

## Caractérisation de la dynamique de la végétation en Afrique de l'Ouest : comparaison des indices NDVI de MSG-SEVIRI, SPOT-VEGETATION et NOAA-AVHRR (exemple du Ferlo, Sénégal)

**Mamadou Adama SARR**

LRCE-CRGA UMR 5600 CNRS  
18 rue Chevreul 69007 Lyon  
mamadou\_sarr74@hotmail.com

**Bernard LACAZE**

PRODIG UMR 8586 CNRS  
2 rue Valette 75005 Paris  
blacaze@univ-paris1.fr

### Résumé:

L'étude porte sur l'analyse de la dynamique de la végétation de l'Afrique de l'Ouest (entre 10° et 18° latitude Nord et 18° et 8° longitude Ouest), aux échelles mensuelle et décadaire, pour les années 2005 et 2006 (période de juin à novembre). Les données utilisées sont, d'une part les synthèses décadaires de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) issues de SPOT-VEGETATION (source : <http://free.vgt.vito.be/>), et les synthèses de 15 jours de l'indice NDVI de NOAA-AVHRR (source : <http://gimms.gsfc.nasa.gov>) et, d'autre part, des synthèses élaborées à partir des séries d'images du capteur SEVIRI de MSG (Météosat Seconde Génération). Ces dernières ont été obtenues selon la procédure mise au point dans le cadre du GDR MSG-ATR (voir <http://msg.univ-paris1.fr/msg/>); la méthode consiste à détecter la température de surface maximale pour éliminer ainsi les effets perturbateurs de la présence de nuages lors du calcul de l'indice NDVI. Les résolutions spatiales des trois sources de données étant différentes (8km pour NOAA-AVHRR, environ 1km pour SPOT-VEGETATION et environ 3 km pour MSG-SEVIRI), on a ré-échantillonné les images à une même résolution de 0,01 degré (en projection Plate Carrée). L'étude comparative des valeurs maximales de NDVI observées dans le bassin versant du Ferlo (Sénégal) pour les pixels non nuageux met en évidence des taux de corrélation significatifs dans les évolutions temporelles de NDVI, généralement similaires pour les données des 3 capteurs comparés. D'autre part, en cas de couverture nuageuse persistante, la haute résolution temporelle de MSG permet une meilleure qualité des synthèses décadaires. Cependant, la nature des pré-traitements des données, et, pour MSG, la position du soleil variable selon les moments de la journée sélectionnés lors de la détection de la température maximale, sont des éléments à prendre en compte pour expliquer les différences observées entre les valeurs absolues de NDVI, et pour proposer une harmonisation des valeurs de NDVI entre les 3 capteurs.

**Mots-clés :** indice de végétation, synthèse temporelle, NDVI, NOAA-AVHRR, SPOT-VEGETATION, MSG, SEVIRI, Ferlo, Sénégal

### Summary

The study focuses on the analysis of the dynamics of vegetation in West Africa (between 10° & 18° latitude North and 10° & 8° longitude West) at monthly and decadal scales, for the years 2005 & 2006 (period from June to November). The database used is obtained from the NDVI archive of SPOT VEGETATION (source: <http://free.vgt.vito.be/>), from the bimonthly NDVI archive of NOAA-AVHRR (source: <http://gimms.gsfc.nasa.gov>) and from temporal composite NDVI images issued from SEVIRI sensor of Meteosat Second Generation (MSG). These images were obtained following the procedure implemented through the CNRS GDR MSG-ATR research consortium (see <http://msg.univ-paris1.fr/msg/>) : the method relies on detection of the diurnal maximum surface temperature to be able to eliminate the effects due to cloudiness on NDVI results. As the spatial resolution of the 3 database sources are different (8km for NOAA-AVHRR, approximately 1 km for SPOT VEGETATION and approximately 3 km for MSG-SEVIRI), we had to resample the images at the same resolution of 0.01 degree (Projection Plate Carrée). The comparison of the values of NDVI of the 3 sensors of the non cloudy pixels put in evidence significant correlation rates. Also, results show a better efficiency of the MSG images to eliminate cloud contamination by temporal repetition of images (1 image every 15 minutes). However the nature of data pre-processing and, for MSG, the variable position of the sun depending on the selected moments of the day during the detection of the maximum temperature, are elements to take into consideration to explain the differences shown between the absolute values of NDVI, in view of deriving compatible NDVI values between the 3 sensors.

**Keywords :** vegetation index, temporal compositing, NDVI, NOAA-AVHRR, SPOT-VEGETATION, MSG, SEVIRI, Ferlo, Senegal



## 2. Données et méthodes

Les données NDVI du capteur AVHRR de NOAA acquises depuis 1981 sur l'ensemble du globe sont disponibles à partir de plusieurs archives, dont l'archive GIMMS (*Global Inventory Modeling and Mapping Studies*) de la NASA. Ces données, pour la période juillet 1981 à décembre 2003, avec une fréquence bimensuelle, et une résolution spatiale de 8 km (Tucker *et al.*, 2005), sont accessibles par téléchargement auprès du site Internet de l'Université du Maryland <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms/>

Les données d'archive concernant les années 2004 à 2006 ont été obtenues par requête auprès de Molly Brown, Biospheric Sciences Branch, NASA's Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA.

Les caractéristiques des données NDVI pour le continent africain sont résumées au **tableau 2**. La projection géographique utilisée est définie au **tableau 3** ; il s'agit de la projection « clarkes-ae » définie dans la liste de projections du logiciel IDRISI.

Coordonnées zone couverte :	Bas gauche lat : -42.243 ° Bas gauche lon : -23.490 ° Haut gauche lat : 43.711° Haut gauche lon : -24.600 ° Bas droite lat : -42.242 ° Bas droite lon : 63.414 ° Haut droite lat : 43.712 ° Haut droite lon : 64.523 °
projection	Albers Equal Area Conic
résolution spatiale	8 km
taille image	1152 colonnes x 1152 lignes
format	GeoTiff
codage comptes numériques CN	de -10000 à + 10000 ( <i>signed integer</i> )
relation entre CN et NDVI	CN = 10000 x NDVI
valeurs extrêmes de NDVI	-1 et +1

**Tableau 2** : caractéristiques des images NDVI de l'archive GIMMS pour le continent africain

datum	aucun
delta WGS84	0 0 0
ellipsoid	Clarke 1866
major s-ax	6378206.4
minor s-ax	6356583.8
origin long	20
origin lat	1
origin X	5000000
origin Y	5000000
stand ln1	-19
stand ln2	21

**Tableau 3** : caractéristiques de la projection Albers\_Africa de l'archive GIMMS

Les données NDVI du capteur VEGETATION de SPOT sont disponibles par téléchargement auprès du site Internet VITO : <http://free.vgt.vito.be/>

Les données de synthèse décadaire sont disponibles en deux versions S10 et D10. Nous avons utilisé ici les données S10, qui sont obtenues par une technique de synthèse temporelle basée sur la comparaison pixel par pixel de 10 valeurs journalières de réflectance pour en dériver les meilleures estimations dans les canaux rouge et proche infrarouge, à partir desquelles l'indice NDVI est calculé. On obtient ainsi une valeur de NDVI qui doit être la valeur maximale observée dans la période (MVC = *Maximum Value Compositing*). Les caractéristiques des images NDVI sont indiquées au **tableau 4**.

zone couverte : longitudes	de 26° Ouest à 60° Est
zone couverte : latitudes	de 38° Nord à 35° Sud
projection	Plate Carrée
résolution spatiale	0,008929° (environ 1km)
taille image	9633 colonnes x 8177 lignes
format	hdf
codage comptes numériques CN	de 0 à 255 (byte)
relation entre CN et NDVI	CN = 0,004 x NDVI -0,1
valeurs extrêmes de NDVI	-0,1 et 0,92

**Tableau 4** : caractéristiques des images NDVI de l'archive SPOT-VEGETATION pour le continent africain

Les données NDVI du capteur SEVIRI de MSG ont été obtenues par l'interface Internet disponible pour les membres du GDR 2839 du CNRS « MSG-ATR » (Groupe De Recherche Météosat Seconde Génération-Acquisition en Temps Réel) : voir site Internet <http://msg.univ-paris1.fr/>

Dans l'approche proposée, l'utilisateur peut définir la zone d'étude (coordonnées en latitude/longitude), ainsi que la résolution spatiale de l'image NDVI résultante. Les images étant acquises au cours de chaque journée avec des angles solaires zénithaux variables, on ne peut utiliser une technique de type MVC pour estimer le NDVI sur une période de plusieurs jours. En effet, les valeurs de NDVI sont variables au cours de la journée en fonction de l'angle solaire zénithal, avec un minimum généralement observé aux alentours du midi solaire (Fensholt *et al.*, 2005). La technique mise en œuvre dans le cadre du GDR MSG-ATR consiste à rechercher pour les données journalières et pour chaque pixel l'heure d'observation du maximum de température de brillance (d'après les données du canal thermique 10,8 $\mu$  de l'instrument SEVIRI) : ceci permet dans la plupart des cas d'éliminer la contamination par des surfaces nuageuses qui ont des températures plus basses que celle des pixels clairs (Bergès et Lacaze, 2004, Lacaze et Bergès, 2005). La synthèse temporelle peut ensuite être obtenue pour un nombre de journées fixé par l'utilisateur. Les images obtenues ont les caractéristiques indiquées au **tableau 5**.

zone couverte : longitudes	18° Ouest à 10° Ouest
zone couverte : latitudes	10° Nord à 18° Nord
projection	Plate Carrée
résolution spatiale	0,01 degré
taille image	1000 colonnes x 800 lignes
format	Gif
codage comptes numériques CN	de 0 à 160 ( <i>byte</i> )
relation entre CN et NDVI	CN = 200 x NDVI + 8
valeurs extrêmes de NDVI	-0,04 et 0,76

**Tableau 5** : Caractéristiques des images NDVI issues de MSG-SEVIRI, pour la zone d'étude Afrique de l'Ouest.

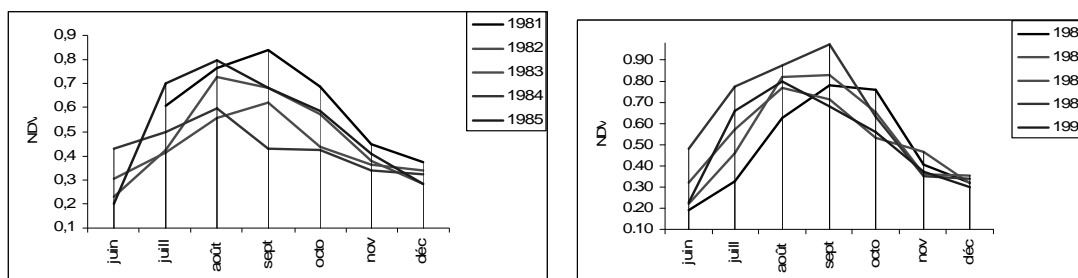
Afin de faciliter la comparaison des données, nous avons extrait pour les 3 sources de données la même zone géographique (Afrique de l'Ouest), et les images NOAA-AVHRR et SPOT-VEGETATION ont été ré-échantillonnées à la résolution spatiale choisie pour les images MSG (0,01 degré).

### 3. Résultats et discussion

L'analyse des résultats a porté uniquement sur les valeurs maximales de l'indice de végétation NDVI observées sur l'ensemble du bassin versant du Ferlo par décennie ou par mois, de juin à septembre. Le choix de ce critère se justifie par le souci de détecter de manière optimale le début et la fin de la saison de végétation, ainsi que le pic de végétation correspondant au développement maximal de la couverture végétale.

#### 3.1. Cinétique du maximum de NDVI de juin à septembre d'après les données NOAA-AVHRR

La **figure 2** permet de comparer pour les années 1981 à 2005 la cinétique mensuelle de la couverture végétale chlorophyllienne, avec un pic de végétation observé soit en août, soit en septembre. Le pic de végétation s'observe en effet avec des fréquences comparables pour ces deux mois.



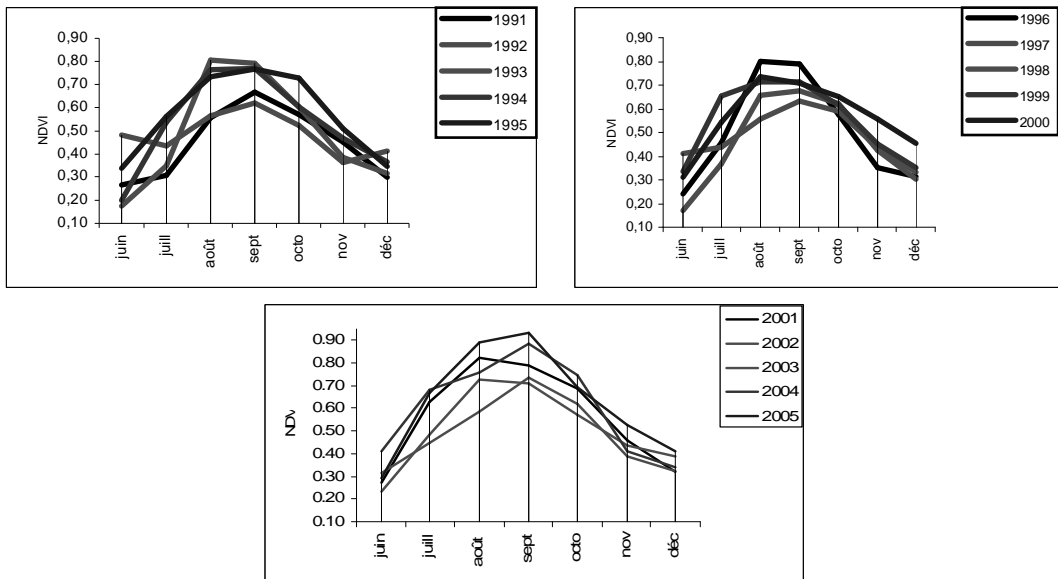


Figure 2 : évolution du pic saisonnier de la production végétale d'après NOAA-AVHRR (1981-2005)

### 3.2 Comparaison des 3 sources de données mensuelles pour l'année 2005

La figure 3 indique la cinétique mensuelle des maxima de NDVI observés dans le Ferlo d'après les 3 sources de données.

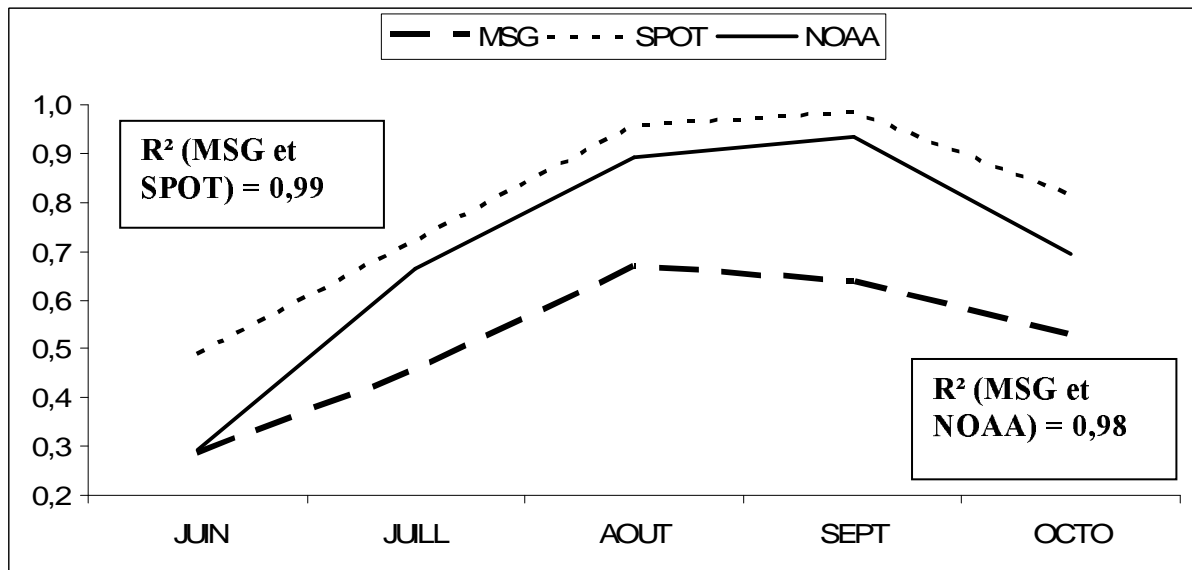


Figure 3 : évolution mensuelle de l'indice de végétation NDVI maximal observé dans le Ferlo avec les capteurs MSG-SEVIRI, SPOT-VEGETATION et NOAA-AVHRR durant la saison de végétation de 2005

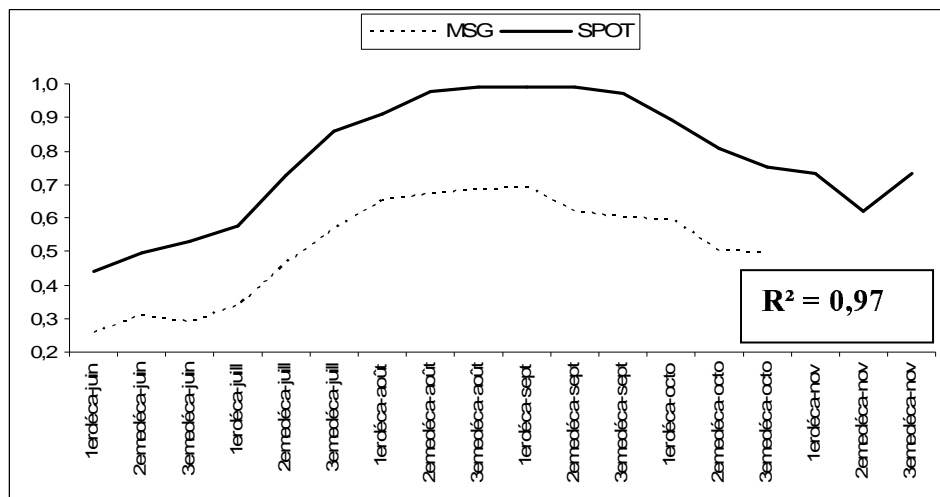
Si les évolutions temporelles sont similaires, on constate des différences de valeurs de NDVI qui sont liées aux pré-traitements différents des images. Les images NDVI de SPOT-VEGETATION sont issues de données ayant subi une correction des effets atmosphériques, et fournissent dans tous les cas les valeurs les plus élevées de l'indice. Les images NDVI de NOAA-AVHRR résultent d'une normalisation de données (Brown et al., 2005) qui aboutit à des valeurs légèrement plus basses de l'indice ; dans certains cas (octobre et juin) les valeurs de NDVI apparaissent nettement sous-estimées par rapport à celles de SPOT-VEGETATION. Les images de NDVI issues de MSG-SEVIRI n'ont subi aucune correction atmosphérique : il s'agit de valeurs brutes résultant du calcul effectué à partir des valeurs de luminance dérivées des comptes numériques enregistrés dans les canaux visible et proche infrarouge. Il est donc normal que les valeurs de NDVI soient plus faibles que celles observées pour les deux autres sources de données.

La concordance des évolutions temporelles se traduit par des coefficients de détermination ( $r^2$ ) très significatifs : ils sont de l'ordre de 0,99 entre les données de MSG-SEVIRI et de SPOT-VEGETATION et de 0,98 entre celles de MSG-SEVIRI et de NOAA-AVHRR.

Il faut cependant noter la discordance entre les pics de végétation observés en août pour MSG, et en septembre pour SPOT-VEG et NOAA-AVHRR. On doit relativiser cette différence en soulignant que le maximum d'indice observé peut porter sur une zone restreinte (cas limite : un pixel) et qu'il faudrait donc faire une analyse plus détaillée de la répartition spatiale des valeurs de NDVI obtenues avec les 3 sources de données, qui ont des résolutions spatiales différentes, pour identifier la cause possible des différences observées.

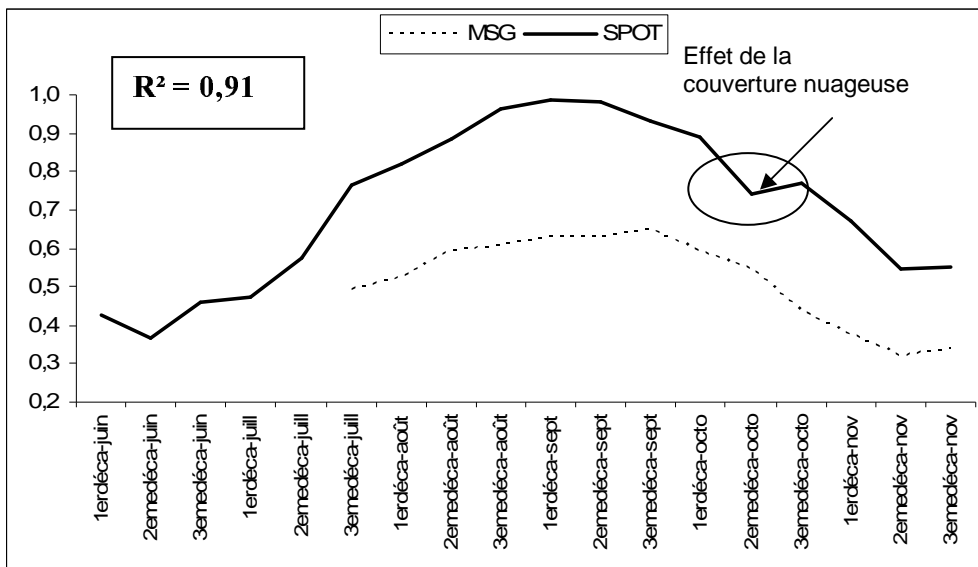
### 3.3 Comparaison des données décadaires de SPOT-VEGETATION et MSG-SEVIRI pour 2005 et 2006

A l'échelle décadaire, le constat reste celui de l'évolution similaire des indices NDVI issus des deux capteurs durant la saison des pluies en 2005 et en 2006. La corrélation est très significative entre les valeurs décadaires de l'indice NDVI de MSG-SEVIRI et de SPOT-VEGETATION au cours de l'année 2005 (**figure 4**). Le coefficient de détermination est égal à 0,97. On note cependant une diminution de NDVI de MSG pour les deux dernières décades de septembre, alors qu'il y a stabilité de l'indice issu de SPOT-VEGETATION, ce qui confirme l'observation faite pour les valeurs mensuelles.



**Figure 4** : évolution décadaire de l'indice NDVI maximal observé dans le Ferlo à partir des capteurs SPOT et MSG durant la saison de végétation 2005

La **figure 5** traduit une situation moins bien corrélée par rapport à celle de 2005 avec le coefficient de détermination ( $R^2$ ) égal à 0,91 entre MSG-SEVIRI et SPOT-VEGETATION. Cette situation peut s'expliquer par la présence d'une masse nuageuse persistante (énormes cumulo-nimbus liés aux lignes de grains couvrent la zone du Ferlo pendant plusieurs jours) durant cette décade. Dans ce cas, les images de synthèse de SPOT, malgré la meilleure résolution spatiale, n'ont pas pu éliminer tous les pixels affectés par les nuages. On a ici une illustration de la meilleure qualité des synthèses MSG en cas de couverture nuageuse importante. Contrairement à ce qui a été observé pour 2005, les indices issus de MSG indiquent une cinétique de développement végétal jusqu'à la dernière décade de septembre, suivie d'une décroissance rapide et régulière.



**Figure 5 :** évolution décennale de l'indice NDVI maximal observé dans le Ferlo à partir des capteurs SPOT et MSG durant la saison de végétation 2006

#### 4. Conclusion

Cette étude a été limitée à la détection des maxima des indices NDVI sur la région du Ferlo (Sénégal). Il a été montré que les 3 sources de données analysées conduisent à des évolutions similaires de l'indice NDVI maximum observé. Les données MSG s'avèrent cependant plus efficaces en cas de couvert nuageux persistant, et sont accessibles facilement en temps quasi-réel selon la procédure développée par le GDR MSG-ATR du CNRS.

Toutefois, des études complémentaires sont nécessaires sur la réalisation de corrections des effets atmosphériques et de normalisation des effets directionnels sur les NDVI issus de MSG. Ceci est également indispensable si l'on veut obtenir des valeurs absolues de NDVI comparables entre les différents capteurs. Les bonnes corrélations observées entre les valeurs de NDVI des 3 capteurs peuvent néanmoins conduire à des solutions empiriques pour ajuster les valeurs de NDVI d'un capteur à l'autre ; il resterait cependant à vérifier la généralisation spatiale et temporelle des corrélations observées ici sur les seuls pixels d'indice NDVI maximal.

#### 5. Remerciements

Nous remercions Molly Brown (NASA/GSFC) pour l'accès aux données de l'archive récente des données NOAA-AVHRR. D'autre part, l'obtention des données NDVI de MSG repose entièrement sur les procédures mises en place par Jean-Claude Bergès, dans le cadre du GDR 2839 MSG-ATR du CNRS (directeurs : Michel Desbois et Catherine Méring).

#### 6. Bibliographie

- Ali A., Lebel T., Amani A., 2007. *Revisiting the standardized precipitation index applied to rainfall variability analysis in the Sahel*. AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analyses), 2<sup>nd</sup> International Conference, Karlsruhe, 26-30 nov. 2007, Abstracts (Genau I., van den Akker E. & Redelsperger J. -L. eds), pp. 243-244.
- Bergès J.-C., Lacaze B., Smiej M. F., 2005. *Vers un suivi en temps réel de la sécheresse au Maroc à partir des données Météosat Seconde Génération (MSG)*. Communication au colloque international « Aménagement du territoire et risques environnementaux », Fès, Maroc, 15-16 avril 2005 (sous presse, revue de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Fès, et disponible sur Internet : <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00126505>).
- Fensholt R., Sandholt I., Stisen S., Tucker C., 2006. *Analysing NDVI for the African continent using the geostationary meteosat second generation SEVIRI sensor*. *Remote Sensing of the Environment*, 101, 212-229.
- Lacaze B. & Bergès J.-C., 2006. *Contribution of Météosat Second Generation (MSG) imagery to drought early warning*. Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Remote Sensing and Geoinformation Processing in the Assessment and Monitoring of Land Degradation and Desertification, Trier, Germany, 7-9 September 2005 (A. Röder & J. Hill eds), pp. 406-412. (disponible sur CD-ROM et à l'adresse Internet : <http://ubt.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2006/362/pdf/05-rglidd-session4.pdf>).

Tucker C.J., Pinzon J.E., Brown M.E., Slayback D.A., Pak E.W., Mahoney R., Vermote E.F., El Saleous N., 2005. *An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data*. International Journal of Remote Sensing, 26, 4485-4498.