

Article original

Contribution de la Télédétection à la caractérisation des espaces favorables aux cultures irriguées et de décrue au Tchad : cas du bassin versant inférieur du Logone

Antoinette DENENODJI¹, Bernard GONNE², Agnès BEGUE³, Baohoutou Laohote⁴, Ouya Bondoro¹, Djimassal Datoloum¹, Joseph Libar¹

1. Centre National de Recherche pour le Développement (Tchad), Email : dene.antou17@gmail.com

2. Enseignant-chercheur, Université de Maroua-Cameroun

3. CIRAD-UMR TETIS Montpellier-France.

4. Université de N'Djamena (Tchad)

Article soumis le 22/02/2017 et accepté le 26/12/2017

Résumé : L'étude est menée sur la partie inférieure du bassin versant du Fleuve Logone s'étendant entre 11° et 12° de latitude Nord, puis 15° et 15.43° de longitude Ouest avec une superficie de 2637 km² dans le département du Chari, de la région du Chari-Baguirmi au Tchad. Elle vise à déterminer la dynamique des eaux de surface à partir d'une analyse spatio-temporelle par les séries temporelles de différents types d'occupation du sol. Dans cette étude, nous avons utilisé le produit journalier de MODIS / Terra réflectance de surface 8 jours L3 500m mondial qui est «MOD09A1». Il s'agit d'un produit de sept bandes dans les domaines visibles, proche infrarouge et moyen infrarouge.

La méthodologie utilisée, en plus du traitement numérique des images satellites se base sur la reconnaissance des objets à partir de travaux de terrain et en relation avec des supports déjà réalisés : cartes de végétation (CNAR, 2014) et de carte Topographique (IGN, 1958). L'indice de l'eau par différentiel normalisée (NDWI) est calculé à partir des images MODIS. Il est utilisé pour la réalisation des séries temporelles en tenant compte du contexte pluviométrique des années très pluvieuse 2003, moyennement stressée 2012 et très stressée

2002 en terme de cumul annuel. L'indice NDWI a subi un traitement de classification par seuillage entre 0,25 et 0,6. Il en résulte la dynamique des surfaces inondées caractérisées qui ont été cartographiées montrant ainsi des espaces inondées non-cultivées. Les surfaces inondées cartographiées sont utiles pour les pratiques des cultures irriguées et de décrues.

Mots-clés : Fleuve Logone, NDWI, Tchad, analyse spatio-temporelle, occupation du sol, MODIS

Abstract: The study is undertaken on the lower part of the catchment area of the Logone River extending between 11 and 12 from Northern latitude, then 15 and 15.43 of Western longitude with a surface of 2637 km² in the department of Chari of the area of Chari-Baguirmi in Chad. It aims at determining the modifications of surface water starting from a space-time analysis by the time serieses of various types of occupation of the ground. In this study, we used the daily product of MODIS/Terra reflectance of surface 8 days world L3 500m which is "MOD09A1". It is about a product of seven bands in the visible fields near infra-red and average infra-red. Methodology used, in addition to the digital processing of the satellite images is based on the recognition of the objects starting from work of ground and in relation to supports already carried out : charts of vegetation (CNAR, 2014) and of Topographic chart (IGN, 1958). The index of water by differential standardized (NDWI) calculated starting from images MODIS underwent a treatment of classification by thresholding between 0,25 and 0,6. What allowed the characterization of flooded surfaces and the follow-up of their evolution according to time. This cartography reveals a modification of not-cultivated flooded spaces on the one hand and easily flooded fields cultivated on the other hand. However, the interpretation of the results must take account of the pluviometric context of the years very rainy 2003, fairly stressed 2012 and very stressed 2002 in term of annual office plurality and the determining role of the space dynamics of the land use as regards irrigated culture and fall.

Keywords: river Logone, NDWI, Chad, analyze space-time, occupation of the ground, MODIS

Introduction

Le Bassin versant inférieur du Logone, situé entre les fleuves Logone et Chari dans le Sud-Ouest du Tchad fait partie du domaine soudano-sahélien soumis à de fortes contraintes édapho-climatiques.

Les principales activités sont l'agriculture, l'élevage, la pêche et la cueillette qui s'imbriquent sur un même espace et qui sont exercées aussi bien par les populations sédentaires autochtones que par les

transhumants. La monoculture est monnaie courante dans ce bassin. La culture des principales céréales (mil et sorgho) se pratique chaque année sur les mêmes parcelles, sans apport d'engrais. Beaucoup de produits des cultures de décrue, tels que pommes de terre, choux ou haricots verts etc., ne sont pas rentrés dans les habitudes alimentaires locales. Le riz n'est cultivé qu'en pluvial, et la culture du sorgho berbéré n'est connue que d'une minorité.

Avec la pression démographique croissante et une production de l'agriculture pluviale à la baisse (à cause du régime pluviométrique actuel, et de l'appauvrissement des terres due à un nombre réduit d'années de mise en jachère), l'augmentation de la production est souvent recherchée par le biais de l'extension des surfaces mises en culture. Ainsi, on assiste à une forte consommation d'espace qui se traduit concrètement par le défrichement du couvert végétal.

De même, depuis plus de trois décennies l'activité pastorale est elle aussi soumise à de nombreuses contraintes liées aux aléas climatiques, à la croissance démographique et à l'extension des terres cultivées qui se fait au détriment des espaces pastoraux. Ces changements suscitent des enjeux fonciers importants et déclenchent une compétition accrue entre les différents utilisateurs (éleveurs et agriculteurs autochtones, agro-éleveurs sédentaires et éleveurs transhumants) pour des ressources communes (eau et ressources pastorales).

Dégradation de l'environnement, baisse des productions agropastorales et situation d'insécurité tant alimentaire qu'énergétique, sont les causes de la récurrence de la malnutrition et de certaines maladies qui lui sont liées. Dans cette situation, l'ensemble du Tchad, et le bassin versant inférieur du Logone en particulier, est condamné à développer des stratégies d'adaptation. Ces stratégies passent par une gestion rationnelle et adaptative de la ressource en eau, exacerbée par un contexte de grande variabilité climatique spatiale et temporelle. Etant dans le delta de deux fleuves permanents, la culture irriguée s'avère être une voie à explorer en priorité. Ainsi, remplacer la monoculture

par l'introduction d'un système de culture « culture pluviale, culture de décrue (riz et sorgho berbéré) et maraîchage » est une piste à envisager.

Raison pour laquelle, il serait indispensable de faire recours à la télédétection afin d'obtenir des informations géoréférencées permettant aux producteurs et décideurs de planifier, de gérer et faire des plaidoyers. Pour explorer cette piste, dans un premier temps, il est nécessaire de quantifier les surfaces potentiellement concernées. C'est ce que nous proposons de faire en utilisant de l'imagerie satellitaire permettant de couvrir de grandes surfaces avec une bonne répétitivité temporelle. Ainsi, l'objectif principal de ce travail est l'utilisation d'images de télédétection pour identifier et cartographier les zones potentielles de culture (décrues et irriguées). Il s'agit en particulier, de cartographier l'occupation du sol actuelle dans la zone, d'étudier le régime spatio-temporel des crues et d'étudier des scénarii d'extension des surfaces agricoles.

2. Méthodologie

2.1. La zone d'étude

2.1.1. Présentation du bassin versant inférieur du Logone

Le bassin versant inférieur du Logone s'étend entre 11° et 12° de latitude Nord, et 15,03° et 15,43° de longitude Est au milieu des deux fleuves Logone et Chari. Il a une superficie de 2153 km² (fig.1) et compte 191 945 habitants (RGPH2, 2009). Sa pluviométrie moyenne est de 400 mm par an et sa végétation est une savane composée d'un mélange des herbacées et des arbustes.

Le bassin offre un écosystème présentant un aspect très favorable à l'agriculture, à l'élevage et à la pêche attirant ainsi de nombreux migrants venus de divers horizons. Dans ce bassin, la pratique et l'adaptation des activités rurales reposent essentiellement sur un calendrier imposé par le rythme saisonnier des crues et décrues du Logone et des précipitations.

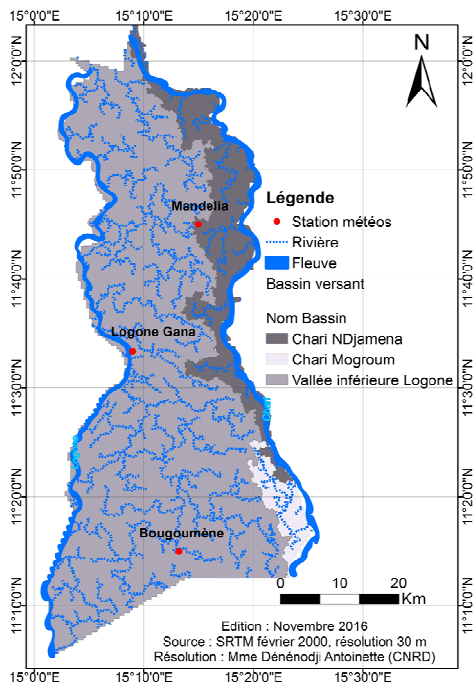


Figure 1 : La zone d'étude

La vallée inférieure du fleuve Logone comprend trois grands bassins versants à savoir le bassin versant du Chari N'djaména, du Chari Mogrom et du Logone inférieur. Les réseaux hydrographiques des deux premiers bassins du Chari alimentent le fleuve Chari. Mais ce sont les cours d'eau du bassin versant du Logone inférieur qui renforcent les eaux du fleuve Logone. Le long des réseaux hydrographiques et des dépressions se pratiquent les cultures irriguées et de décrue. Les cultures pluviales sont sur les élévations.

2.2. Les données

2.2.1. Les données satellites

Les images (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) MODIS (MOD09A1) sont gratuites et de large couverture

journalière. Elles ont 7 bandes de réflectance de surface dans le visible et l'infrarouge. Elles sont synthétisées tous les 8 jours avec la résolution spatiale de 500 m. En effet, le choix de ces images est dû à leur haute résolution temporelle et à la résolution spatiale 500 m. Ceci représente une précision surfacique 6 fois plus fine que celle du capteur spécialement destiné à l'étude du couvert végétal, à savoir SPOT-VEGETATION, ou même NOAA-AVHRR1.

Tableau 1 : Les 7 premières bandes spectrales de MODIS/TERRA
(<http://modis.gsfc.nasa.gov/>)

N° bande	Longueur d'onde (µm)	Nom bande	Résolution spatiale(m)
B1	620–670	Rouge	250
B2	841–876	Proche Infrarouge	250
B3	459–479	Bleu	500
B4	545–565	Vert	500
B5	1230–1250	Moyen Infrarouge	500
B6	1628–1652	Moyen Infrarouge	500
B7	2105–2155	Moyen Infrarouge	500

Source : Image SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) du CNRD, résolution 30 m

2.2.2. Les données pluviométriques

Les données pluviométriques recueillies à la DREM et Base de données CRU TS (Climatic Research Unit - Time Series) pre.1506191332.clean.dtb of the University of East Anglia

La Loi de Gaussen et de Bagnouls qui dit que la pluie est égale deux fois la température ($P=2T$) permettant d'apprécier l'évolution intra-annuelle des pluies. L'observation globale du figure 2 montre que la période de juillet à septembre est considérée comme période humide car $P>2T$ pour les trois 2002, 2003 et 2012 mis en exergue. Les trois années ont une température commune de 25°C en Août. Ceci explique que le mois d'Août est de loin le mois le plus pluvieux pour toutes les trois années avec un maxima de plus de 280 mm en 2003, et les maxima de moins de 180 mm

pour les années 2002 et 2012. Le mois le plus chaud pour toutes les trois années est le mois d’Avril avec une température de plus 30°C.

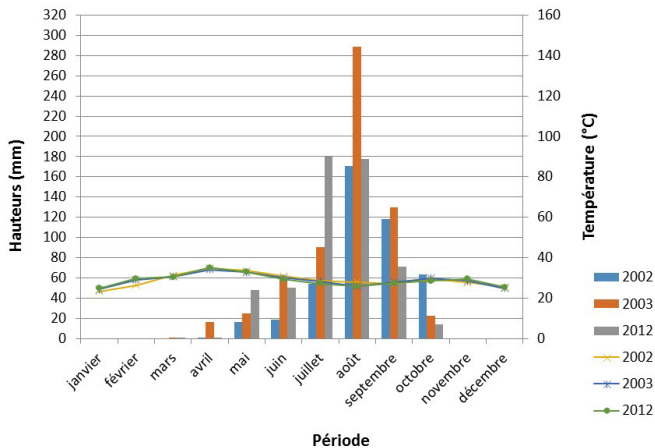


Figure 2 : Evolution intra-annuelle des pluies-températures moyennes des deux stations Mandélie-Aïni

2.2.3. Les données de terrain



Photos1 : Cultures dans le bassin

Source : Djim et Antoinette, 01 au 05 février 2015

Pour la vérification et la validation des données satellitaires, la descente sur le terrain s’avère indispensable. Ainsi elle a permis,

non seulement l'observation visuelle et la caractérisation de différentes occupations du sol (cultures de décrue, cultures irriguées, cultures pluviales, les ouadis non cultivés, les vergers, etc.,...) et les peuplements de rôniers, d'acacia ; mais aussi la collecte spatiale géo référencée de leur points par le GPS. Les données socio-économiques sont collectées par un questionnaire préétabli au bureau.

2.4. Les outils et logiciels

Les outils et logiciels utilisés pour les collectes des données de terrain, les traitements et l'analyse spatiale afin de mener à bien notre étude sont :

- **L'outil de positionnement : le GPS**

Le GPS (Global Position System) permet de prendre la position exacte de différents points de toutes ces zones d'occupation sur le terrain. Par la suite et sur la base de la carte topographique, les différents points des villages à enquêter d'une part et d'autre part les points semblant flous sur les images satellites à vérifier sont incorporés dans le GPS avant la descente sur le terrain. C'est un outil de vérification et de validation.

- **Logiciel de télédétection : ERDAS Imagine 2013**

Erdas imagine est un logiciel de traitement numérique des images de Leica Geosystems Geospatial Imaging. Il est utilisé dans les corrections radiométriques et géométriques, l'assemblage des bandes; le découpage de notre zone d'étude ; de classification supervisée et non supervisée des images satellitaires; l'évaluation de notre classification et enfin la programmation de l'arborescence logique.

- **Logiciel ArcGIS Version 10.2**

ArcGIS est un logiciel SIG de ESRI (Environmental Systems Research Institute), il est développé pour faciliter la gestion et l'analyse des données spatiales afin de non seulement répondre à une problématique donnée mais aussi de plaider auprès des décideurs et producteurs.

Ce logiciel a été utilisé pour : (i) La création, l'habillage et l'édition des cartes ; (ii) La détection de changement entre les différentes images satellitaires ; (iii) L'analyse de quelques données statistiques.

- **Logiciel Quantum GIS version 14.1**

C'est un logiciel libre de traitement numérique des images satellites : radiométrie (amélioration de la qualité visualisation des images), géométrie : (segmentation des images Landsat et régénération des réseaux hydrologiques et de leur bassin versant, puis la création des pentes à partir des images SRTM

- **Le logiciel Tableur Excel**

Il est très indispensable dans le traitement d'analyses des données satellites exportées grâce à sa fonction tableau croisé dynamique. Le tableau croisé dynamique (en anglais pivot table), en abrégé « TCD » d'Excel, est une fonctionnalité de certains tableurs qui permet de générer une synthèse d'une table de données brutes. Le « TCD » permet de regrouper des données selon une ou plusieurs de ses propres catégories (colonnes ou champs) et faire les opérations nécessaires entre les montants correspondants (sommes, moyennes, comptages, etc.). Le « TCD » peut donc créer des mises en forme de tableaux en répartissant les différents champs voulus, en abscisses ou en ordonnées. Les données GPS sont exportées dans Excel permettant leur spatialisation.

- **Les formulaires**

Les formulaires d'enquête individuelle et collective, blocs notes, stylos, contrats de travail pour les animateurs, modules pour la formation et document attestant leur participation sont des outils utilisés.

- **L'appareil photo**

L'appareil photo numérique marque Samsung 8.1 MEGA PIXELS permet de photographier les différents éléments pour élucider notre étude.

- **Les documents**

Ce sont les ouvrages, thèses, rapports et mémoires, revues, articles, journaux, Archives consultés pour nos travaux de recherche.

2.4. Méthodes

2.4.1. Téléchargement et pré-traitement des images MODIS

L'acquisition des données MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) est faite sur le site : http://daac.ornl.gov/cgi-in/MODIS/GLBVIZ_1_Glb/modis_subset_order_global_col5.pl. Ce site permet de télécharger de façon très simple des produits MODIS sur de petites surfaces.

Sur une région d'intérêt de 100 km sur 100 km centrée sur le point 15.5°E et 11.5°N. La période concernée est de 2000 à 2014 ; le format sélectionné est geotif, et la projection est la projection géographique (lat/long). Au total, 648 produits sont téléchargés (avec une moyenne de 45 produits par an). Après le téléchargement, c'est la phase de tri, de rangement et de nettoyage des fichiers. Pour alléger le volume des données, seules les bandes Vert, Rouge, Proche Infrarouge et Moyen Infrarouge sont conservées. Toutes ces opérations ont été faites par batch.

2.4.1.1. Création de néo-canaux, les indices spectraux.

Le calcul des indices spectraux (création de néo-canaux) est également fait par batch, dans l'environnement Erdas Imagine. A partir de ces images : b1 la bande Rouge (645 nm), b2 la bande Proche Infrarouge (848 nm), b4 la bande Vert (555 nm) et b7 la bande Moyen Infrarouge (2130 nm) du produit MOD09A1 sont calculées des images d'indices spectraux.

Le NDWI (Normalised Difference Water Index) est l'indice de l'eau par différence normalisée (Gao, 1996; Dénénodji, 2011). Il existe de nombreuses façons de calculer le NDWI. D'après (Boschetti, 2014) le NDWI calculé à partir de bande verte et moyen Infrarouge donne de bons résultats pour détecter et cartographier les zones inondées. C'est la bande d'absorption de l'eau présente dans le Moyen Infrarouge, qui en fait un indice

sensible à la présence d'eau.

$$\text{NDWI} = (b4-b7)/(b4+b7) \text{ (Ji et al., 2009)}$$

Avec b4, la bande Vert (555 nm) et b7 la bande Moyen Infrarouge (2130 nm) du produit MOD09A1. Le NDWI est un indice normalisé et a donc des valeurs comprises entre -1 et 1. Il est aussi bien utilisé dans la détection des plantes irriguées, des sols humides, que des surfaces inondées. Les images d'indices aux différentes dates sont compilées sous Erdas-Imagine par le layer-stack en une seule image annuelle où chaque couche correspondant à une décade de l'année.

2.4.2.2. Le traitement

La télédétection peut contribuer à identifier les terres propices aux cultures irriguées et de décrue.

2.4.2.3. Réalisation du bassin versant inférieur

Les images SRTM ont été traitées avec Quantum GIS par Terrain Analysis-Hydrology pour le réseau hydrographique et Terrain Analysis-Channel pour le bassin.

2.4.2.4. Les séries temporelles

L'utilisation de séries temporelles d'images à moyenne résolution spatiale a déjà fait ses preuves dans le domaine du suivi des crues (e.g. Leauthaud et al., 2013). L'analyse des séries temporelles en n'importe quel point dans le bassin versant se fait en direct à partir de la fonction « Spectral Profile » dans l'environnement d'Erdas-Imagine. Cette fonction permet également d'exporter les valeurs des points qui sont par la suite traitées avec le logiciel excel.

2.4.2.5. La classification par seuillage des images NDWI

Le seuillage consiste à associer à chaque pic de l'histogramme (obtenu à partir des séries temporelles) une classe. En effet le rapport qu'entretient chaque pixel individuellement avec des informations calculées sur toute l'image, comme la moyenne des

niveaux de gris de l'ensemble des pixels, ou la médiane, permettant de construire n classes d'intensité. Lorsque les classes sont déterminées par le choix d'un seuil, on parle de seuillage qui est l'ensemble des techniques consistant à segmenter une image en plusieurs classes. Dans le cas de notre étude, le choix de seuil pour les images NDWI est basé sur la classification des pixels selon la fréquence de leur valeur radiométrique de l'histogramme.

Ainsi, les surfaces en eau sont obtenues à partir des images de NDWI_2000-2014 seuillées à un seuil fixé entre -0,2 et 0,2 puis de 0,2 à 0,6 pour les activités agricoles par le Model Maker sous Erdas-Imagine.

Le traitement de seuillage des images NDWI permet de montrer l'évolution des inondations, et des zones en végétation (agricultures irriguées, de décrue, pluviale et les végétations naturelles) au cours des années 2001 à 2014.

La carte de fréquence des zones inondées est conçue à partir des images NDWI_2000-2014 seuillées. Ces images subissent un traitement par le Model Maker en utilisant la fonction Stack Statistics sous Erdas-Imagine et incorporées dans ArcGIS afin d'obtenir la carte de fréquence des étendues d'eau.

3. Résultats

A titre d'exemples, nous avons choisis d'illustrer les profils temporels de deux zones, une zone cultivée en pluvial et une zone de culture de décrue, et ce pour trois années avec des profils hydrologiques différenciés. Pour sélectionner les années, nous nous sommes référés à la moyenne des cumuls pluviométriques des données de deux stations de Mandéla et Aïni, et avons choisi une année sèche 2002 (428 mm), une année moyenne 2012 (598 mm) et une année pluvieuse 2003 (688 mm).

Ces années permettent d'illustrer les valeurs des NDWI au cours de ces trois années pour un point situé dans la vallée du Logone (Figures 3 et 4).

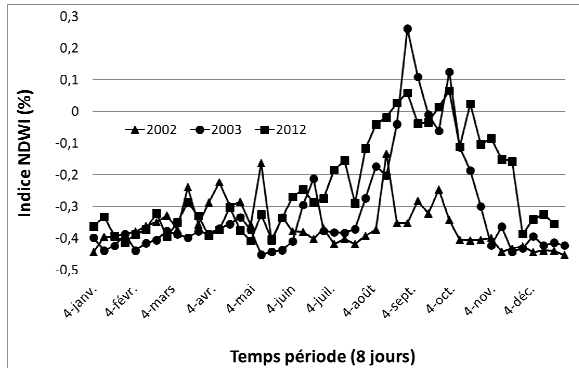


Figure 3 : Profil temporel de NDWI en pluvial

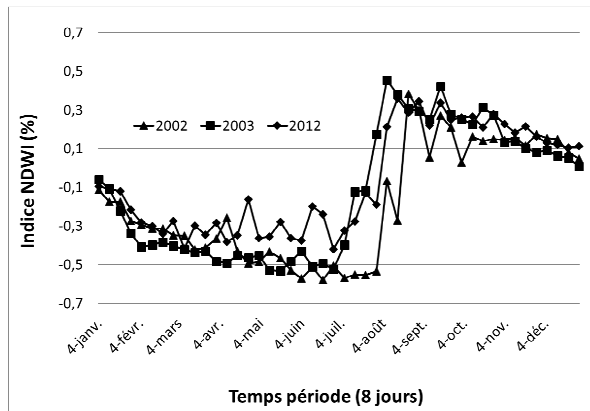


Figure 4 : Profil temporel de NDWI en décrue

L'analyse des profils temporels montre que pour la culture pluviale, la couverture végétale verte, riche en eau, atteint un niveau visible par satellite entre juillet et octobre (Cf. Figure 3). Cependant on remarque des contrastes forts suivants les années :

- L'année 2002, sèche, a des valeurs très faibles du NDWI (< -0.1);
- L'année 2003, pluvieuse, a des valeurs de NDWI très élevées en septembre (et un pic à 0.2) ;

- L'année 2012, année moyenne, a des valeurs de NDWI (-0.1 à 0.1) qui se situent entre les deux autres années.

Quelle que soit l'année, les valeurs de NDWI sont très faibles pendant la saison sèche (entre -0.4 et -0.3), ce qui était attendu. Pour la zone de décrue, la couverture végétale verte, riche en eau, augmente très fortement en août pour atteindre de hautes valeurs qui, contrairement aux cultures pluviales, vont se maintenir pendant plusieurs mois (Cf. *figure 4*). Le contraste suivant les années est également visible :

- En 2002, l'indice NDWI atteint son maximum tardivement en septembre (proche de 0.4) et garde des valeurs inférieures aux deux autres années jusqu'en novembre ;
- En 2003, l'indice NDWI atteint son maximum à +0.4 dès le mois d'août ;
- En 2012, la courbe du NDWI est entre celle des deux autres années, avec toutefois un démarrage proche de celui de l'année pluvieuse.

3.1. Caractérisation de la dynamique des crues

3.1.1. Classification des images indiciaires NDWI par seuillage

Les images NDWI à niveau de gris sont mises dans les canaux Rouge, Vert et Bleu de l'électromagnétique visible pour donner une coloration permettant l'appréciation de différents objets. Une fois que les images NDWI sont seuillées, elles sont visualisées en composition colorée afin de voir l'ampleur des surfaces en eau, ensuite elles sont extraites décade par décade pour être analysées sous ArcGIS.

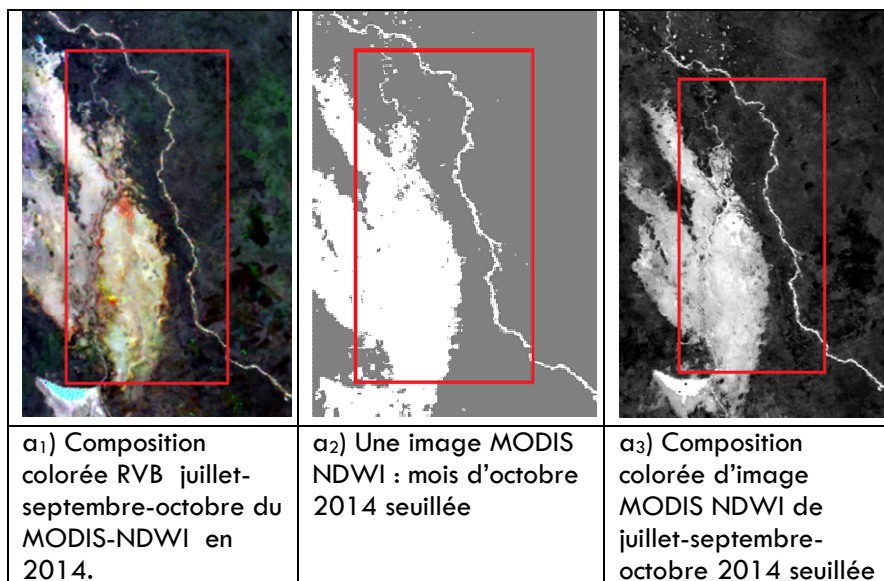


Figure 5 : Image MODIS-NDWI brute, seuillée, extraite.

Les images classifiées par seuillage et extraites sont introduites dans ArcGIS afin de permettre la réalisation de référence (figure 6). La moyenne des images décadaires de chaque mois est calculée par la fonction Statistique de Model Maker sous Erdas Imagine. Ainsi par exemple la moyenne des quatre images décadaires du mois de juillet donne une seule image du mois de juillet.



Figure 6 : surfaces en eau par NDWI

Source : Images MODIS : MOD09A1, 2002, 2003, 2012.

D'une manière globale, l'observation des cartes des mois de juillet, septembre et octobre des trois années 2002, 2003 et 2012 montre bien l'effet de la faible pluviométrie de l'année 2002, avec des surfaces en eau moindres que pour les deux autres années, notamment en juillet où aucune surface n'était encore inondée. Par contre les zones inondées en 2003 et 2012 ne sont pas proportionnelles à la quantité d'eau tombée, du moins pour les 3 mois choisis pour illustration.

3.1.2. Evolution intra-annuelle des pluies

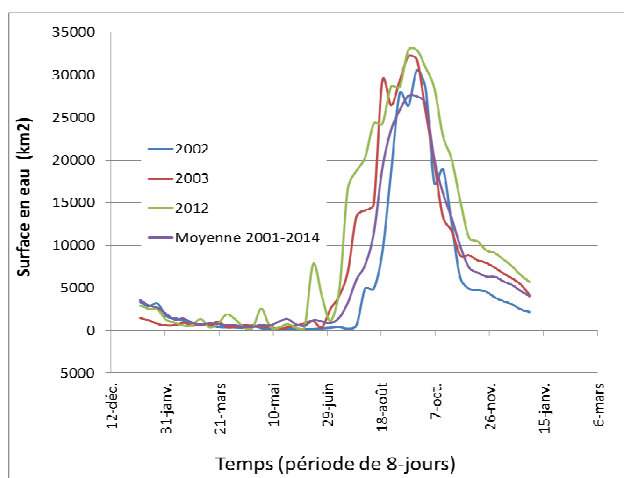


Figure 7 : Etendue d'eau

Source : Images MODIS : MOD09A1, 2002, 2003, 2012

Globalement ce graphique ressort qu'en 2002, il y a un démarrage tardif des pluies vers fin juillet. Les pluies atteignent leur maximum en septembre avec une superficie des inondations de 30000 km². Et elles s'arrêtent en mi-octobre avec une surface des eaux inondées de 5 000 km².

Par contre le graphique présente qu'en 2003 et 2012, le démarrage tôt des pluies en juin. Elles atteignent leur maximum en septembre avec une superficie des eaux inondées de plus de

30000 km² et s'arrêtent en fin novembre pour 2003 et 2012 avec une superficie de moins de 10 000 km².

En effet, les cultures pluviales subissent une forte détresse en août où les pluies devaient normalement atteindre leur maximum permettant le bon développement des plantes. Mais, c'est plutôt en septembre que les pluies ont atteint leur maximum. Ce qui amène les cultivateurs à se tourner vers les cultures irriguées et de décrue afin de palier à la situation alimentaire inquiétante.

3.2. Etude des scenarios d'extension des surfaces agricoles

3.2.1. Carte de fréquence des zones inondées

La carte de fréquence des étendues d'eau a été réalisée à partir des cartes d'inondation de 2001 à 2014 par la fonction Stack Statistic sous Erdas Imagine et incorporées dans ArcGIS. Le degré de coloration suivant les valeurs des pixels montre les différentes concentrations des eaux sur le sol pendant la période de 2001 à 2014 (figure 8).

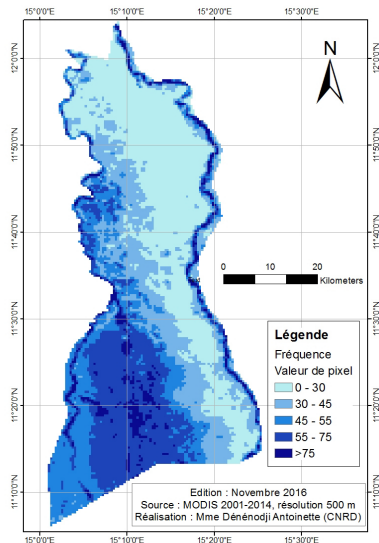


Figure 8 : Carte des fréquences des étendues d'eau de 2001-2014

Les cartes de fréquence des zones inondées permettent de monter des scénarios d'extension des surfaces agricoles :

Afin de monter le scénario, les valeurs de pixel de la carte de fréquence sont multipliées deux fois par la résolution (500 m x 500 m) sont converties en hectare. Ensuite en nous basant sur les données des rendements spécifiques de différentes variétés de céréales (riz, sorgho et mil) et des arachides adaptables aux conditions agro-écologiques du Tchad de la Direction de la Statistique Agricole (DSA) pour estimer les rendements suivants les superficies cartographiées.

Les rendements par hectare des variétés du Riz ITA-150 et SIPPI (FARRO 44) cultivé en pluvial sont respectivement de 3500 kg/ha et 6500 kg/ha. Ceux de Sorgho et mil sont dans l'ordre de 1500 à 2500 kg/ha. Or si par exemple 750 ha de superficies cultivables cartographiées (Réf. Tableau n°2) sont cultivées peuvent donner pour la variété du Riz ITA-150 2.625.000 kg et 4.875.000 kg pour SIPPI (FARRO 44). Pour les mêmes surfaces cartographiées, les productions de Sorgho (BES) KSV-4 et KSV-8 ainsi que celle du mil GB-8735 seraient 1.875.000 kg et 1.950.000kg pour la SOSAT du mil. Concernant la variété d'arachide EX-DAKAR cultivée en pluvial, le rendement est de 800kg/ha décortiqué. En utilisant les 750 ha cultivables cartographiées nous obtenons la production de 600.000 kg décortiqué.

Les rendements par hectare des variétés du Riz cultivé en décrue et irriguée sont respectivement entre 2500 et 3500 kg/ha pour la variété ITA-150, entre 5000 et 6500 kg/ha pour SIPPI (FARRO 44). Or si les 750 ha de superficies cultivables cartographiées (Réf. Tableau n°3) sont cultivées, elles pourraient donner les productions entre 1.875.000 et 2.625.000kg pour la variété du Riz ITA-150 ; puis entre 3.750.000 et 4.875.000 kg pour la variété SIPPI (FARRO 44). Les rendements des variétés de Sorgho (BES) KSV-4 et KSV-8 ensuite ceux des variétés GB-8735 et SOSAT de mil cultivées en décrue ou irriguée sont entre 1500 et 2500 kg/ha. Alors que pour les mêmes surfaces cultivables

cartographiées les productions des variétés du sorgho et mil seraient entre 1.125.000 et 1.875.000kg. La variété d'arachide EX-DAKAR cultivée en décrue et irriguée donne un rendement de 800kg/ha décortiqué. En utilisant les 750 ha cultivables cartographiées la production devient 600.000 kg décortiqué.

Tableau 2 : Cultures pluviales

Variétés cultivées	Riz		Sorgho		Mil		Arachide
	Riz couleur marron Précoce 90 jours (ITA-150)	Riz couleur marron clair Moyen 110- 120 jours SIPPI (FARRO 44)	Sorgho couleur beige Précoce 80 jours (BES) KSV-4	Sorgho couleur beige Précoce 80 jours (KSV-8)	Mil couleur joli vert Précoce 70 jours (GB-8735)	Mil joli vert Précoce 70 jours (SOSAT)	Arachide couleur rosâtre Précoce (EX- DAKAR)
Sol hydromorphe	X						
Terreau sablonneux		X	X	X	X	X	X
Rendement/ hectare (1t=1000kg)	3,5	6,5	2,5	2,5	2,5	2,6	1ha-800
Superficie cartographiée et Rendement/hectare estimé (tonnes)							
750 ha	2625	4875	1875	1875	1875	1950	60.10 ⁴
1125 ha	3937	7312,5	2812,5	2812,5	2812,5	2925	90.10 ⁴
1375 ha	4812,5	8937,5	3437,5	3437,5	3437,5	3575	11.10 ⁵
1875 ha	6562,5	12187,5	4687,5	4687,5	4687,5	4875	15.10 ⁶
> 1875 ha	>6562,5	>12187,5	>4687,5	>4687,5	>4687,5	>4875	>15.10 ⁶

Source : Données issues de MOD09A1 2001-2014 et de la Direction de la Statistique Agricole

Tableau 3 : Cultures de décrue et irriguées

Variétés cultivées	Riz		Sorgho		Mil		Arachide
	Riz couleur marron Précoce 90 jours (ITA-150)	Riz couleur marron clair Moyen 110-120 jours SIPPI (FARRO 44)	Sorgho couleur beige Précoce 80 jours (BES) KSV-4	Sorgho couleur beige Précoce 80 jours (KSV-8)	Mil couleur joli vert Précoce 70 jours (GB-8735)	Mil joli vert Précoce 70 jours (SOSAT)	Arachide couleur rosâtre Précoce (EX-DAKAR)
Sol hydromorphe		X	X				
Terreau sablonneux	X						
Rendement/ hectare (1t= 1000 kg)	25-3,5 t	5-6,5 t	1,5-2,5 t	1,5-2,5 t	1,5-2,5 t	1,5-2,5 t	800kg décortique
Superficie cartographiée et Rendement/ hectare estimé							
750 ha	1875-2625 t	3750-4875 t	1125-1875 t	1125-1875 t	1125-1875 t	1125-1875 t	600.000 kg décortique
1125 ha	2812,5-	5625-	1687,5-	1687,5-	1687,5-	1687,5-	900.000 kg

	3937t	7312,5 t	2812,5 t	2812,5 t	2812,5 t	2812,5 t	décortique
1375 ha	3437,5- 4812,5 t	6875- 8937,5 t	2062,5- 3437,5 t	2062,5- 3437,5 t	2062,5- 3437,5 t	2062,5- 3437,5 t	1.100.000 kg décortique
1875 ha	4687,5- 6562,5 t	9375- 12187,5 t	2812,5- 4687,5t	2812,5- 4687,5t	2812,5- 4687,5t	2812,5- 4687,5t	1.500.0000 kg décortique
> 1875 ha	> 9375- 12187,5 t	> 9375- 12187,5 t	> 2812,5- 4687,5t	> 2812,5- 4687,5t	> 812,5- 4687,5t	> 2812,5 - 4687,5t	> 1.500.0000 kg

Source : Données issues de MOD09A1 2001-2014 et de la Direction de la Statistique Agricole

Conclusion

La forte inégalité de foncier agricole par habitant dans les différentes régions du Tchad en général et dans la vallée inférieure du Logone en particulier constitue un problème de la gestion des terres agricoles. Le niveau régional ou local ne saura suffire pour optimiser l'utilisation des ressources. D'autant moins que la maximisation de la production ne peut constituer le seul critère de choix : il convient bien évidemment de considérer aussi les exigences environnementales globales, de réduire les évictions paysannes et les risques de conflits, etc.

L'utilisation des données satellitaires MODIS a permis d'obtenir la dynamique des surfaces inondées de 2001 à 2014. Mais seulement trois années 2002, 2003 et 2012 ont été choisies en référence avec la pluviométrie afin de montrer l'évolution des crues. La carte de fréquence des surfaces inondées dans la vallée inférieure du fleuve Logone est le résultat de toutes les cartes d'inondation de 2001 à 2014 par la fonction 'Stack-Statistic' sous le logiciel Erdas-Imagine. La carte de fréquence des surfaces inondées permet de proposer aux agriculteurs et aux acteurs de développement des zones potentiellement agricoles encore non exploitées. Ces zones peuvent être conseillées pour des cultures irriguées et de décrue.

Ainsi la mise au point de la cartographie des crues avec les différentes superficies cultivables constituera un atout précieux pour les acteurs du développement agricole : de telles informations permettront d'obtenir un portrait précis de la situation sur le terrain, assurant ainsi une gestion plus performante des ressources naturelles (aide pour des décisions adaptées, suivi et contrôle des résultats obtenus).

Références bibliographiques

Boschetti M, Nutini F, Manfron G, Brivio PA, Nelson A ,2014. Comparative Analysis of Normalised Difference Spectral Indices Derived from MODIS for Detecting Surface Water in Flooded Rice

Cropping Systems. PLoS ONE 9(2) : e88741.
doi:10.1371/journal.pone.0088741

Dénénodji Antoinette, 2011. Cartographie des crues dans le bassin versant du Lac Fitri pour le développement de la culture du sorgho Berbéré et du riz dans la région du Batha (Tchad). Mémoire, Mastère SILAT, Montpellier. 25 Pages

Gao, B.-C. 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment* 58: 257-266.

Ji, L., Zhang, L., and Wylie, B. (2009). Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. *Photogramm Eng Remote Sens.* 1307–1317.

Leauthaud C., Duvail S., Hamerlynck O., Paul J.L., Cochet H., Nyunja J., Albergel J. and O. Grunberger, 2013. Floods and livelihoods: The impact of changing water resources on wetland agro-ecological production systems in the Tana River Delta, Kenya. *Global Environmental Changes*, 23: 252-263.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. (Washington D.C. (US): Fraden S.C., Marcanti E.P. & Becker M.A.), pp. 309–317.