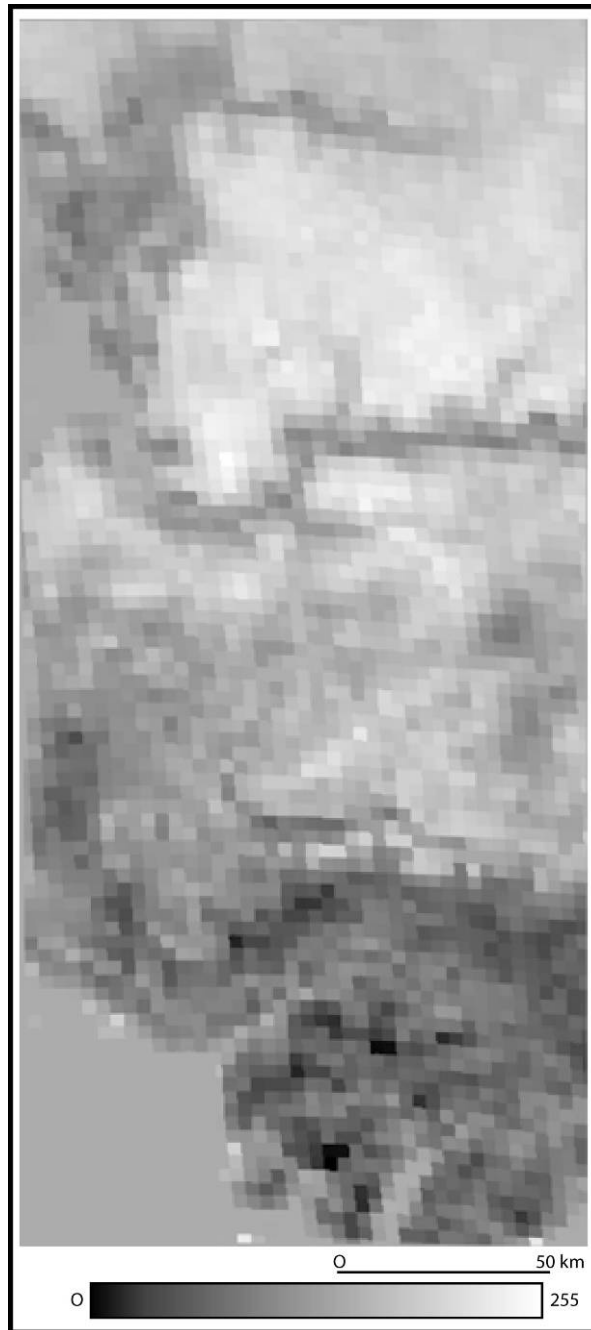


Figure 6 : Deuxième axe factoriel, aspect spatial

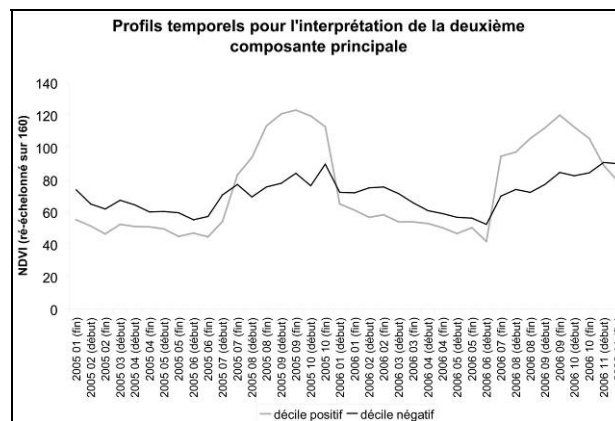


Figure 7 : Deuxième axe factoriel, aspect temporel



Figure 8 : Troisième axe factoriel, aspect spatial

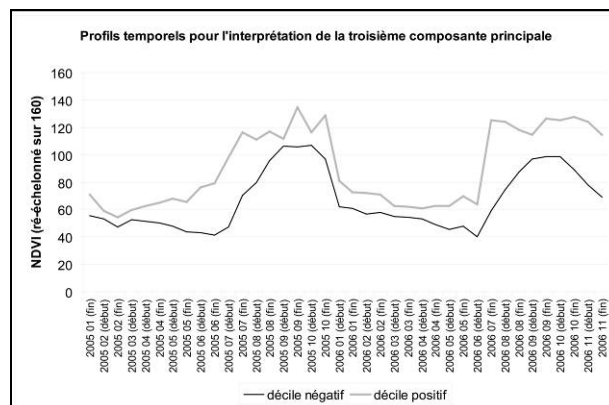


Figure 9 : Troisième axe factoriel, aspect temporel

### 5.2.3. Classification des synthèses sur deux ans

La classification automatique des synthèses temporelles de NDVI (figure 11) produit neuf classes de surfaces. Compte tenu de la nature des variables entrant dans la classification (37 synthèses bimensuelles de NDVI) on interprétera ces classes en fonction de leurs rythmes phénologiques spécifiques au cours de la période étudiée. Pour caractériser ces classes on se réfère au profil temporel moyen de chaque classe restitué sous forme de graphique dont les interprétations sont synthétisées au tableau 2. En adoptant ce protocole d'analyse et en rappelant les couleurs choisies pour la figure 11 on obtient l'interprétation thématique suivante :

Un premier groupe de trois courbes correspond aux milieux littoraux *sensu stricto*.

Classe 1 : Les espaces où l'eau domine (en noir) présentent un NDVI très faible toute l'année.

Classe 2 : Les espaces où les vasières et rizières dominent (en cyan) présentent un NDVI faible toute l'année.

Classe 3 : Les espaces où les mangroves dominent (en marron) connaissent une saison d'activité chlorophyllienne très peu marquée et des NDVI globalement moyen.

Les espaces de terre ferme se divisent en six classes interprétées au tableau 2 :

Classe 4 : La courbe en jaune pâle montre une saison végétative très courte et contrastée, au NDVI maximal faible. Cette courbe peut être interprétée comme celle de la signature phénologique temporelle des espaces principalement agricoles dont le rythme est lié au climat septentrional, soudano-sahélien.

Classe 5 : La courbe en jaune vif, montre également une saison végétative courte et contrastée, au NDVI maximal plus important, notamment au début du mois d'août (milieu de la saison des pluies). Cette courbe peut être interprétée comme celle de la signature phénologique temporelle des espaces principalement forestiers dont le rythme est également lié au climat septentrional, soudano-sahélien.

Classe 6 : La courbe en vert jaune montre, elle aussi, une saison végétative contrastée avec un NDVI augmentant plus tôt dans la saison (début juin) culminant à 0,8 à la fin de la saison des pluies (en octobre) et diminuant lentement. Cette courbe peut être interprétée comme celle de la signature phénologique temporelle des espaces principalement agricoles, intégrant des éléments forestiers dont le rythme est lié au climat central, soudanien.

Classe 7 : La courbe en vert tendre, est très similaire à celle de la classe 6, avec pour seule différence que les valeurs de NDVI sont plus fortes en fin de saison des pluies (fin octobre). Cette courbe peut être interprétée comme celle de la signature phénologique temporelle des espaces principalement forestiers dont le rythme est lié au climat central, soudanien.

Classe 8 : La courbe en vert vif, montre une saison végétative très longue et très peu contrastée avec un NDVI relativement élevé durant toute la saison sèche (entre 0,4 et 0,5 de décembre à juin). Cette courbe peut être interprétée comme celle de la signature phénologique temporelle des espaces principalement agricoles et agroforestiers ouverts dont le rythme est lié au climat méridional, soudano-guinéen.

Classe 9 : La courbe en vert foncé, montre profil similaire à celle de la classe 8 avec pour seule différence que les valeurs de NDVI sont plus importantes tout au long de l'année. Cette courbe peut être interprétée comme celle de la signature phénologique temporelle des espaces principalement forestiers et agroforestiers denses dont le rythme est également lié au climat méridional, soudano-guinéen.

La carte (figure 11) permet de mettre en évidence de grands ensembles continus ou fragmentés qui se succèdent du nord au sud. Cependant, le traitement d'images offre une information géographique largement supérieure à une simple division latitudinale liée au facteur climatique. Premièrement on peut cartographier des objets azonaux. Deuxièmement, les entités présentant des limites complexes telles que celles existant entre les espaces forestiers soudanien et soudano-guinéen sont précisément cartographiées. Troisièmement, à toutes les latitudes, la distinction est faite, à l'échelle régionale entre les espaces dominés par l'agricole et le forestier. Ici réside, en effet, l'un des résultats de ce travail qui peut être généralisé à d'autres cas d'étude et d'autres régions : la distinction entre les espaces agricoles et forestiers peut être réalisée par la simple classification non dirigée d'une série temporelle de NDVI.

On se propose, pour valider ce résultat, de quantifier la proportion d'espaces forestiers et agricoles (issues des traitements d'images LANDSAT) présents dans chaque classe de rythmes phénologiques (issues des traitements d'images MSG). Sur la figure 10, quelle que soit la zone climatique à laquelle appartiennent les espaces considérées on constate que, nonobstant la marge d'erreur liée à la différence de résolution des deux types d'images, l'interprétation entre espaces à dominance agricole ou forestière est justifiée.

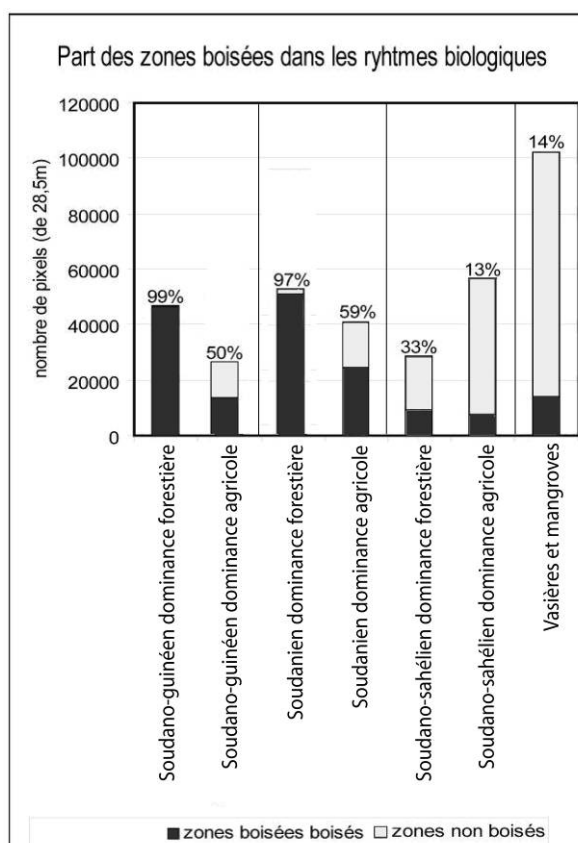


Figure 10 : part des boisements dans les différents bioclimats

### 5.3. Carte des formations végétales

Le croisement de la carte des densités forestières et des rythmes biologiques permet aussi et surtout de produire une carte originale qui apporte une grande quantité d'information sur la végétation, à différentes échelles (figure 12).

Premièrement la carte combine ces deux informations et permet une description profonde de la biogéographie de la région. Deuxièmement, le croisement de cette information avec la carte des densités montre une discordance flagrante entre ces deux types d'information. En effet, au sein des espaces ayant un rythme phénologique donné, la densité forestière varie du très ouvert au très dense. Ainsi, au sein du Fogy caractérisé par le rythme forestier soudanien, les densités forestières varient spatialement très rapidement. Plus généralement, on ne peut constater aucun lien entre les limites de rythmes phénologiques et des changements dans la densité des boisements.

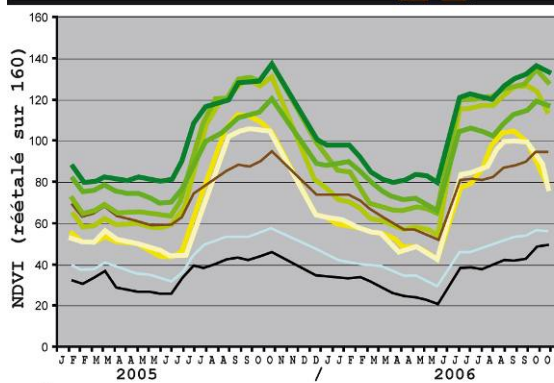
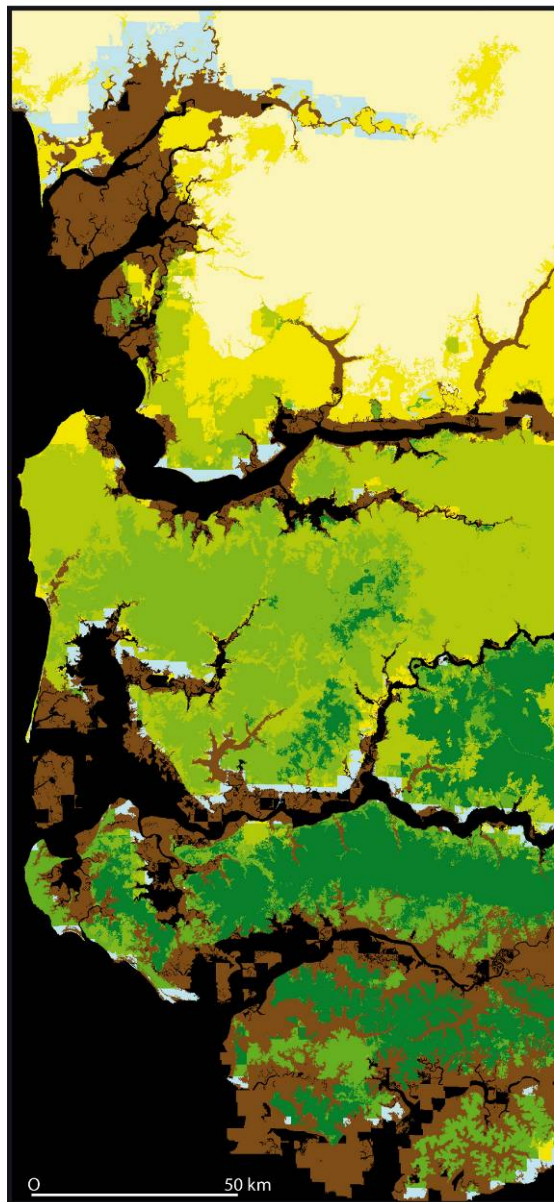
## 6. Conclusion

Le croisement de la série temporelle du NDVI MSG et des images LANDSAT constitue un apport important à la cartographie de la végétation par télédétection aux échelles régionales, voire continentales.

Outre la cartographie des grands ensembles végétaux liés au climat, elle permet de distinguer clairement les espaces agricoles des espaces forestiers à l'échelle régionale. Concernant ces derniers, les cartes produites mettent en évidence l'absence de lien *a priori* entre l'activité chlorophyllienne des espaces forestiers et leur densité. Ce résultat ouvre la voie à d'autres examens voire réexamens de la nature des liens entre le fonctionnement de la végétation et sa physiologie.

	Saison	Début	fin	min	max	Agricole / forestier	Climat	sempervirentes / caducifoliées
Classe 1	Nul						eau	
Classe 2	Très faible						Vasières	
Classe 3	moyen avec saison végétative à peine marquée						Mangroves	
Classe 4	courte	tardif et rapide	précoce et rapide	0,3	0,65	agricole	Climat soudano-sahélien	caducifoliées
Classe 5	courte	tardif et rapide	précoce et rapide	0,3	0,7	forestier	Climat soudano-sahélien	caducifoliées
Classe 6	moyenne	tardif et rapide	précoce et rapide	0,35	0,75	agricole	Climat soudanien	dominance de caducifoliées
Classe 7	moyenne	tardif et rapide	tardif et lente	0,35	0,8	forestier	Climat soudanien	dominance de sempervirentes
Classe 8	moyenne	précoce et lent	tardif et lente	0,4	0,85	agricole	Climat soudano-guinéen	sempervirentes
Classe 9	longue	précoce et rapide	tardif et lente	0,5	0,9	forestier	Climat soudano-guinéen	sempervirentes

Tableau 2 : Interprétation des rythmes phénologiques



- 1—Eau
- 2—Mangrove
- 3—Vasières
- 4—Espaces à dominante agricole soudano-sahéliens
- 5—Espaces à dominante forestière soudano-sahéliens
- 6—Espaces à dominante agricole soudaniens
- 7—Espaces à dominante forestière soudaniens
- 8—Espaces à dominante agricole soudano-guinéens
- 9—Espaces à dominante forestière soudano-guinéens

Figure 11 : Carte des rythmes biologiques

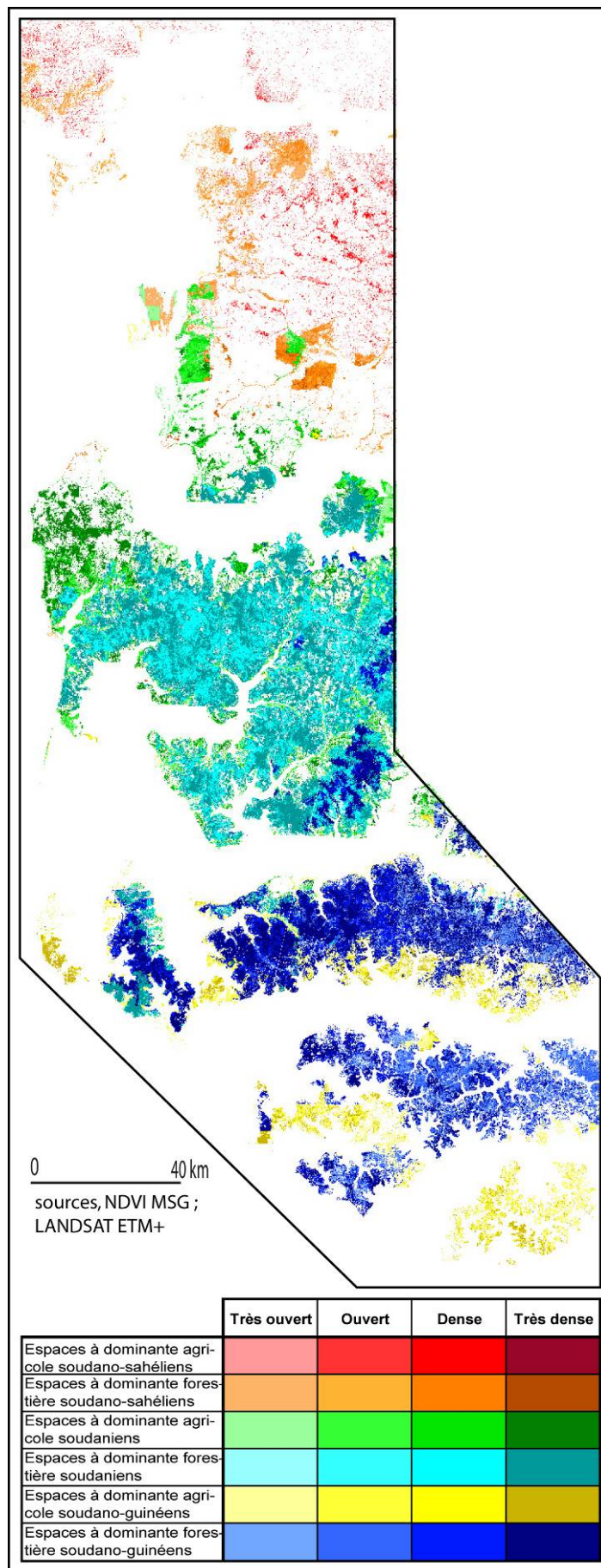


Figure 12 : carte des formations végétales de terre ferme

## Références

- Ackermann G., Alexandre F., Andrieu J., Mering C., Olivier., 2007. *Dynamique des paysages et perspectives de développement durable sur le Petite Côte et dans le delta du Sine – Saloum (Sénégal)*. VertigO Vol. 7, N°2, Art.16.
- Al-Bakri J. T., Taylor J. C., 2003. *Application of NOAA AVHRR for monitoring vegetation conditions and biomass in Jordan*. Journal of Arid Environments (2003) Vol. 54. p. 579–593.
- Andrieu, J., 2008. *Dynamique des paysages dans les régions septentrionales des Rivières-du-Sud*. Thèse de Doctorat. Département de géographie. Université Paris-Diderot. 515 p.
- Andrieu J., Mering C., 2009. *Cartographie par télédétection des changements de la couverture végétale sur la bande littorale ouest africaine : exemple des Rivières du Sud du delta du Saloum (Sénégal) au Rio Geba (Guinée Bissau)*. Télédétection vol. 8. N°2. p. 93-118.
- Camberlin P., Martiny N., Philippon N., Richard Y., 2007. *Determinants of the interannual relationships between remote sensed photosynthetic activity and rainfall in tropical Africa*. Remote Sensing of Environments. Vol. 106. p. 199-216.
- Diday E., 1974. *Une nouvelle méthode de classification automatique et reconnaissance des formes : la méthode des nuées dynamiques*. Revue de statistiques appliquées. vol. 19. p. 19-33.
- Fensholt R., Sandholt I., Stisen S., Tucker C., 2005 *Analysing NDVI for the African continent using the geostationary meteosat second generation SEVIRI sensor*. Remote Sensing of Environment vol. 101 p. 212–229
- Funk C.C., Brown M.E., 2006 *Intra-seasonal NDVI change projections in semi-arid Africa* Remote Sensing of Environment vol. 101. p. 249–256
- Herrmann, S. M., Anyamba, A., & Tucker, C. J. 2005. *Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate*. Global Environmental Change. Vol. 15. p. 394–404.
- Heumann B.W., Seaquist J.W., Eklundh L., Jonsson P., 2007. *AVHRR derived phenological change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982-2005*. Remote Sensing of Environment. Vol. 108. p. 385-392.
- Lacaze B., Bergès J.-C. 2005. *Contribution of Meteosat Second Generation (MSG) to Drought early Warning*. In : Actes du colloque Remote sensing and geoinformation Processing in the Assessment and Monitoring of Land Degradation and Desertification : State of the Art and Operational Perspectives. Trier, 8p.
- Li J., Lewis J., Rowland J., Tappan G., Tieszen L.L., 2004. *Evaluation of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series*. Journal of Arid Environments Vol. 59 p. 463–480.
- Li Z. et Katafos M. 2000. *Interannual Variability of Vegetation in the United States and Its Relation to El Nino/Southern Oscillation*. Remote Sensing of Environment, Vol. 71. N°3. p.239-247.
- Moreau, N., 2004. *Mise en évidence et cartographie de l'évolution des forêts de mangrove dans les Iles du Saloum au cours des trois dernières décennies (1972 à 2001)*. Photo-Interprétation, Vol. 4. p. 23-55.
- Nagendra, H., Pareeth S., Ghate R. 2006. *People within parks-forest villages, land-cover change and landscape fragmentation in the Tadoba Andhari Tiger Reserve, India*. Applied Geography. Vol. 26. p. 96-112
- Pan Y., Li X., Gong P., He C., Shi P., Pu R., 2003. *An integrative classification of vegetation in China based on NOAA AVHRR and vegetation-climate indices of the Holdridge life zone* INT. J. REMOTE SENSING, 2003. Vol. 24. N°. 5. 1009–1027
- Tappan G.G., Sall M., Wood E.C., Cushing M. 2004. *Ecoregion and land cover trends in Senegal*. Journal of Arid Environments. Vol. 59. p. 427-462.
- Thampanya, U., Vermaat, J.E., Sinsakul, S., et Panapitukkul, N., 2006. *Coastal erosion and mangrove progradation of Southern Thailand*. Estuarine, Coastal and Shelf Science. Vol. 68. p. 75-85.