

# VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DES ÉTATS DE SURFACE À PARTIR DE DONNÉES RADAR AU SUD-OUEST DU NIGER

**SYLLA Daouda**

Institut de Géographie Tropicale (IGT),

Université Félix Houphouët-Boigny, Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire)

## RESUME

Les régions soudano-sahéliennes sont particulièrement affectées par le processus de désertification défini comme une dégradation des sols et de la couverture végétale. Pour bien appréhender et lutter contre ce phénomène, des stratégies globales ont été mises en œuvre.

La présente recherche a pour objectif principal d'analyser les changements des états de surface (végétation et sol) sur une zone située dans le sud-ouest du Niger.

La méthodologie présentée ici est similaire à celle développée par Moisan mais adaptée aux données ERS 1-2 et ENVISAT couvrant la zone d'étude de 1993 à 2009. Elle est basée sur une analyse en composantes principales ayant pour intrants des images de différences de  $\sigma^0$ . La première composante principale qui est une moyenne des variables de départ en l'occurrence des images de différences est utilisée pour exprimer le degré de changement des états de surface.

Les résultats permettent d'évaluer les potentialités de l'ACP appliquée sur des images de différences de  $\sigma^0$ , comme outil de détection des changements. Et la forte corrélation entre la CP1 et l'image de différence maximale autorise à conclure qu'elle exprime effectivement les changements significatifs de  $\sigma^0$  à l'intérieur de l'espace d'étude. En perspective, une règle de fusion probabiliste définie par la théorie de Dempster-Shafer sera utilisée afin de caractériser les changements observés des états de surface.

**Mots clés :** radar, détection de changements, état de surface, région soudano-sahélienne, Niger.

## ABSTRACT

### *Spatio-temporal variation of surface conditions using the radar data in the south-western region of Niger*

Sudano-sahelian regions are particularly affected by the process of desertification, which is defined as soil and vegetation cover degradation. To better understand and fight this phenomenon, global strategies have been implemented.

The main objective of this study is to analyze the surface conditions (vegetation and soil) for the south western region of Niger.

The method used is similar to that developed by Moisan but adapted to ERS1-2 and ENVISAT data acquired between 1993 and 2009. It is based on a Principal Component Analysis performed on change images. The first Principal Component that is an average of the original variables is used to interpret the extent of change in surface conditions.

This method allows to assess the potential of ACP applied to difference images, such as change detection tool. In perspective, the probabilistic fusion rule of Dempster-Shafer will be used to characterize the observed changes in surface conditions.

**Key-words:** radar change detection, surface conditions, sudano-sahelian region, Niger

## INTRODUCTION

Définie comme une dégradation des sols et de la couverture végétale, la désertification est un phénomène azonal qui affecte plus de 40 % des terres émergées de notre planète (CNUED, 1992). En 2000, 70 % des terres arides étaient soumises à ce phénomène, soit 3,6 milliards d'hectares (FAO, 2008). La désertification menace ainsi l'existence de plus de 8 % de la population mondiale dont plus de 80 % vivent dans les pays en voie de développement (FAO, 2008). Les pays menacés ont des économies basées essentiellement sur les ressources naturelles renouvelables et leur PIB est très sensible aux épisodes de sécheresses prolongées et à la dégradation de ces ressources. En effet, les régions soudano-sahéliennes (longitudes 20° W à 20° E ; latitudes 10° N à 20° N) peuplées de plus de 44 millions d'individus sont depuis plusieurs décennies, un espace en crise (CNUED, 1992) subissant des sécheresses endémiques (1968-1982). Ces dernières se traduisent par des déficits hydriques parfois importants entraînant des modifications du sol et de la végétation.

Pour bien appréhender et lutter contre ces perturbations environnementales, des stratégies globales de lutte contre la désertification faisant notamment appel à la télédétection optique ont été mises en œuvre. Cependant, la forte présence des nuages en période d'hivernage et l'effet du sol sur les indices de végétation réduisent fortement le potentiel des données optiques à caractériser l'état des variables biophysiques (végétation, sol, etc.). Dans ce contexte, l'approche proposée dans la présente étude utilise la télédétection radar non assujettie à la couverture nuageuse, plus particulièrement les données ERS 1-2 et ENVISAT couvrant la période du 12 août 1993 au 20 août 2009. La présente recherche a pour objectif principal d'analyser les changements des états de surface (végétation et sol) dans le sud-ouest du Niger. La méthodologie est basée sur une analyse en composantes principales ayant pour intrants des images de « différences de  $\sigma^0$  ». La première composante concentre l'information de changement qu'un seuillage permet d'organiser en cinq grandes classes suivant les indications de Washington-Allen *et al.* (1998) et Rogerson (2001). En effet, au-delà de cinq classes, les changements sont marginaux et négligeables dans le paysage. Ces cinq grandes classes expriment l'intensité des changements des états de surface sur la zone d'étude ; leur analyse spatiale représente une source d'information pertinente pour l'étude du phénomène de désertification au Niger. Le présent travail est structuré en quatre parties. Après l'introduction, nous traiterons en premier de l'analyse du changement en télédétection. Le site d'étude et les données utilisées constituent la deuxième partie. La démarche méthodologique est présentée dans la troisième partie. La quatrième partie porte sur les résultats et est suivie d'une discussion et de la conclusion.

## 1. L'ANALYSE DU CHANGEMENT EN TÉLÉDÉTECTION

Singh (1989) définit la détection du changement comme : « la procédure d'identification des différences d'état d'un objet ou d'un phénomène en l'observant à des moments différents ». Aujourd'hui, de nombreux travaux de recherches ont recours aux potentialités de la télédétection afin de suivre les changements de la surface terrestre et étudier les phénomènes dynamiques qui affectent les écosystèmes (désertification, déforestation, etc.).

### 1.1. Le changement en télédétection optique

En télédétection optique, certaines méthodes d'analyse du changement se basent sur l'hypothèse que les changements d'occupation du sol se traduisent par des variations du signal (la réflectance). Ces variations,

lors d'une analyse multitemporelle (Hayes *et al.*, 2001 ; Afify, 2011), doivent apparaître dominantes par rapport à celles issues d'autres facteurs (conditions atmosphériques ou états phénologiques de la végétation). Les variations radiométriques sont mises en valeur en utilisant divers types de traitement d'images que l'on divise en trois grands groupes: les méthodes préclassificatoires, les méthodes de classifications multidates, les méthodes postclassificatoires (Hayes *et al.*, 2001).

Ainsi, Maimouni *et al.* (2011) observent que les changements subtils de la couleur et de la minéralogie du sol ainsi que les variations de la structure et de la répartition spatiale de la végétation peuvent être des indicateurs de changements et de dégradations des milieux naturels. L'article porte sur l'analyse des potentiels et des limites des indices spectraux pour la caractérisation de la dégradation des sols dans un environnement semi-aride (Haut Atlas marocain) à partir de données ALI (Advanced Land Imager) et d'un modèle numérique de terrain. Les résultats obtenus indiquent que l'intégration des bandes du proche infrarouge et des courtes longueurs d'ondes de l'infrarouge améliore significativement le pouvoir discriminant des indices spectraux.

De côté, Yang *et al.* (2013) développent à partir de données multitemporelles (1987-2006), multispectrales et multicapteurs (Landsat et Quick Bird), une nouvelle méthode de détection et de quantification des changements. Basée sur un algorithme d'arbre de régression, la méthodologie est appliquée aux zones humides du nord du golfe du Mexique. Les auteurs évaluent la performance de leur méthode à travers un ensemble de données de référence indépendantes (une image Quick Bird à haute résolution) et plusieurs indices statistiques (Erreur moyenne, Erreur relative, Coefficient de corrélation de Pearson). Les fortes corrélations entre les données de référence et les résultats obtenus (0,90-0,96 ; 0,80-0,89 et 0,79-0,86 respectivement au niveau de l'eau, du couvert végétal et des sols) sont à mettre au compte de la bonne qualité des données et de l'étalonnage rigoureux appliqué aux données multitemporelles.

En définitive, les auteurs (Maimouni *et al.*, 2011 ; Yang *et al.*, 2013) en viennent à la conclusion que les changements de surface sont facilement perceptibles à partir de données optiques multidates, multispectrales et multicapteurs en raison des variations que l'on observe au niveau de la réflectance.

## **1.2. Le changement en télédétection radar**

Les données radar présentent des caractéristiques nécessitant des traitements spécifiques en analyse du changement. Ainsi, Cihlar *et al.* (1992)

présentent la première étude d'analyse de changements portant sur des différences d'images radar multitemporelles et saisonnières des régions de moyennes latitudes (Ottawa). L'approche présentée s'organise en deux phases : 1) l'analyse multitemporelle des coefficients de rétrodiffusion de neuf images radar à l'aide de données optique et météorologique ; 2) la réalisation de différences d'images de  $\sigma^0$ . Ces deux étapes visent à établir des liens entre l'évolution des différentes classes d'occupation du sol et les observations au sol. La technique de différenciation d'images adoptée dans cette étude constitue selon les auteurs, une méthode efficace et pratique pour l'identification de cibles dont la rétrodiffusion a sensiblement changé entre deux dates d'acquisition.

De leur côté, Liao *et al.* (2008) proposent à partir d'une série d'images radar multitemporelles, une approche non dirigée de détection de changements dans les zones urbaines de *Shanghai, China*. L'approche comporte deux étapes principales: 1) la réalisation de différences d'images de  $\sigma^0$  afin de mettre en évidence les zones de changements et 2) la mise en œuvre d'un seuillage bi-dimensionnel non dirigé (2D) à partir du signal complexe radar. L'aspect novateur de cette approche réside dans l'utilisation conjointe des caractéristiques de la cohérence et de l'intensité de l'imagerie radar ; et les auteurs notent que les résultats expérimentaux obtenus à partir des six images ERS 1-2 sont prometteurs.

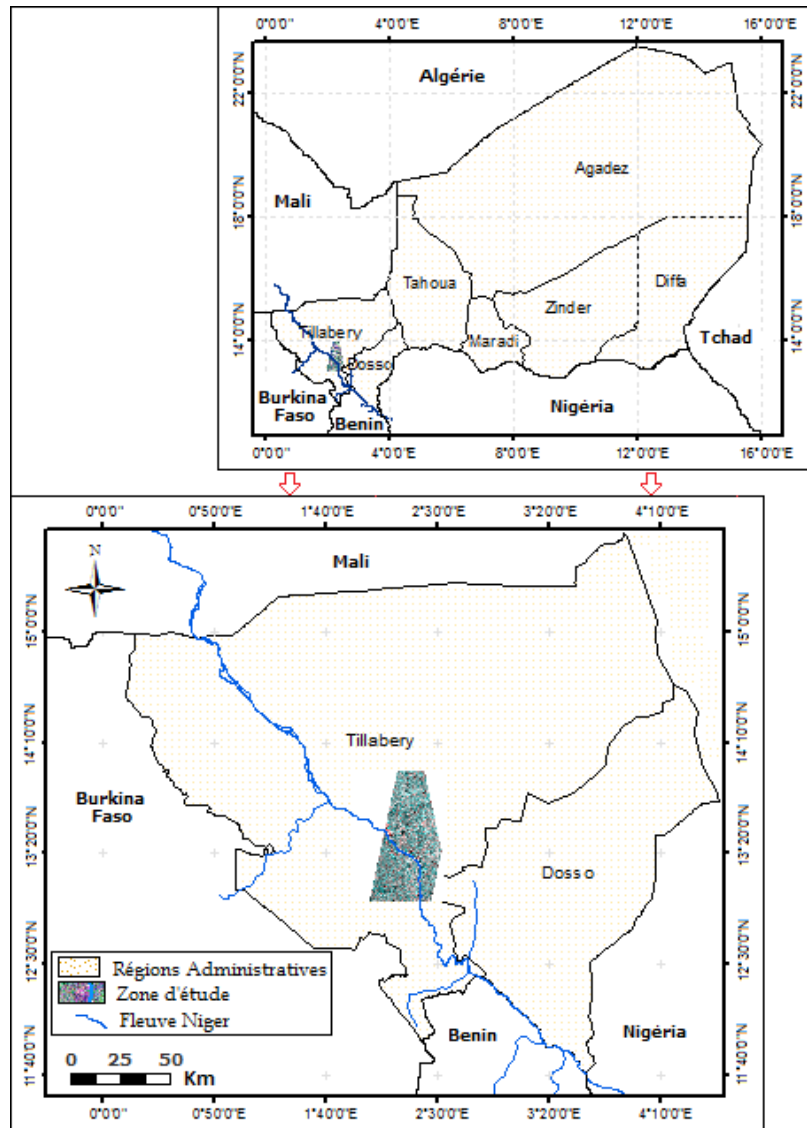
Au total, de nombreux travaux de recherches concernant la détection des changements des surfaces terrestres à partir de données de télédétection ont été réalisés depuis une trentaine d'années (Singh, 1989 ; Madanian *et al.*, 2012 ; Jovanović *et al.*, 2015). L'analyse en composantes principales (ACP) avec pour intrant des images de « différences de  $\sigma^0$  » est retenue dans le cadre de cette étude comme méthode en raison de la récurrence de son utilisation dans la littérature (Lu *et al.*, 2004 ; Chenet *et al.*, 2008 ; Kennedy *et al.*, 2009) et de son potentiel en détection des changements (Nori *et al.*, 2008 ; Pathak, 2014).

## 2. SITE D'ÉTUDE ET DONNÉES UTILISÉES

### 2.1. Site d'étude

Le site d'étude est compris entre les latitudes  $12^{\circ} 58'$  à  $13^{\circ} 57'$  N et les longitudes  $1^{\circ} 59'$  à  $2^{\circ} 32'$  E (figure 1).

Figure 1 : Localisation du site d'étude



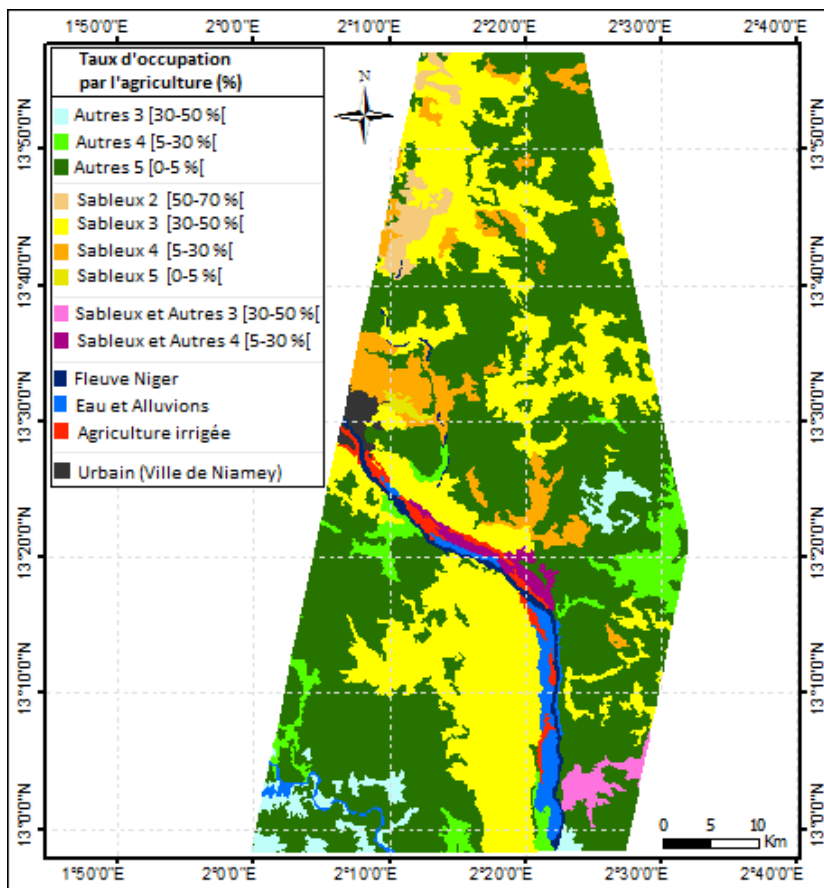
Source: Hapex-Sahel, 1992

Réalisation: Sylla D.

## VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DES ÉTATS DE SURFACE À PARTIR DE DONNÉES RADAR AU SUD-OUEST DU NIGER

Les principales caractéristiques climatiques de cet espace qu'englobe le degré carré de Niamey (site du projet HAPEX-sahel, 1992) sont celles d'un climat de type sahélien semi-aride à aride avec une forte hétérogénéité spatiale et temporelle des précipitations. Ces précipitations s'étendent sur trois à quatre mois et divisent l'année en deux saisons : l'une humide (mai-juin à septembre) avec un maximum de précipitation en août, l'autre sèche d'octobre à avril-mai. La végétation est principalement formée de « brousse tigrée » sur les plateaux gréseux et cuirassés, de jachères sur le substrat sableux des versants et de cultures (figure 2 ; Ambouta, 1984). La figure 2 est un extrait de la carte d'occupation et d'utilisation du sol dans le sud-ouest du Niger et illustre la complexité paysagère de l'environnement sahélien où les différents types d'occupation et d'utilisation du sol ont une grande mouvance intersaisonnière et interannuelle (D'Herbes *et al.*, 1995).

Figure 2 : Occupation et utilisation du sol de l'espace d'étude



Source: Hapex-Sahel, 1992

Réalisation: Sylla D.

## 2.2. Données utilisées

Huit mosaïques d'images radar en bande C (5,3 GHz) ayant 12,5 m de limite de résolution spatiale et couvrant les saisons humides du 12 août 1993 au 20 août 2009 ont été utilisées pour la réalisation de ce travail de recherche (tableau 1). Le choix de la saison humide répond au besoin d'une meilleure caractérisation des états de surface. En effet, sur l'espace d'étude, la pluie est le principal élément affectant la croissance de la végétation, sa distribution spatio-temporelle de même que les variations saisonnières de l'humidité et de la rugosité du sol (Magagi *et al.*, 2007). En outre, la saison humide exacerbe les phénomènes d'érosions hydrique et éolienne responsables en grande partie de la dégradation des sols dans cet espace semi-aride (Renard *et al.*, 1990).

Tableau I: Caractéristiques des images Radar

Année	Date d'acquisition	Capteurs	Mode d'acquisition et angle d'incidence (°)	Polarisation
1993	12 août	ERS-1	23	VV
	16 septembre	ERS-1	23	VV
1994	11 août	ERS-1	23	VV
1997	19 juin	ERS-1	23	VV
2003	24 août	ERS-2	23	VV
2004	4 juillet	ENVISAT	IM ; IS2 : 19,2-26,7	VV
	8 août	ENVISAT	IM ; IS2 : 19,2-26,7	VV
2009	20 août	ERS-2	23	VV

Source : ASAR products specifications, 2012

## 3. DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

La méthodologie adoptée pour l'analyse des changements des états de surface à partir des données radar est présentée dans l'organigramme de la figure 3.

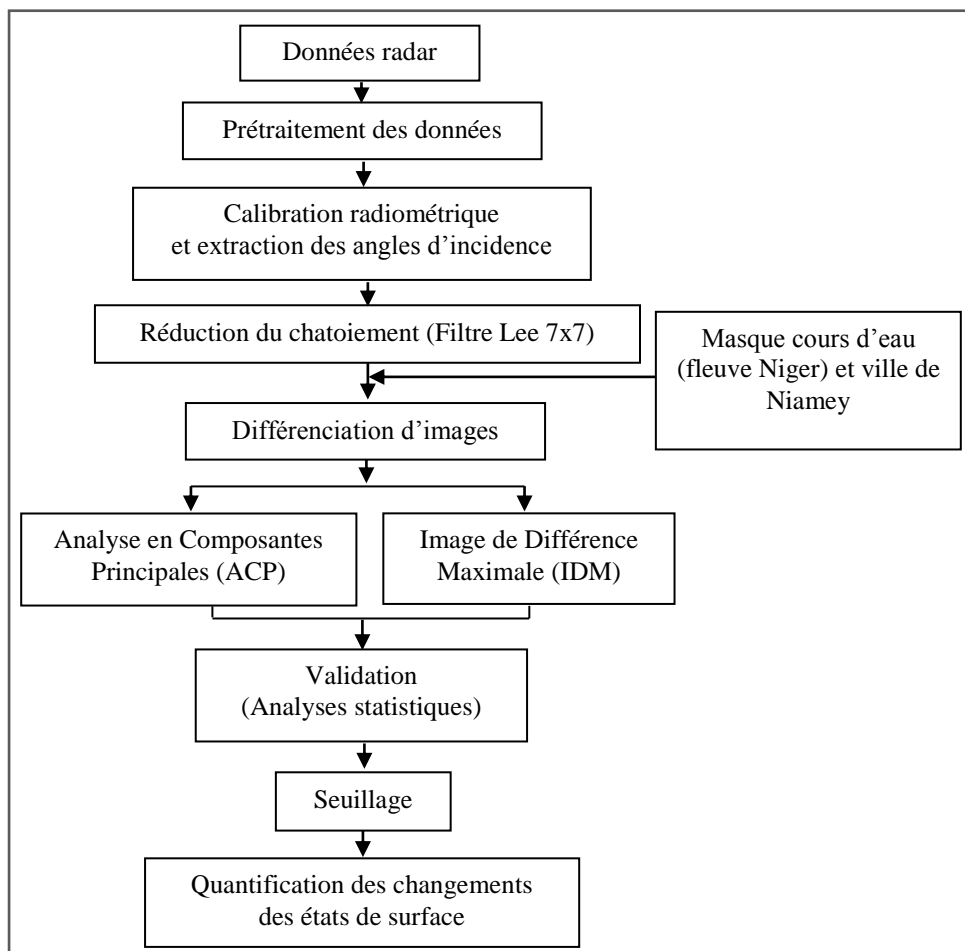
Avant de développer la méthode, une phase préliminaire consiste aux traitements des images radar (calibration radiométrique, filtrage du coefficient de rétrodiffusion) et la création d'un masque sur le fleuve Niger et la ville de Niamey. La méthodologie utilisée pour la détection des changements des états de surface se subdivise en trois grandes phases : (1) une analyse en composantes principales utilisée suivant l'approche de Gong (1993) et reprise par d'autres chercheurs (Moisan, 1996 ; Rogan *et al.*, 2004 ; Afify, 2011). Suivant cette approche, Gong (1993) préconise de soumettre à l'ACP non pas les images originales mais plutôt des « images de

## VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DES ÉTATS DE SURFACE À PARTIR DE DONNÉES RADAR AU SUD-OUEST DU NIGER

changements » dérivées des « différences de  $\sigma^0$  » des images originales. L'idée qui guide cette transformation préalable des données originales est que :

- 1) la première composante principale devient une moyenne des « différences de  $\sigma^0$  » de sorte que les changements s'y trouvent concentrés (Moisan, 1996 ; Rodarmel *et al.*, 2002 ; Henry *et al.*, 2004) ;
- 2) l'image de différence maximale (IDM) constitue une image où la valeur de chaque pixel exprimée en décibel (dB) représente la valeur maximale des images de « différence de  $\sigma^0$  » utilisées ;
- 3) le seuillage réalisé sur la première composante principale permet de dégager cinq classes exprimant l'intensité des changements des états de surface (Washington-Allen *et al.*, 1998 ; Ghoshe *et al.*, 2009 ; Forkuo *et al.*, 2012).

Figure 3 : Organigramme méthodologique



## 4. RESULTATS

### 4.1. La quantification des changements par l'analyse en composantes principales

À partir de l'image la plus ancienne de la série temporelle, c'est-à-dire celle du 12 août 1993, sept images de « différence de  $\sigma^0$  » sont réalisées. Dans l'ensemble, les corrélations entre ces images de « différence de  $\sigma^0$  » sont faibles et lorsqu'elles sont soumises à une ACP, la CP1 concentre moins de 45 % de variance de l'ensemble des variables de départ (tableau II). En effet, le résultat de l'ACP vise à produire des variables non corrélées et la transformation par composantes principales (CP) n'est efficace que si les variables d'entrée sont corrélées (Rodarmel *et al.*, 2002 ; Jiang *et al.*, 2005 ; Jovanović *et al.*, 2015).

Tableau II : Pourcentage de variance expliquée par les composantes principales

Composantes Principales	Variance (%)
CP1	44,29
CP2	15,04
CP3	13,34
CP4	9,89
CP5	6,69
CP6	5,78
CP7	4,97

Source : Base de données images radar disponibles, 2015

Cette faible concentration de variance (moins de 45 %) observée sur la CP1 pose la pertinence de ce néo-canal à rendre compte des changements survenus au sein de l'espace d'étude au cours de la période d'intérêt (12 août 1993 au 20 août 2009). Afin de répondre à cette préoccupation, il a été produit une matrice de corrélation (tableau III) entre les composantes principales et les images de « différence de  $\sigma^0$  » (Moisan, 1996 ; Rogan *et al.*, 2004). Cette matrice de corrélation (tableau III) montre que pour l'ensemble des sept images de « différences de  $\sigma^0$  », il existe un fort coefficient de corrélation entre la première composante et les images de

VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DES ÉTATS DE SURFACE À PARTIR DE  
DONNÉES RADAR AU SUD-OUEST DU NIGER

changements que constituent les images de « différence de  $\sigma^0$  » retenues (0,60 ; 0,74 ; 0,75).

Tableau III : Matrice de corrélation entre les composantes principales et les images de différences de  $\sigma^0$

	Différence 1	Différence 2	Différence 3	Différence 4	Différence 5	Différence 6	Différence 7
<b>CPI</b>	-0,55	0,62	0,61	0,71	0,60	0,75	0,74
CP2	0,01	-0,04	0,64	-0,30	0,50	-0,17	-0,40
CP3	0,13	0,46	-0,35	0,21	0,23	0,26	-0,50
CP4	0,09	0,55	0,20	0,10	-0,39	-0,41	-0,02
CP5	-0,14	-0,23	0,22	0,42	-0,31	0,18	-0,21
CP6	-0,31	0,18	0,10	-0,39	-0,23	0,36	-0,01
CP7	-0,74	0,09	-0,02	0,16	0,17	-0,10	0,06

Source : Base de données images radar disponibles, 2015

Le tableau III illustre le fait que la première composante est une « moyenne » des variables de départ, en l'occurrence des images de « différence de  $\sigma^0$  ». En revanche, si la CPI est une moyenne des variables de départ, donc représentative de l'information de changements, force est de reconnaître qu'avec moins de 45 % de variance relative expliquée, une proportion non négligeable de l'information de changements (55,71 %) se trouve dispersée sur les autres composantes (tableau II). Aussi, une image de différence maximale (IDM) est-elle produite afin de combler cette insuffisance.

#### 4.2. L'apport de l'IDM dans la quantification des changements

D'après Moisan (1996), les fortes corrélations entre la première composante et les images de changements observées plus haut (tableau III) permettent de supposer qu'une forte corrélation existe entre cette première composante et l'IDM créée à partir des images de « différence de  $\sigma^0$  » inscrites dans le tableau III. Comme observé dans d'autres études (Moisan, 1996 ; Hu, 2007), la matrice de corrélation entre les composantes principales et l'IDM montre un très fort coefficient de corrélation linéaire avec la première composante (tableau IV).

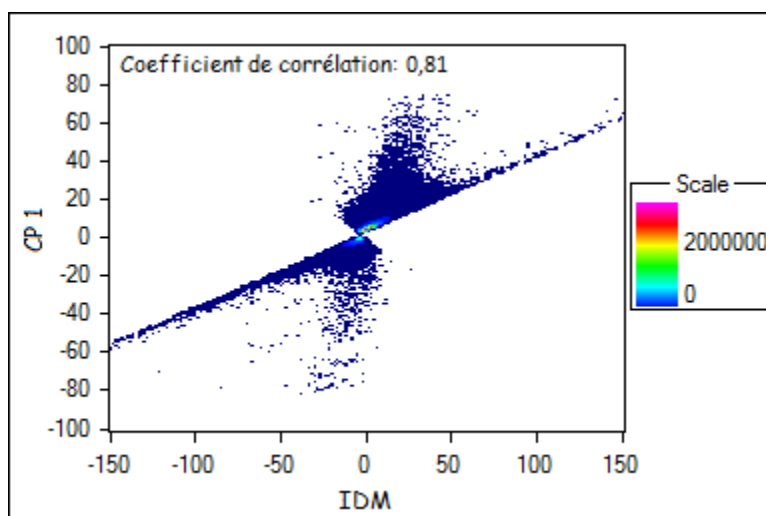
Tableau IV : Matrice de corrélation entre l'IDM et les composantes principales

Composantes Principales	Image de Différence Maximale (%)
CP 1	<b>0,81</b>
CP 2	0,26
CP 3	0,28
CP 4	0,01
CP 5	-0,08
CP 6	0,01
CP 7	0,05

Source : Base de données images radar disponibles, 2015

Par ailleurs, une comparaison des données des tableaux III et IV montre que le coefficient de corrélation linéaire de la première composante est légèrement plus élevé avec l'IDM (0,81 ; figure 4) qu'avec toute autre image de changement (0,75).

Figure 4 : Corrélation entre la CP1 et l'IDM



Source : Base de données images radar disponibles, 2015

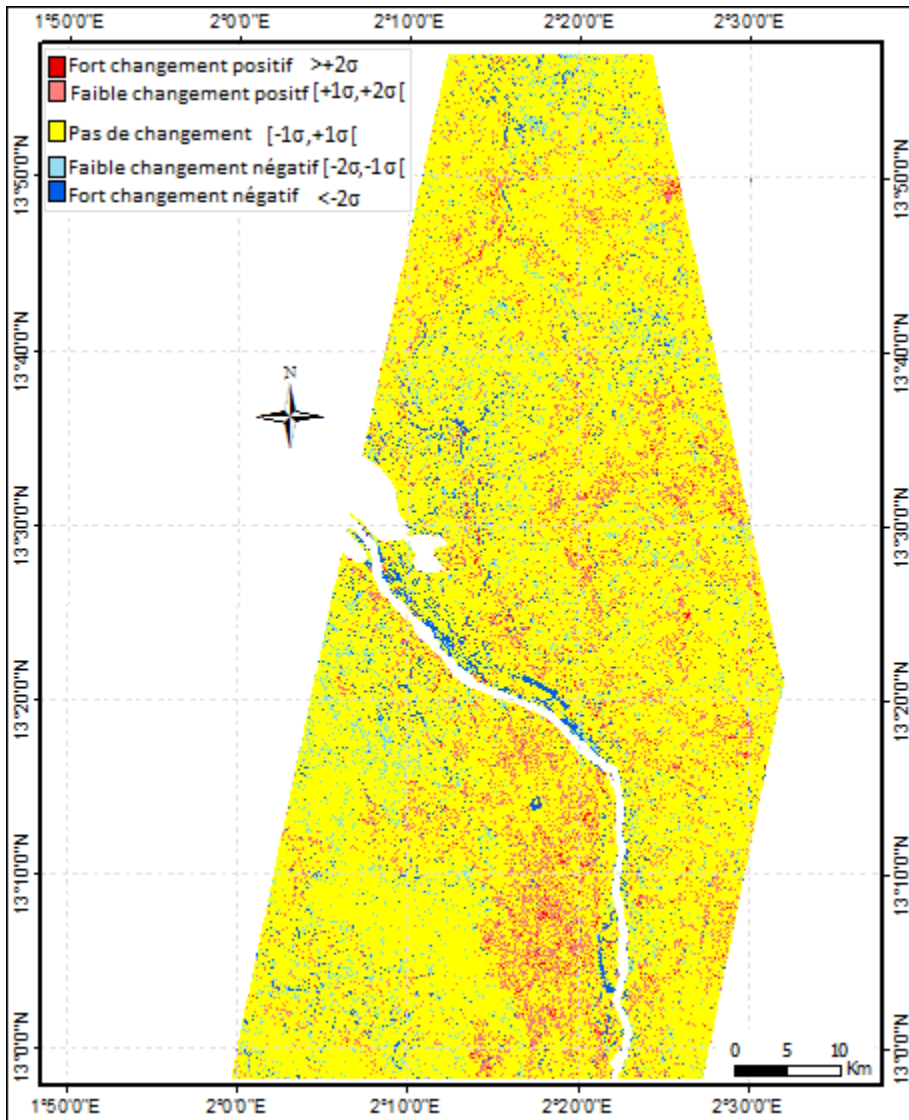
Fort de ces différentes observations, nous pouvons donc interpréter l'image de différence maximale (IDM) comme étant indicatrice des changements maxima. À la lumière de ces résultats, il est donc possible d'exprimer l'intensité des changements d'occupation et d'utilisation du sol au

## VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DES ÉTATS DE SURFACE À PARTIR DE DONNÉES RADAR AU SUD-OUEST DU NIGER

cours de la période d'intérêt à partir du seuillage basé sur la distribution des valeurs de l'IDM. À partir de l'écart-type ( $\sigma$ ) de cette distribution (2,47491), cinq classes sont définies ainsi que le sens du changement :  $[-1\sigma, +1\sigma[$  ;  $[+1\sigma, +2\sigma[$  ;  $>+2\sigma$  ;  $[-2\sigma, -1\sigma[$  ;  $<-2\sigma$  (figure 5).

Les pixels associés à chacune de ces classes correspondent respectivement à des endroits où des changements temporels plus ou moins importants des états de surface sont observés.

Figure 5 : Carte de changements issue de l'image de différence maximale



Source: Nos travaux, 2015

Réalisation: Sylla D.

La détection des changements d'occupation et d'utilisation du sol en saison humide sur la période du 12 août 1993 au 20 août 2009 permet d'observer qu'une part importante de l'espace d'étude est non affectée par les changements (82 % ; tableau V).

Tableau V : Proportions de changements et de non changements sur l'image de différence maximale

Images du 12 août 1993 au 8 août 2004	Classes de changements et de non changements				
	<i>Pas de changement</i> [-1 $\sigma$ , +1 $\sigma$ [	Faibles changements positifs [+1 $\sigma$ , +2 $\sigma$ [	Forts changements positifs >+2 $\sigma$	Faibles changements négatifs [-2 $\sigma$ , -1 $\sigma$ [	Forts change- ments négatifs <-2 $\sigma$
Proportions par classe	82,10 %	10,18 %	0,65 %	4,03 %	3,04 %
Superficies par classe	357709	44336	2848	17536	13249
Superficie totale	435678				

Source : Base de données images radar disponibles, 2015

Par ailleurs, nous notons que les proportions de changements positifs et de changements négatifs sont dissemblables : les changements positifs (10,83 %) surclassent sensiblement les changements négatifs (8,07 %). En outre, on observe que le nord agricole et le domaine sableux au sud du fleuve Niger connaissent d'importants changements positifs. En effet, ces portions de l'espace d'étude sont dédiées à la culture du mil pendant la période humide de l'année (mai-juin à septembre). Dans le même temps, le long du fleuve Niger, dans certains talwegs et fonds de vallée (figure 5), on enregistre des changements négatifs.

## 5. DISCUSSIONS

La méthode de différenciation d'images explorée au cours de cette étude pour la détection des changements d'occupation et d'utilisation du sol procède « pixel par pixel » et identifie en fonction d'un seuil fixé de façon arbitraire (Farias, 2003), des espaces de non changement, de changements positifs et de changements négatifs. Toutefois, cette méthode ne donne aucune indication sur la nature des pixels d'intérêt et les superficies sous l'emprise des différents états sont essentiellement tributaires du seuil choisi (Farias, 2003 ; Sahoo *et al.*, 2004). Aussi doit-on envisager dans le cadre

d'une étude ultérieure, de recourir à la détection des changements par la méthode post-classification afin de corriger ces insuffisances. En effet, cette méthode post-classification est de type « orientée-objet » et ne traite pas le pixel de manière isolée, mais dans son contexte en les regroupant au sein d'objets interprétés en fonction de leurs valeurs spectrales, leur taille, leur forme et leur contexte (Benz *et al.*, 2004 ; Jensen, 2005).

Par ailleurs, toutes les images utilisées dans cette étude ont un faible angle d'incidence (23°). Or, de nombreuses études (Luet *et al.*, 2004 ; Preiss *et al.*, 2006) montrent que la réponse du coefficient de rétrodiffusion à une variation des différents types d'occupation et d'utilisation du sol est très influencée par l'angle d'incidence. Il serait donc judicieux afin d'affiner les résultats obtenus dans le cadre de cette étude, de disposer d'images ayant de forts angles d'incidence à [33°-35°-39°-47°].

En outre, étant donné la forte sensibilité du signal radar aux conditions d'observation du capteur et de la cible, la prise en compte des images de saison sèche pourrait permettre une bonne caractérisation et un meilleur suivi de l'évolution temporelle des types d'occupation et d'utilisation du sol avec des niveaux de contrastes différents selon les conditions du milieu. En effet, la rétrodiffusion est d'autant plus forte que la teneur en eau du milieu est élevée tandis qu'un sol sec représente une condition optimale pour distinguer un sol nu d'un sol couvert de végétation (Magagi *et al.*, 2007 ; Zribi *et al.*, 2011).

## CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif d'analyser les changements des états de surface dans le sud-ouest du Niger. Les résultats ont permis d'évaluer les potentialités de l'ACP appliquée sur des images de différences de  $\sigma^0$ , comme outil de détection des changements. La première composante concentre l'information de changements. Et la forte corrélation entre cette première composante et l'image de différence maximale permet de conclure qu'elle exprime effectivement les changements significatifs de  $\sigma^0$ . Le seuillage basé sur la distribution des valeurs de l'image de différence maximale en tenant compte de la moyenne et de l'écart type de cette distribution a permis de déterminer cinq grandes classes de changements. Dans le cadre de travaux ultérieurs, une règle de fusion probabiliste définie par la théorie de Dempster-Shafer et basée sur la configuration multiangulaire et multitemporelle des données radar, sera développée. Elle utilisera ces données radar et des données auxiliaires afin de caractériser les changements observés au niveau des états de surface.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFIFY (H.A.), 2011. « Evaluation of change detection techniques for monitoring land-cover changes: A case study in new Burg El-Arab area » in *Alexandria Engineering Journal*, vol. 50, pp. 187-195.
- AMBOUTA (K.), 1984. « Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'Ouest Nigérien ». Thèse de Docteur-Ingénieur, Centre de Pédologie Biologique, Université de Nancy I, 132 p.
- BENZ (U.C.), HOFMANN (P.), WILLHAUCK (G.), LINGENFELDER (I.), HEYNEN (M.), 2004. « Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information » in *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 58, pp. 239-258.
- CHEN (S.), RAO (P.), 2008. « Land degradation monitoring using multi-temporal Landsat TM/ETM data in a transition zone between grassland and cropland of northeast China » in *International Journal of Remote Sensing*, vol. 29, n° 7, pp. 2055-2073.
- CIHLAR (J.), PULTZ (J.T.), GRAY (A.L.), 1992. « Change detection with synthetic aperture radar » in *International Journal of Remote Sensing*, vol. 13, n°3, pp. 401-414.
- Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED), 1992. *Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement*. RIO, Agenda 21, Chapitres 3-14-26, 344 p.
- D'HERBES (J.M.), DELABRE (E.), LOIREAU (M.), 1995. « Bases écologiques pour une spatialisation des données recueillies dans le cadre de l'expérience Hapex-Sahel » in *Hydrologie et Météorologie de Méso-échelle dans Hapex-Sahel*, ORSTOM, Paris, pp. 181-207.
- European Space Agency (ESA), 2012. Envisat-1 Products Specifications, vol. 8-ASAR products specifications. *Macdonald Dettwiler*, 188 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2008. *Land degradation Assessment in Dryland (LADA)*.
- FARIAS (F.), 2003. *Land cover change in a rural area of the forest-steppe ecotone of Andean Patagonia, Argentina: Utilizing Landsat data for the detection and analyzing the change*. Master of Environmental Science, Lund University International Master's, 50 p.
- FORKUO (E.K.), FRIMPONG (A.), 2012. « Analysis of Forest Cover Change Detection » in *International Journal of Remote Sensing Applications*, vol. 2, Issue 4, pp. 82-92.
- GHOSH (S.), PATRA (S.), GHOSH (A.), 2009. « An unsupervised context-sensitive change detection technique based on modified self-organizing

- feature map neural network » in *International Journal of Approximate Reasoning*, vol.50, pp. 37-50.
- GONG (P.), 1993. « Change detection using principal component analysis and fuzzy set theory » in *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 19, n° 1, pp. 21-29.
- HAYES (D.J.), SADER (S.A.), 2001. « Comparison of Change Detection Techniques for Monitoring Tropical Forest Clearing and Vegetation Regrowth in a Time Series » in *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 67.n° 9, pp. 1067-1075.
- HENRY (J.-B.), MATGEN (P.), THOLEY (N.), PFISTER (L.), DE FRAIPONT (P.), HOFFMANN (L.), 2004. « SAR PCA-based segmentation for hydraulic patterns identification » in *CEOS-SAR Workshop*, 7 p.
- HU (Z.), 2007. « Using NDVI Differencing and Temporal Logic to Enhance ISODATA Classification in Urban Environments » in *GIScience & Remote Sensing*, vol. 44, n° 1, p. 48-67.
- JENSEN (J.R.), 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 3<sup>rd</sup> Ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 318 p.
- JIANG (L.), LIAO (M.), LIN (H.), 2005. « Unsupervised change detection in urban area using multi-temporal ERS InSAR data » in *Proceedings of the First International Symposium on Cloud-prone And Rainy Areas Remote Sensing*, Hong Kong, unpaginated CD-ROM.
- JOVANOVIĆ (D.), GOVEDARICA (M.), SABO (F.), BUGARINOVIĆ (Z.), NOVOVIĆ (O.), BEKER (T.), LAUTER (M.), 2015. « Land Cover change detection by using Remote Sensing-A case study of Zlatibor (Serbia) » in *Geographica Pannonica*, vol.19, Issue 4, pp. 162-173.
- KENNEDY (R.E.), TOWNSEND (P.A.), GROSS (J.E.) COHEN (W.B.), BOLSTAD (P.), WANG (Y.Q.) ADAMS (P.), 2009. « Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects » in *Remote Sensing of Environment*, vol. 113, pp. 1382-1396.
- LIAO (M.), JIANG (L.), LIN (H.) HUANG (B.), GONG (J.), 2008. « Urban change detection based on coherence and intensity characteristics of SAR imagery » in *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 74, n° 8, pp. 999-1006.
- LU (D.), MAUSEL (P.) BRONDIZIO (E.), MORAN (E.), 2004. « Change detection techniques » in *International Journal of Remote Sensing*, vol. 25, n° 12, pp. 2365-2407.

- MADANIAN (M.A.), ALIREZA SOFFIANIAN (A.), FAKHERAN (S.), 2012. « Monitoring Land Use/Cover Changes Using Different Change Detection Techniques (Case Study: Falavarjan Area, Isfahan, Iran) » in *International Conference on Applied Life Sciences (ICALS)*, Turkey, pp. 155-160.
- MAGAGI (R.), KERR (Y.H.), 2007. « Suivi temporel de la rugosité du sol d'une zone sahélienne à partir des données du diffusiomètre vent à bord d'ERS-1 » in *Revue Télédétection*, vol. 7, n° 1-2-3-4, pp. 525-540.
- MAIMOUNI (S.), BANNARI (A.), EL-HARTI (A.), EL-GHMARI (A.), 2011. « Potentiels et limites des indices spectraux pour caractériser la dégradation des sols en milieu semi-aride » in *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 37, n° 3, pp. 285-301.
- MOISAN (Y.), 1996. *Restauration de la réflectivité et détection des changements dans une série d'images C-ERS-1 de type RGH à l'aide de la transformation par composantes principales*. Thèse de doctorat, Département de géographie et télédétection, Université de Sherbrooke, 210 p.
- NORI (W.), ELSIDDIG (E.N.), NIEMEYER (I.), 2008. « Detection of land cover changes using multi-temporal satellite imagery » in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XXXVII, part B7, pp. 947-952.
- PATHAK (S.), 2014. « New Change Detection Techniques to monitor land cover dynamics in mine environment » in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. vol. XL-8, Hyderabad, India, pp. 875-879.
- PREISS (M.), GRAY (D.A.), STACY (N.J.S.), 2006. « Detecting scene changes using synthetic aperture radar interferometry » in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, n°8, pp. 2041-2054.
- RENARD (C.), VANDENBELDT (R.J.), 1990. « Bordure d'Andropogon gayanus Kunth comme moyen de lutte contre l'érosion éolienne au Sahel » in *L'Agronomie Tropicale*, vol.45, n°3, pp. 227-231.
- RODARMEL (C.), SHAN (J.), 2002. « Principal Component Analysis for Hyperspectral Image Classification » in *Surveying and Land Information Systems*, vol. 62, n° 2, pp.115-122.
- ROGAN (J.), CHEN (D.-M.), 2004. « Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change » in *Progress in Planning*, vol. 61, pp. 301-325.
- ROGERSON (P.A.), 2001. « Change detection thresholds for remotely sensed images » in *Journal of Geographical Systems*, vol. 4, pp. 85-97.

- SAHOO (P.K.), ARORA (G.), 2004. « A thresholding method based on two-dimensional Renyi's entropy » in *Pattern Recognition*, vol. 37, n° 6, pp.1149-1161.
- SINGH (A.), 1989. « Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data » in *International Journal of Remote Sensing*, vol. 10, n° 6, pp. 989-1003.
- WASHINGTON-ALLEN (R.A.), RAMSEY (R.D.), NORTON (B.E.) AND WEST (N.E.), 1998. « Change detection of the effect of severe drought on subsistence agropastoral communities on the Bolivian Altiplano » in *International Journal of Remote Sensing*, vol. 19, n° 7, pp. 1319-1333.
- YANG (L.), HOMER (C.), BROCK (J.), FRY (J.), 2013. « An efficient method for change detection of soil, vegetation and water in the Northern Gulf of Mexico wetland ecosystem » in *International Journal of Remote Sensing*, vol. 34, n° 18, pp. 6321-6336.
- ZRIBI (M.), CHAHBI (A.), SHABOU (M.), LILI-CHABAANE (Z.), DUCHEMIN (B.), BAGHDADI (N.), AMRI (R.), CHEHBOUN (A.), 2011. « Soil surface moisture estimation over a semi-arid region using ENVISAT ASAR radar data for soil evaporation evaluation » in *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 15, pp. 345-358.