

Discrimination des cultures de décrue par Classification semi-automatique des images Landsat au Lac Fitri (Tchad)

KEMSOL NAGORNGAR Angeline¹, JOFACK SOKENG Valère Carin¹,
MADJIGOTO Robert², RAIMOND Christine³, RIRABE Dieudonné¹, LIBAR
Joseph⁴ et KOUAME Koffi Fernand¹

¹(Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT)/Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody COTE D'IVOIRE)

²(Université de N'Djamena / Département de Géographie TCHAD)

³(CNRS, UMR 8586 PRODIG, Paris, FRANCE)

⁴(Centre National de Recherche pour le Développement/Service Télédétection et SIG TCHAD)

Corresponding Author: Kemsol Nagorngar Angeline akemsol@gmail.com

RESUME : La culture du sorgho (*Sorghumbicolor*) repiqué en contre-saison, prend de l'ampleur dans le paysage de décrue du Lac Fitri, situé au centre du Tchad en milieu sahélien où il contribue à la sécurité alimentaire des populations locales. Mais l'étude par télédétection de cette culture se heurte au problème de sa discrimination par rapport aux autres unités du paysage. La présente étude aborde la dynamique de cette culture au cours de ces 30 dernières années en utilisant les images satellitaires Landsat. La méthode de classification semi-automatique basée sur l'utilisation de deux images dont l'une correspond à la période des crues et l'autre à celle de décrue par création de masques successifs a permis de mieux discriminer cette culture. Cette méthode qui a donné de meilleurs résultats reproductibles en tenant compte de spécificités de chaque zone de culture, a fait ressortir la variabilité des zones repiquées en sorgho de décrue en fonction du niveau de crue du lac. Ainsi, de 3 000 ha en 1987, les superficies emblavées ont atteint 56.000 ha en 2015, suite à la bonne crue observée en 2014 avant de chuter en 2016 à 38 000 ha, suite à la mauvaise crue du lac observée en 2015.

MOTS CLES – Classification sous masque, culture de décrue, Lac Fitri, Tchad

Date of Submission: 09-02-2018

Date of acceptance: 24-02-2018

I. Introduction

Il est aujourd'hui admis que la phase de sécheresse prolongée qu'ont connue les régions sahélienne et soudanienne, dans les années 1970 (1972-73) et 1980 (1983-85) a modifié de manière importante et durable les milieux naturels et agi avec force sur les systèmes agricoles traditionnels [1]. Le changement du régime des pluies a entraîné des bouleversements des activités humaines. Ces constats ont été relevés dans plusieurs localités aussi bien dans les zones sahéliennes que soudanienne du Tchad dans les années 1994/95 [2]. Ces études ont montré la limite de la production pluviale face aux changements climatiques et le passage à l'agriculture de décrue pour lutter contre l'insécurité alimentaire. Les cultures de décrue sont donc des cultures pratiquées pendant la saison sèche et leur alimentation hydrique est assurée entièrement ou en partie par l'humidité résiduelle du sol provenant de la crue [3]. L'agriculture de décrue est praticable partout où la mobilisation semi contrôlée des ressources hydriques est possible [4]. Cela correspond aux sols à tendance hydromorphe, notamment les vertisols inondables par les crues des lacs, fleuves, ou des bas-fonds aménageables par diguettes. Les risques dus aux aléas climatiques sont donc minimisés par rapport aux cultures pluviales. Dans le milieu soudano-sahélien, le sorgho de décrue, *Sorghumdurra* ou *Sorghumcaudatum*, domine de loin ce paysage.

Le sorgho de décrue (photo 1) est une céréale cultivée annuellement dans le bassin du Lac Tchad (Tchad, Cameroun, Niger et Nigéria) ainsi que dans la vallée du fleuve Sénégal (Sénégal, Mauritanie) et dans le delta intérieur du fleuve Niger au Mali [5], [6]. Il est connu localement sous le nom de « berbéré » au Tchad et sa farine constitue l'aliment de base de la majorité des Tchadiens. En raison de leur capacité à se développer avec les seules réserves hydriques du sol, les sorghos de décrue ont une grande résistance à la sécheresse [7]. Les statistiques ont montré que le sorgho de décrue contribue à hauteur de 25% en moyenne dans la consommation des céréales au Tchad [8].



Photo 1 : Champ de sorgho repiqué(photo Kemsol)

Plusieurs études menées par des grandes institutions internationales de recherche comme le CIRAD, l'IRD, l'ICRISAT, en collaboration avec les stations de recherche agronomique de certains pays, notamment le Cameroun, le Mali, le Sénégal, la Mauritanie et le Nigeria ont contribué à la connaissance de cette plante. Des chercheurs agronomes, géographes, des étudiants en thèse, master, ... ont ainsi caractérisé le sorgho de décrue, sur le plan d'alimentation hydrique, de variétés cultivées, de type de sols adaptés et des techniques culturales [9], [10], [11], [12], [13]. Dans le bassin du lac Tchad, le sorgho de décrue est d'abord semé en pépinière vers fin Août – début septembre, avant que les jeunes plants ne soient repiqués entre octobre et novembre sur sols inondés par la crue des lacs ou cours d'eau au fur et à mesure du retrait d'eau. La récolte a lieu entre janvier et mars. Les variétés cultivées appartiennent aux races *durra* et *durra-caudatum*.

Si le sorgho de décrue est bien décrit sur le plan agronomique, les études abordant sa dynamique par imagerie satellitaire sont encore limitées. Triboulet [14] fut l'une des premières personnes à étudier cette dynamique à partir des images Spot au Nord-Cameroun. Elle sera suivie par [15] toujours au Nord-Cameroun. [16] utiliseront également la télédétection pour suivre cette culture dans la vallée du fleuve Sénégal. Vue l'importance que prend le sorgho de décrue pour l'atteinte de la sécurité alimentaire, la présente étude a pour objectif principal d'évaluer la dynamique des zones cultivées ces 30 dernières années au lac Fitri. Il s'agit spécifiquement de déterminer la meilleure méthode qui permettrait de mieux discriminer le sorgho repiqué dans la zone lacustre sahélienne du Tchad. Il y aura donc une présentation des données et de la méthodologie utilisées avant d'analyser les résultats obtenus.

La zone d'étude est située dans le Département du Lac Fitri (fig.1) entre les latitudes 12 - 13°N et les longitudes 17 -18°E et couvre une superficie de 3360 Km². C'est une zone sahélienne localisée au centre du Tchad. Les sols dominants sont les vertisols, les sols hydromorphes et les sols halomorphes [17] tandis que la végétation ligneuse est dominée par les Acacias (*seyal* et *nilotica*).

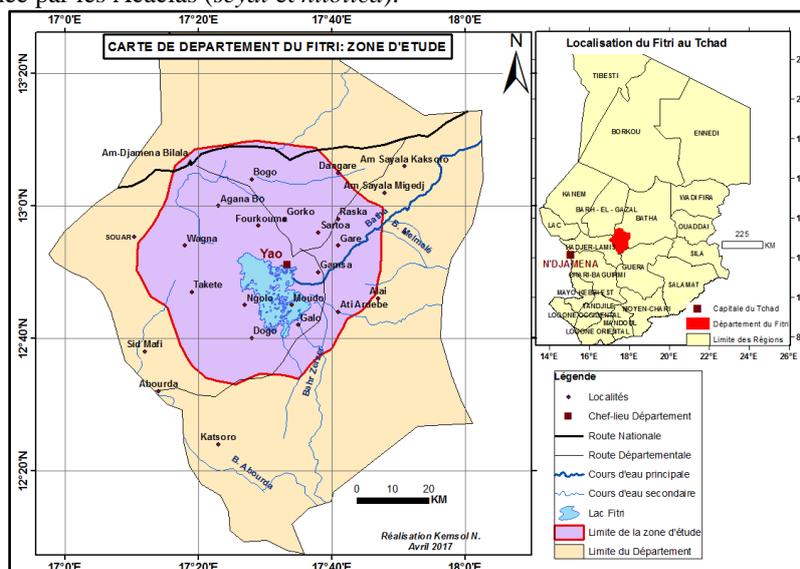


Fig.1 : Localisation de la zone d'étude

II. Matériel Et Methode

2.1. Données utilisées

Images satellitaires Landsat : Pour mener cette étude, les images satellitaires Landsat de 1985 à 2016, disponibles sur internet, ont été téléchargées sur le site <http://glovis.usgs.gov>. Les images du Fitri ont pour coordonnées dans la grille Landsat : Path 183 et Row 51. Les critères de choix des images sont basés sur la disponibilité et la qualité liée à la présence des nuages. La dépendance de cette culture aux crues du lac et les difficultés de sa discrimination par télédétection impose de disposer de deux images par campagne agricole, l'une correspondant à la période de crue (août – septembre - octobre) et l'autre au stade de développement optimal de la plante (janvier - février). Cette seconde contrainte a considérablement réduit les possibilités de travailler sur un pas de temps régulier. Ainsi donc les dates des images de crue/décrue disponibles et exploitables sont :

- ✓ 13/10/1986 et 01/01/1987
- ✓ 11/08/2001 et 19/02/2002
- ✓ 26/10/2011 et 15/02/2012
- ✓ 24/09/2014 et 14/01/2015
- ✓ 11/09/2015 et 17/01/2016

Données de terrain : Une mission de terrain a été effectuée sur le site du Lac Fitri du 26 janvier au 26 février 2016. Elle a permis de relever les coordonnées GPS des principales unités de paysages et localités parcourues pour valider l'identification des objets sur les images satellitaires. Des enquêtes socio-économiques ont également été menées et ont permis d'avoir une vue générale sur les techniques culturales du sorgho de décrue : pratique de la pépinière, variétés cultivées, accès à la terre, contraintes, moyens de lutte ainsi que la perception locale sur l'évolution du paysage ces 30 dernières années.

2.2. Méthodologie

2.2.1. Prétraitement des images Landsat

Comme il s'agit d'une étude diachronique, il faudra éliminer l'effet de l'atmosphère afin de rendre les images comparables entre elles. Dans une étude de dynamique, il est important que les images utilisées aient des caractéristiques homogènes afin que les différences provenant de leur comparaison soient associées à des réels changements d'état du territoire et non à des artefacts liés aux conditions de prise de vue de l'image [18]. En effet, les facteurs comme l'angle d'élévation du soleil, la distance terre-soleil, la calibration des capteurs, les conditions atmosphériques et la géométrie de visée affectent la valeur numérique des pixels [19]. Ainsi, il faudra appliquer plusieurs traitements pour transformer les comptes numériques en luminance c'est - à - dire en énergie réfléchie par la surface exprimée en Watt/m²/sr/μm (1) puis en réflectance qui est le pourcentage d'énergie réfléchie en fonction de l'énergie reçue du soleil (2).

$$L = (CN/A) + B \quad (1)$$

Avec:

L : luminance exprimée en W/m²/sr/μm

CN:Compte numérique

A : Gain de calibration absolue

B : Offset de calibration

$$\rho_\lambda = (\pi * L * D_2) / (E * \cos(\theta_s)) \quad (2)$$

Où:

ρ_λ : représente la réflectance extra-atmosphérique

L : la luminance calculée en (1)

D₂ : la distance Terre-Soleil en fonction du jour julien de l'acquisition satellite

E : l'éclairement solaire (en W/m²/sr/μm)

θ_s : l'angle zénithal solaire

Pour notre étude, nous avons utilisé l'outil FLAASH (Fast Line of Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) implémenté dans le module "Atmospheric correction" du logiciel Envi. Il permet de traiter les images quel que soit la date et la direction d'acquisition à l'aide des paramètres fournis dans les fichiers en-têtes des images [20]. Cette méthode a l'avantage de permettre la correction de l'effet de contiguïté, le calcul de la visibilité, s'appliquer à plusieurs types de capteurs aussi bien anciens que nouveaux et enfin de traiter les images quel que soit la date et la direction d'acquisition.

2.2.2. Classification des images

Les réponses spectrales des objets présents sur des scènes issues de capteurs satellitaires permettent de les caractériser et donc de les regrouper selon leur appartenance à une classe d'objets déterminés. On parle alors de classification [21]. Trois indices ont été préalablement calculés avant de commencer la classification. Il s'agit des indices de végétation (3), d'humidité (4) et de brillance (5).

$$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R) \quad (3)$$

Avec :

NDVI : Indice de végétation normalisée

PIR : Proche Infra Rouge et R : Rouge

$$IH = 0.1509b1 + 0.1973b2 + 0.3279b3 + 0.3406b4 - 0.7112b5 - 0.4572b7 \quad (4)$$

Avec :

IH : Indice d'humidité

b1 : bande numéro 1, b2 : bande numéro 2, b3 : bande numéro 3, etc.

$$IB = (PIR^2 + R^2)^{1/2} \quad (5)$$

Avec

IB: Indice de brillance

PIR: Proche infrarouge et R : Rouge

Plusieurs méthodes de classification ont été testées dans le cadre de ce travail : Minimum de distance, Maximum de vraisemblance et arbre de décision. Mais aucune n'a pu donner de résultats satisfaisants à elle seule pour discriminer les cultures de décrue dans la zone lacustre sahélienne du Fitri. Elles exagéraient ou alors minimisaient les zones cultivées en décrue même avec une bonne matrice de confusion. Même les indices calculés n'ont pas permis d'améliorer la classification où des confusions importantes demeurent. Ainsi l'indice de végétation conduit à la confusion des cultures de décrue avec la savane arbustive, l'indice d'humidité les confond aux zones humides non cultivées et l'indice de brillance aux sols nus. Dans leurs recherches, [14], [15] et [16], confrontés aux mêmes difficultés, ont eu recours aux techniques de masques pour cartographier les zones de cultures de décrue au Cameroun et au Sénégal. Leurs expériences ont donc servi de base pour mettre au point le présent protocole de traitement d'images.

2.2.2.1. Classification des images des crues

Les cultures de décrue du Fitri dépendent fortement des superficies inondées par les crues du lac pendant la saison des pluies. Le maximum des crues est atteint en août – septembre. Il est donc nécessaire de disposer des images correspondant à ces périodes pour cartographier la crue. A défaut l'image de début octobre peut être utilisée. Ces images des crues doivent avoir leurs correspondances en décrue (janvier – février) pour cartographier les zones cultivées en décrue pendant la campagne agricole considérée. La crue de l'année en cours (août-septembre) est déterminante pour la récolte de l'année suivante (janvier-mars). Pour la période d'étude, cinq scènes de crues disponibles et exploitables ces 30 dernières années, ont été téléchargées et correspondent aux dates suivantes : 13 octobre 1986, 11 août 2001, 26 octobre 2011, 24 septembre 2014 et 11 septembre 2015. La disponibilité des images sur deux années consécutives : 2014 et 2015, permettra d'évaluer la variabilité interannuelle des crues.

La classification non supervisée a été utilisée pour les images de crue. L'objectif étant d'arriver à une partition en deux groupes ou « binarisation » de l'image. La méthode par seuillage utilisée dans le cadre de binarisation consiste à calculer un seuil optimal à partir des caractéristiques locales de l'image [22]. Dans le cas présent, le seuillage a été réalisé de manière empirique utilisant la méthode Isodata. ISODATA est un algorithme de regroupement hiérarchique qui consiste à regrouper des objets décrits par un certain nombre de variables ou caractères [23]. Ces groupements se font par agglomération progressive des éléments deux à deux [24]. Dix classes et vingt itérations étaient définies au départ. Elles seront ensuite regroupées en deux classes : zones inondées correspondant aux eaux libres et végétation inondée et zones non inondées. Un masque radiométrique est alors créé sur les zones inondées et donc potentiellement cultivables en décrue pour chaque image de crues (fig.2).

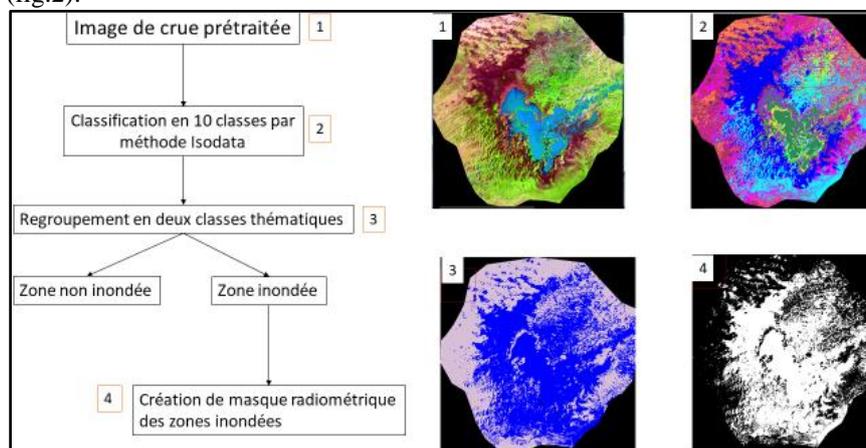


Fig.2 : Traitement des images des crues

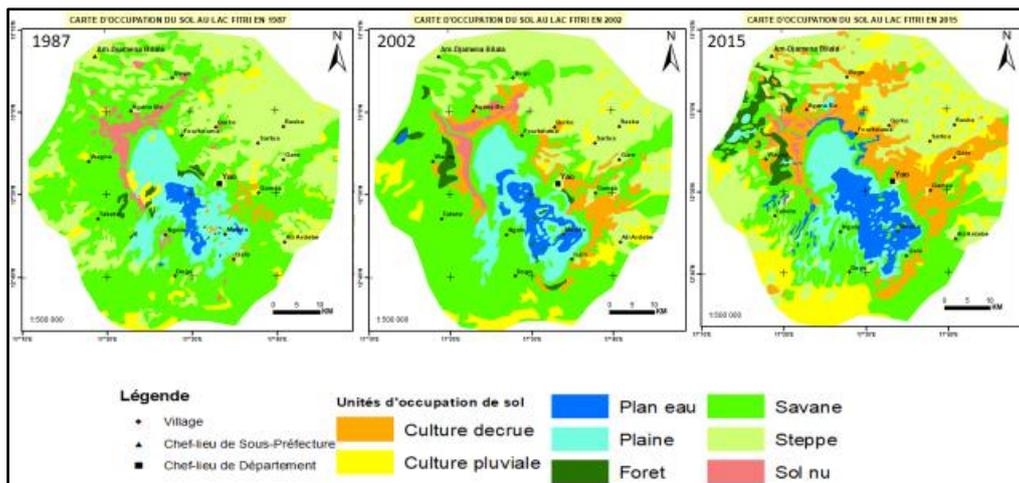


Fig. 4 : Cartes d'occupation de sols produites

Huit classes d'unités principales d'occupation de sol sont cartographiées sur les 3 dates à savoir les cultures de décrue, les cultures pluviales, les forêts, les savanes, les steppes, les plans d'eau, les plaines et les sols nus. Les cultures de décrue regroupent les cultures pratiquées en fin de saison de pluie. L'accent est mis sur le sorgho repiqué ou berbéré mais les spéculations pratiquées en association ou en parcelles contiguës au sorgho sont prises en compte car difficiles à discriminer. Les cultures pluviales sont pratiquées sous pluie et concernent plusieurs spéculations : céréales, légumineuses, oléagineux, etc. Les forêts sont des formations végétales assez denses où dominent les grands arbres. Les forêts galeries en font partie. Les savanes sont moins denses que les forêts et regroupent les arbres, arbustes et un haut tapis graminéen. Les steppes représentent une végétation très clairsemée d'arbustes et d'herbes avec des plages importantes des sols dénudés. Elles représentent également une forme dégradée des forêts et savanes. Les plans d'eau sont les surfaces d'eau libre non asséchées au moment de la prise de vue de l'image. Les plaines herbeuses entourent le lac et certains plans d'eau. Les sols nus sont dépourvus de toute végétation arbustive. Ils sont souvent naturels au Fitri mais peuvent également résulter de la dégradation des formations végétales ou zones de cultures. L'analyse de ces trois cartes d'occupation de sol fait ressortir la dynamique suivante (fig.5).

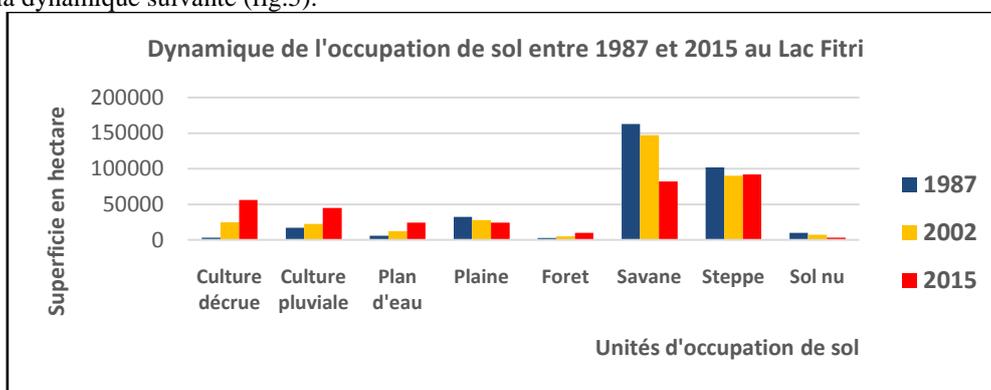


Fig.5 : Evolution de l'occupation de sol entre 1987 et 2015 au Fitri

Les superficies des zones de cultures de décrue sont passées de 3 000 hectares à 56000 hectares entre 1987 et 2015. Mais cette augmentation linéaire cache des disparités qui seront démontrées plus bas. Cette culture se pratique en général sur vertisol ou sols hydromorphes où prédominent les savanes et les forêts d'Acacias où l'espèce *niloticadomine* au Fitri. Donc leur augmentation se fait au détriment de ces formations végétales. Il faudrait également souligner que 1987 correspond à la reprise des cultures de décrue au Fitri après les dures sécheresses de 1973 à 1985. Ce qui signifie que les zones de cultures de décrue avant 1987, précisément avant 1972, étaient supérieures à celles observées.

Comme les cultures de décrue, les superficies des cultures pluviales passent de 17000 hectares en 1987 à 45000 ha en 2015. Cette unité s'étend au détriment de toutes les formations végétales aussi bien forestières, savaniques que steppiques. Mais elles sont plus encrées dans les zones sableuses exondées où prédominent les steppes.

Les plans d'eau libre connaissent également une augmentation entre 1987 et 2015. Cette analyse qui fait ressortir les différents états du lac Fitri, confirme la variabilité inter et intra annuelle de ce lac [25], [26]. Ainsi,

la superficie des plans d'eau libre le 01 janvier 1987 est de 6000 hectares et le 14 janvier 2015, elle est de 24 000 hectares, ce qui représente une augmentation de 300%. Cette superficie dépend de la pluie tombée dans l'ensemble du bassin versant du Lac Fitri.

La plaine quant à elle, suit une évolution contraire du plan d'eau car les deux se partagent le même site. Une augmentation des superficies en eau libre diminue celles des plaines et inversement. Ainsi la superficie des plaines est passée de 32 500 hectares en 1987 à 24 000 hectares en 2015. Au moment des poches des sécheresses des années 1970 à 1987, les principales cultures se pratiquaient dans les plaines humides. Même aujourd'hui, certaines parties des plaines sont exploitées en maraîchage.

La forêt a vu sa superficie passer de 2 500 à 10 000 hectares. Cette augmentation est relative à l'apparition d'une forêt de doum (*Hyphaenatebaica*) après 1980 au nord-ouest de la zone. Cette forêt observée sur les images satellitaires est confirmée par les enquêtes de terrain et les travaux de recherche des étudiants en master[27].

La savane est l'unité dont la régression est la plus spectaculaire en 30 ans, passant d'une superficie de 163 000 en 1987 à 82 000 hectares en 2015. Cette diminution des superficies de moitié est due non seulement à l'extension des zones de culture mais également à l'augmentation des demandes en bois de chauffe et bois d'œuvre. L'augmentation du cheptel est aussi une source de destruction des savanes car les arbres sont élagués sauvagement pour l'alimentation du bétail, compromettant ainsi leur régénération, transformant tout le paysage sur le parcours en zone de steppe.

La steppe quant à elle, observe une dégradation plus lente. Etant passée de 102 000 hectares en 1987 à 90 000 hectares en 2002, elle repart en hausse en 2015 à 92000 hectares. Cette tendance à la hausse devra se poursuivre avec la dégradation des zones savaniques et forestières si aucune action n'est entreprise pour limiter ces dégâts. Les jachères et une bonne partie des sols nus sont classées dans la steppe.

Les sols nus sont passés d'une superficie de 10 000 hectares en 1987 à 3 000 hectares en 2015. Notons que la date de référence 1987 est une année qui suit plusieurs années particulièrement sèches dans le sahel dont le Tchad. Le lac Fitri s'était asséché totalement quatre fois au 20^e siècle dont les 2 dernières dates sont 1973 et 1984[28]. Donc janvier 1987 correspond à la reprise de la végétation après la saison pluvieuse de 1986. Mais cette pluie n'était pas encore suffisante pour reverdir le sol après tant d'années de sécheresse. Cependant certains sols nus demeurent invariants car n'ayant jamais porté de végétation et d'autres encore ne pouvant être détectés à la résolution des images landsat car incrustés dans les steppes et zones de culture.

3.2. Dynamique des zones de cultures de décrue

Les différents traitements réalisés ont conduit à l'établissement des cartes des cultures de décrue entre 1987 et 2016 (fig.6). Outre les trois dates retenues dans la cartographie de l'occupation des sols de la zone : 1987, 2002 et 2015, deux autres dates sont ajoutées : 2012 et 2016 pour mieux analyser l'évolution de cette culture annuelle au Lac Fitri. Rappelons que la cartographie des superficies de décrue est réalisée sous masque des zones inondées par la crue précédant la mise en culture de ces zones. Donc ces cartes doivent être comprises comme équivalant d'une campagne agricole qui s'étend de septembre de l'année 1 à mars de l'année 2. Ainsi la carte de 1987 correspond à la campagne agricole de 1986/1987, celle de 2002 à la campagne 2001/2002, celle de 2012 à la campagne 2011/2012, celle de 2015 à la campagne 2014/2015 et enfin celle de 2016 à la campagne agricole de 2015/2016.

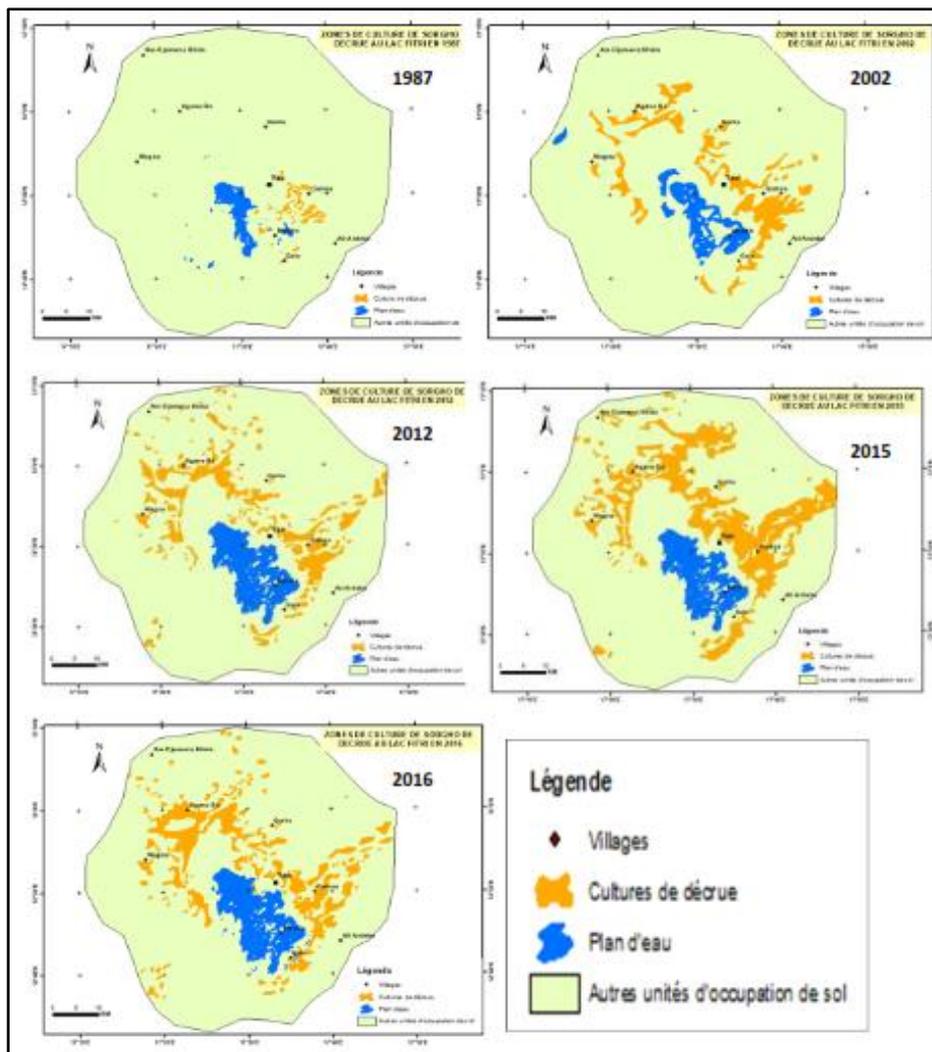


Fig.6 : Cartes d'évolution des cultures de décrue entre 1987 et 2015 au Lac Fitri

L'analyse des images de 1986/1987 à 2014/2015 montre d'abord une augmentation linéaire des zones de cultures de décrue entre 1987 et 2015 puis une chute juste l'année suivante en 2016.

En 1987, la superficie cultivée en décrue est de 3000 ha. Et les zones de cultures sont localisées dans le delta de la rivière Batha, à son embouchure avec le lac Fitri ainsi que dans le lit du lac, sur les parties humides après retrait de l'eau. En effet, la pluie de 1986 dans le bassin du Fitri n'a pas suffi pour inonder des surfaces qui se prêtent au repiquage du sorgho de décrue. Les enquêtes de terrain ont donc révélé que les producteurs avaient procédé au semis direct dans le lit du lac et les interstices de rivière sans passer par la pépinière habituelle. Le Fitri était déjà une grande zone de production du sorgho de décrue avant les années 1970. Mais les dures sécheresses des années 1972 jusqu'en 1986 ont bouleversé les pratiques culturales, réduisant les superficies sur de petites zones par semis direct, tel le résultat observé en 1987. La reprise de cette culture à travers les semis en pépinière et le repiquage a redémarré en 1988. Malheureusement les images satellitaires concernant ces différentes dates ne sont pas disponibles. Les résultats donnés ici sont basés uniquement sur les enquêtes de terrain.

En 2002, soit 15 ans plutard les superficies cultivées en décrue s'élèvent à 24 500 hectares. Ce résultat s'observe après plusieurs années de bonne pluviométrie dans le bassin versant.

En 2012, la superficie cultivée en décrue est de 32 000 hectares, soit une augmentation de plus de 8 000 hectares en 10 ans. Cette augmentation serait certainement liée à l'augmentation de la population et à l'existence d'un marché prometteur.

En 2015, la superficie cultivée en décrue atteint 56 000 ha, soit une augmentation de 75% en 3 ans. On pourrait toujours penser aux mêmes facteurs qu'en 2012 c'est-à-dire la croissance démographique couplée au marché florissant.

En 2016, la disponibilité des images donnent l'opportunité de vérifier si l'augmentation des superficies est annuelle. Mais il a été plutôt observé une chute des superficies emblavées, passant de 56 000 hectares en 2015 à

38 000 hectares en 2016 soit une diminution de 32% sur une année. A quoi donc est due cette chute brutale alors que la population est restée la même et donc avec la même demande en sorgho de décrue ?

Cette situation a conduit à réexaminer les superficies inondées dans les images de crue, ayant servi à la création des masques utilisées en images de décrue en rapport avec les superficies emblavées en sorgho repiqué. Ce qui a donné le résultat suivant (fig.7).

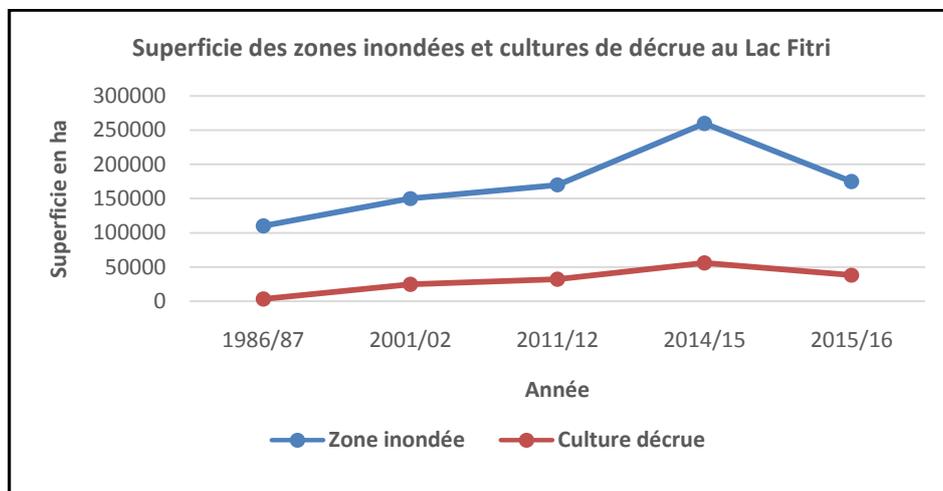


Fig.7 : Evolution des cultures de décrue en fonction des zones inondées par la crue

Cette figure met en évidence l'augmentation de la crue et des zones de culture de décrue depuis 1986. La corrélation entre superficies inondées et repiquées est soulignée avec l'année 2015/2016, où une crue réduite a entraîné une diminution importante des superficies de berbéré qui sont passées de 56 000 hectares en 2014/2015 à 38000 hectares en 2015/2016. Cette année avait été identifiée à risque pour l'ensemble du Batha en raison des mauvaises pluies et crue [29]. Cette variabilité de la crue du lac Fitri est aussi soulignée par les travaux de [26] qui l'exprime ainsi : « la superficie du lac Fitri varie de un à huit au cours d'une année (exemple de 2015), et elle double entre 1972 et 2015 en ne considérant que les mois d'octobre. Cette situation rend la cartographie de cette région très difficile, ce dont témoigne la diversité des formes cartographiées pour ce lac depuis les années 1960 ». Les superficies cultivées en décrue au Fitri sont donc caractérisées par la variabilité interannuelle des crues du lac.

3.3. Validation de la classification

L'évaluation de la classification de 2015 à travers une matrice de confusion donne une précision générale de 81.10% avec un coefficient kappa de 0.77 (Table 1). Rappelons que les points de validation sont ceux relevés sur le terrain en 2015 et 2016. Pour les classifications des images antérieures : 1987 et 2002, la validation a été faite à partir des points invariants sur les images récentes de 2015 et 2016.

Table 1 : Matrice de confusion de la classification de l'image de 2015

Classe d'occupation de sol	Vérité-terrain (%)							
	Culture décrue	Savane	Culture pluviale	Forêt	Plaine	Steppe	Plan d'eau	Sol nu
Culture décrue	64.91	20.61	00	00	00	0.08	00	0.19
Savane	7.40	70.64	0.29	1.14	00	0.16	0.15	00
Culture pluviale	00	0.29	95.29	00	00	12.41	00	00
Forêt	00	0.59	00	98.63	00	00	00	00
Plaine	0.21	0.38	00	0.23	100	00	00	00
Steppe	0.55	2.44	4.41	00	00	86.35	00	5.12
Plan d'eau	00	4.96	00	00	00	00	99.85	00
Sol nu	26.94	0.08	00	00	00	00	00	94.69

L'analyse de ce tableau montre une précision de 64.91% de cultures de décrue bien classées. Cependant ces cultures se confondent d'une part à 26.94% avec les sols nus et 7.40% avec les savanes. Cela s'explique par le fait que ces cultures sont installées généralement dans les zones de savane. L'écartement entre

les lignes et les poquets peut facilement dépasser 2 m par endroit, entraînant une réflectance forte des sols nus dans les zones emblavées en berbéré. Notons enfin que les cultures maraichères sont difficiles à distinguer des zones emblavées en sorgho repiqués. Ce sont toutes deux des cultures de décrue parfois pratiquées en association ou dans des parcelles contiguës et donc difficiles à distinguer l'une de l'autre. Pour mieux discriminer les zones cultivées en berbéré des autres zones, notamment les cultures maraichères et les sols nus, les images satellitaires de résolution plus fine sont indispensables.

Cette méthode caractérisée par une succession d'étapes s'apparente à celle utilisée par [30] pour extraire automatiquement les bâtiments. Dans notre cas, la première classification non supervisée Isodata en 10 classes a concerné les images des crues. Les 10 classes sont interprétées et regroupées jusqu'à obtenir une image avec 2 classes spectrales représentées par : zones inondées et zones non inondées. Le choix du seuil est délicat car déterminé de manière empirique en se basant sur les caractéristiques de l'image et la connaissance du terrain. Ainsi le seuil peut varier d'une image à l'autre en fonction de l'inondation en cours à la date de prise de vue de l'image. Les meilleures dates dans ce cas sont les mois d'août et de septembre mais les contraintes de nuages ou d'indisponibilité d'images ont conduit au choix des images d'octobre. Ce qui peut alors constituer une source d'affectation des zones de culture de décrue au fond de l'image.

La seconde opération combine à la fois la classification supervisée par Maximum de vraisemblance et celle non supervisée par Isodata des images de décrue. Cette classification utilisant les masques des zones inondables déduites des images des crues a permis alors l'extraction des zones repiquées en sorgho de décrue ainsi que les autres unités d'occupation de sol par étapes successives.

Si l'information radiométrique est particulièrement importante lors de l'étude de l'occupation de sol, dans certains cas cependant les signatures spectrales peuvent se superposer et les surfaces confondues au cours d'un moment de l'année[31]. Tel est le cas des cultures de décrue qui, selon le stade végétatif de la plante peuvent se confondre aux sols nus ou aux savanes arbustives. L'utilisation des masques des zones inondées permet non seulement d'éviter les zones non inondées, sources potentielles de confusion mais également d'identifier de façon plus objective les zones cultivées en décrue.

Selon[32], la précision de la classification augmente quand les procédures de classification sont appliquées à une combinaison d'images prises à différentes saisons, ce qui confirme l'intérêt d'utilisation des paires d'images crues/décrue dans cette étude.

Le choix de cette méthode est plus pragmatique que scientifique. Au lieu d'une globalisation telle une approche de segmentation, générant des défauts dans l'extraction des différentes catégories d'objets, cette méthode a l'avantage d'être plus spécifique, adaptée seulement à un certain type d'objets mais fournissant des résultats de meilleure qualité[30].

IV. CONCLUSION

L'étude de la dynamique des zones de cultures de décrue au Lac Fitri, caractérisées par la variabilité des crues, a conduit à tester plusieurs méthodes, modifier les paramètres jusqu'à aboutir à un résultat satisfaisant. La démarche a consisté à utiliser des classifications non supervisées par Isodata et supervisées par Maximum de vraisemblance sur des paires d'images Landsat crues/décrue correspondant à une campagne agricole. Cette démarche utilisant une succession de masques réalisés de manière empirique a permis de discriminer les zones cultivées en décrue des autres unités d'occupation du sol. L'évaluation de la classification a été réalisée à l'aide d'une matrice de confusion qui a donné un résultat satisfaisant malgré quelques confusions notées avec les sols nus ou les savanes.

Cette méthode est reproductible sous réserve d'une bonne connaissance de terrain car elle tient compte des spécificités de chaque zone. Le comportement radiométrique des cultures de décrue varie fortement limitant leur discrimination par une simple classification de la signature spectrale sur une seule image. La méthode présentée dans cette étude, montre alors un réel intérêt pour la caractérisation des zones de cultures de décrue en milieu lacustre sahélien.

V. Remerciements

Les auteurs remercient l'Ambassade de France au Tchad et le Projet GELT (Grands Ecosystèmes Lacustres Tchadiens) pour le financement de la formation et la collecte des données de terrain ; l'UMR 8586 PRODIG Paris pour l'appui dans le traitement des images satellitaires.

REFERENCES

- [1]. A. Beauvilain, Les variations et les aléas de la pluviométrie dans le bassin du Tchad, *Revue Scientifique du Tchad, Volume IV, No 1, N'Djamena, CNAR, 1995, 3-15.*
- [2]. R. Madjigoto, Conséquences de la sécheresse sur les activités humaines : l'exemple de Moudourou, village du Mayo-Kebbi, *Revue Scientifique du Tchad, Volume IV, No 1, N'Djamena, CNAR, 1995, 21-26.*
- [3]. A. Bréteau, B. Traoré, O. Niangaly, A. Berthé, D. Sako, Variabilité génétique des sorghos de décrue au Mali, in J. Comas, H. Gomez-MacPherson (Eds.), *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : situation actuelle et définition d'un plan d'action régional, AECI/FAO, 2001, 123-141.*

- [4]. A. Yéro, B. Ba, La culture du sorgho de décrue en Mauritanie, in J. Comas, H. Gomez-MacPerson (Eds.), *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : situation actuelle et définition d'un plan d'action régional*, AECI/FAO, 2001, 81-90.
- [5]. C. Raimond, *Terres inondées et sorgho repiqué. Evolution des espaces agricoles et pastoraux dans le bassin du lac Tchad*. Thèse de doctorat, Université Paris 1, 1999
- [6]. B. Mathieu, *Une démarche agronomique pour accompagner le changement technique. Cas de l'emploi du traitement herbicide dans les systèmes de culture à sorgho repiqué au Nord-Cameroun*. Thèse de doctorat. INAPG Paris, 2005.
- [7]. J. Chantereau, Connaissance et utilisation de la diversité des sorghos de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre au CIRAD, in J. Comas, H. Gomez-MacPerson (Eds.), *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : situation actuelle et définition d'un plan d'action régional*, AECI/FAO, 2001, 39-49.
- [8]. PNSA, *Programme National de Sécurité Alimentaire. Document principal* (Ministère de l'agriculture, République du Tchad, 2013).
- [9]. M. Bonneau, *Besoins en eau de l'agriculture irriguée et de l'agriculture de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal. Rapport de stage* IRD/Montpellier SupAgro, 2001.
- [10]. B. Kébé, Le rôle du sorgho de décrue dans la sécurité alimentaire du Sahel, in J. Comas, H. Gomez-MacPerson (Eds.), *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : situation actuelle et définition d'un plan d'action régional*, AECI/FAO, 2001, 23-29.
- [11]. A. Ratnadass, K. Djimadoumgar, Les insectes ravageurs des sorghos repiqués ou cultivés en conditions de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre, in J. Comas, H. Gomez-MacPerson (Eds.), *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : situation actuelle et définition d'un plan d'action régional*, AECI/FAO, 2001, 65-80.
- [12]. R. Tabo, I. Akintayo, O.G. Olabanji, O. Ayayi, D.J. Flower, Effet de la densité de plantation sur l'utilisation de l'eau, la croissance et le rendement de deux variétés de sorgho Masakwa au Nigeria, in J. Comas, H. Gomez-MacPerson (Eds.), *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre : situation actuelle et définition d'un plan d'action régional*, AECI/FAO, 2001, 181-196.
- [13]. C. Raimond, La diffusion du sorgho repiqué dans le bassin Tchadien, in C. Raimond, E. Garine, O. Langlois (dir.), *Ressources vivrières et choix alimentaires dans le bassin du lac Tchad*, Paris PRODIG, IRD Editions Coll. Colloques et séminaires, 2005.
- [14]. C. Triboulet, *Les transformations des paysages du Diamaré et du bassin de la Bénoué (Nord-Cameroun). Etude à l'aide de l'imagerie Spot*, Thèse de doctorat, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, 1995.
- [15]. E. Fotsing, F. Mainam, Dynamique du sorgho de contre saison et potentialités des sols en zone de savane de l'Extrême Nord du Cameroun in J. Jamin, Y. Seiny, L. Boukar (eds.), *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*, actes du colloque PRASAC, Garoua, Cameroun, 2001, 7p.
- [16]. L.K. Mane, P. Fravard, *Suivi par télédétection des cultures de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal en saison sèche froide 2000/2001*, Rapport d'étude SAED/ADRAO/IWMI, 2001.
- [17]. J. Pias, *La végétation du Tchad, ses rapports avec le sol. Variations paléobotaniques au Quaternaire*, ORSTOM Paris, 1970.
- [18]. B. Lounis, A. Aïssa Belhadj, *Processus de correction radiométrique relative « PCRR » appliqué aux images Landsat TM multi-dates*, Communication SETIT, 3rd International Conference : Sciences of Electronic, Technologies of Informations and Telecommunications, Tunisia 2005.
- [19]. W. Wu, *Application de la géomatique au suivi de la dynamique environnementale en zone aride*, Thèse de doctorat, Sciences de l'Homme et Société, Université Panthéon-Sorbonne, Paris 1, 2003.
- [20]. V.C.S. Jofack, *Cartographie des potentialités en eaux souterraines dans les Hauts Plateaux de l'Ouest-Cameroun : contribution de la télédétection (optique et radar), des systèmes d'information géographique et des réseaux de neurone*, Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody, Côte d'Ivoire, 2016.
- [21]. E. Kieffer, A. Serradji, La télédétection au service des études urbaines : expansion de la ville de Pondichéry entre 1973 et 2009, *Géomatique Expert No 95, Nov-Dec 2013*.
- [22]. A. Désolneux, *Quelques méthodes de segmentation d'images*, Cours, Université de Paris 5, ANR Mipomodium 2006.
- [23]. M. Souris et F. Demoraes, *Module SIG santé, Introduction à la télédétection*, Cours, Paris Ouest Nanterre La Défense 2011.
- [24]. A. Morineau, *La classification*, Cours en ligne sur www.deenov.com consulté le 03 mars 2015.
- [25]. J. Lemoalle, Le lac Fitri in *Etude des potentialités du bassin conventionnel du lac Tchad*, Paris ORSTOM, 1979, 274-278.
- [26]. Y. Tashi, C. Raimond, A. Kemsol, D. Zakinet, M. Schuster, F. Sylvestre, *Variabilité des crues et des paysages du Fitri depuis les grandes sécheresses 1970-1980 : plus ou moins de ressources pour les riverains du lac ?* Communication Colloque GELT, N'Djamena, 2017.
- [27]. J. Guédon, *Origines et évolution des noix de doum du Fitri : nécessité alimentaire et opportunité énergétique*, Mémoire de recherche de Master 1 Géographie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2016.
- [28]. M-F. Courel, P. Bachimon, J. Riser, P. Dagou, I.A. Mahamat, C. Raimond, *Géosystèmes lacustres, étude des régions du lac Léré et Fitri Tchad*, Rapport scientifique projet CAMPUS/FAC/CORUS, 2005.
- [29]. A. KemsolNagorngar, C. Raimond, R. Madjigoto, *Sorgho repiqué et sécurité alimentaire au lac Fitri*, Communication Colloque GELT N'Djamena, 2017.
- [30]. D. Sheeren, S. Lefèvre, J. Weber, La morphologie mathématique binaire pour l'extraction automatique des bâtiments dans les images THRS, *Revue Internationale de Géomatique*, volume X, n° x/2007.
- [31]. H. Rossignol, Méthode d'identification et de cartographie des terres agricoles en friche par télédétection à la Réunion, mémoire Master 2, Université Jean Monnet Saint Etienne, 2007.
- [32]. V. Sellin, S. Magnanon, S. Gourmelon, F. Débaine, J. Nabucet, Etude expérimentale en cartographie de la végétation par télédétection, Cyberge, *European Journal of Geography* en ligne sur <http://cyberge.revues.org/27067> consulté le 30 mars 2017.

International Journal of Engineering Science Invention (IJESI) is UGC approved Journal with
Sl. No. 3822, Journal no. 43302.

Kemsol Nagorngar Angeline. "Discrimination Des Cultures De Décrue Par Classification Semi-
automatique Des Images Landsat Au Lac Fitri (Tchad)" International Journal of Engineering
Science Invention (IJESI), vol. 07, no. 02, 2018, pp. 32–42.