

# DÉTECTION DES CUVETTES OASIENNES DU CENTRE-EST DU NIGER PAR CLASSIFICATION D'UNE IMAGE TEXTURALE BASÉE SUR LA VARIANCE

Mahamadou KARIMOU BARKÉ<sup>1</sup>, Bernard TYCHON<sup>2</sup>, Issa OUSSEINI<sup>3</sup>, André OZER<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Département Sciences et Gestion de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Liège (Ulg), B-6700-Arlon/Belgique. Adresse au Niger: BP. 10960 Niamey Niger  
Courriel: msbarke@student.ulg.ac.be; barke\_mk@yahoo.fr

<sup>2</sup>Département Sciences et Gestion de l'Environnement, Faculté des Sciences, ULg, B-6700 Arlon/Belgique  
Courriel: bernard.tychon@ulg.ac.be

<sup>3</sup>Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines (FLSH), Université Abdou Moumouni de Niamey (UAM), BP 418 Niamey Niger  
Courriel: issaousseini31@gmail.com

<sup>4</sup>Département de Géographie, Faculté des Sciences, ULg, B-6700 Arlon/Belgique  
Courriel: aozer@ulg.ac.be

---

## RÉSUMÉ

Cette étude évalue les capacités de détection des cuvettes oasiennes du centre-est du Niger par analyse texturale d'images-satellites, basée sur la variance. Ces cuvettes constituent les seuls endroits où l'agriculture irriguée est pratiquée durant la saison sèche. La méthode mise au point est une détection des cuvettes oasiennes à partir de la bande infrarouge d'une image SPOT5-THX (2,5 m de résolution spatiale) en analysant la courbe de la fréquence cumulée des valeurs de variances déterminées dans une fenêtre de 5\*5 pixels, et en s'appuyant sur une valeur seuil. L'évaluation des résultats de la classification d'image a donné des conclusions satisfaisantes avec un coefficient Kappa égal à 0,96 et un taux de bonne classification des cuvettes de 82,7%. Cette étude permet de localiser et de mesurer la superficie des cuvettes dans la zone d'étude. L'inventaire de ces cuvettes permettra de les caractériser et de les suivre afin d'évaluer leurs potentialités agricoles.

## MOTS-CLÉS

Cuvette oasienne, SPOT5- THX, classification, variance, Gouré, Niger

---

## 1. INTRODUCTION

Les cuvettes oasiennes sont des dépressions fermées qui se localisent en Afrique de l'ouest et du nord, à l'ouest des États-Unis, dans les déserts sud-américains et dans ceux de l'Asie centrale (TOUTAIN *et al.*, 1990). Les dépressions fermées constituent un des traits majeurs des paysages arides.

Au Niger, les cuvettes oasiennes se rencontrent au nord et au sud-est du pays. Dans ces cuvettes, la végétation et les types de sols s'organisent en auréoles concentriques descendant en pente douce vers le centre avec invariablement l'auréole externe constituée essentiellement de palmiers doums (doumiers) denses: *Hyphaene thebaïca* L. (Mart). La plage centrale, parfois occupée par une mare, regorge plus ou moins de natron (AMBOUTA, 2006). Les cuvettes sont couvertes d'une végétation dense composée principalement de palmier doum, palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), baobab (*Adansonia digitata* L.) leur conférant une allure d'oasis, d'où le nom de cuvette oasienne. Les sols de cuvettes sont très fertiles et accueillent les cultures pluviales et irriguées. Les cultures maraîchères, pratiquées essentiellement dans les cuvettes, constituent la source de revenu principal pour les agriculteurs de la région (ABDOU *et al.*, 2009; ABDOU et DJAMBOUTO, 2009). Ces espaces sont non seulement menacés d'ensablement (BODART et OZER, 2009; KANEMBOU et KARIMOUNE, 2013) mais leur nombre total reste inconnu par les populations (TYCHON et AMBOUTA, 2009). En effet, aucune étude n'a préalablement fait un inventaire exhaustif de ces dépressions fermées. Les seuls recensements effectués se sont souvent limités aux cuvettes exploitées (SAA/GOURÉ, 2000).

C'est dans ce contexte que des études ont été initiées pour préserver ces cuvettes oasiennes et évaluer leur rôle socio-économique. En premier lieu, il s'agit de bien les connaître, afin de pouvoir mener des actions d'aménagement et de gestion. Compte tenu de leur nombre important et de leur diversité, la télédétection, à cause de sa vision synoptique, est un outil pertinent pour localiser et inventorier ces

cuvettes oasiennes. Le traitement d'images satellitaires permet d'extraire le maximum d'information sur les objets d'intérêt dans une image et d'éliminer le superflu.

L'objectif de cette recherche est de développer une méthodologie d'identification des cuvettes oasiennes basée sur l'analyse de textures d'images de télédétection. La texture ne possède pas de définition universelle malgré son importance en traitement d'images. Une texture est une structure spatiale constituée par l'organisation de primitives (ou motifs de base) ayant chacune un aspect aléatoire (HARALICK *et al.*, 1973). Les auteurs (MATERKA et STRZELECKI, 1998; TUCERYAM et JAIN, 1998; VARMA, 2005) considèrent la texture comme un phénomène à 2 dimensions : la première concerne la description d'éléments de base ou primitives, à partir desquels est formée la texture, et la deuxième est relative à la description des relations spatiales entre ces primitives. Ce qui nous amène à distinguer selon l'élément de base et les règles de placement, deux types de textures :

- les macrotextures (ou textures structurées) pour lesquelles il est facile d'extraire visuellement le motif de base et les lois d'assemblage des primitives entre elles. Cela fait référence à une approche déterministe qui identifie la répétition spatiale d'un motif de base dans différentes directions ;
- les microtextures (ou textures aléatoires) présentent un aspect plus chaotique et plus désorganisé, mais dont l'impression visuelle reste globalement homogène. Cela fait référence à une approche probabiliste qui cherche à caractériser l'aspect anarchique et homogène qui ne comprend ni motif localisable, ni fréquence de répétition principale.

Les caractéristiques texturales d'une image (contraste, granularité, rugosité...) sont généralement liées aux propriétés des objets qu'elle contient (THOMAS *et al.*, 2000). L'analyse de texture des objets d'une image permet d'obtenir des informations sur la nature de l'objet, de segmenter l'image en régions homogènes, d'améliorer la qualité de l'image (restauration) et d'identifier la texture afin de la réduire à ses paramètres principaux (compression d'images). L'analyse texturale d'image consiste donc à extraire un ou plusieurs paramètres caractéristiques de cette texture. Ces paramètres sont désignés sous le terme d'attributs texturaux (HARALICK *et al.*, 1973). Selon TUCERYAM et JAIN (1998), les méthodes d'analyse de texture peuvent se répartir en quatre catégories :

- les méthodes structurelles qui sont adaptées aux textures macroscopiques, régulières. Elles prennent en compte l'information structurelle et contextuelle d'une forme (utilisation de structures de données, graphes, pyramides) ;

- les méthodes statistiques qui sont basées sur des paramètres statistiques (probabilité 1<sup>er</sup> ordre, 2<sup>e</sup> ordre) estimés pour chaque pixel de l'image: matrices de cooccurrences, matrice de longueurs de plages, matrice de voisinage, fonction d'auto-corrélation, etc. (HARALICK *et al.*, 1973) ;
- les méthodes de modélisation peuvent être réparties en deux groupes: les modèles de champs aléatoires markoviens et les méthodes fractales. Elles sont utilisées non seulement pour analyser des textures, mais aussi pour rendre possible leur synthèse ;
- les méthodes spatio-fréquentielles ou traitement du signal désignent les représentations qui préservent à la fois les informations globales et locales, et sont bien adaptées aux signaux quasi-périodiques. Elles permettent aussi de caractériser la texture à différentes échelles.

La méthode utilisée pour inventorier les cuvettes oasiennes est basée sur un paramètre statistique. Elle a été testée et développée sur un extrait de scène SPOT5 THX centré sur le département de Gouré au Niger.

## 2. MÉTHODOLOGIE

### 2.1. Données utilisées

#### 2.1.1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située dans le département de Gouré, à l'est de la Région de Zinder et au centre-est du Niger (**planche 1**). Elle couvre une superficie totale de 1 566,17 km<sup>2</sup> soit 7,63% de la superficie du département de Gouré.

La géomorphologie étroitement liée aux caractéristiques climatiques et à la nature des roches est caractérisée par des affleurements rocheux, des systèmes dunaires composés de dunes longitudinales (NE-SO) et de dunes transversales orientées NNO-SSE, et de dépressions interdunaires. Les dunes longitudinales s'appuient sur des éminences rocheuses et prennent naissance dans les couloirs entre les massifs rocheux du socle. Elles ont, contrairement aux dunes transversales, leurs sommets modelés par de petites dunes transversales mises en place ultérieurement (KARIMOUNE *et al.*, 1990).

Au total, quatre classes d'unités géomorphologiques ont été établies sur la base de la carte topographique de Gouré ND 32 XI à l'échelle du 1/200000 (IGN Paris, 1962) : les cuvettes oasiennes, les valles sèches, les édifices dunaires et les collines. Les cuvettes oasiennes sont des agrosystèmes qui ont beaucoup de potentialités agricoles. Le niveau de la nappe phréatique varie selon les cuvettes. La nappe est affleurante ou sub-affleurante pour certaines

alors pour d'autres elle est profonde (> 4m) ou peu profonde (> 1m et < 3m) (JAHIEL, 1998).

Concernant les vallées sèches observées dans la zone, ce sont des bas-fonds (localement dénommés *Fayas*) qui représentent des segments généralement étirés de vallées sèches, à dénivelé n'excédant pas 10 m, à fond plat. Les vallées sèches englobent les bas-fonds secondaires couverts par une végétation assez dense d'acacias et de doumiers associée au mil et, en zone non cultivée une couverture homogène de *Leptadenia pyrotechnica* Forrsk (AMBOUTA, 2006). Les bas-fonds sont les parties amonts des réseaux de drainage, où les dépôts alluvionnaires sont quasiment ou totalement inexistantes. Elles se différencient des cuvettes oasiennes par leur forme allongée sur plusieurs kilomètres. Les vallées sèches seraient l'héritage d'un ancien système fluvial qui alimentait autrefois la rivière de la Komadougou (SERVANT, 1970; SERVANT et SERVANT, 1970). L'ensablement des bras du réseau hydrographique qui alimentait le lit de cette rivière a donné lieu à des écoulements intermittents et à un phénomène d'endoréisme très prononcé.

Les édifices dunaires sont des sables quaternaires de grande épaisseur et recouvrent la plus grande partie de la zone. Ils sont représentés par les ergs anciens orientés (ergs de Gouré) à l'ouest, l'erg du Manga et de Tchidi N'Gourbaybé à l'est (PLECO, 2006). Les édifices dunaires font partie des formations superficielles (formations qui sont relativement récentes à l'échelle géologique). Ces dunes présentent deux orientations générales : nord-est / sud-ouest, qui est celle du réseau hydrographique, et sud-est/nord-ouest (KARIMOUNE, 1990).

Enfin, les collines qui affleurent sur la bordure ouest de la zone d'étude, constituent le socle cristallin, très peu représenté. Elles sont caractérisées par les séries anciennes à micaschistes, para-gneiss, quartzites et des granites intrusifs (KARIMOUNE, 1994, KARIMOUNE *et al.*, 1990). Elles forment les hauts reliefs permettant de les distinguer des autres unités de la zone du département de Gouré.

La végétation de Gouré est principalement constituée d'une steppe arbustive claire de *Leptadenia pyrotechnica* Forrsk. et *Pergularia tomentosa* L. (espèces indicatrices de la dégradation du sol) dans le nord (KARIMOU BARKÉ, 2005). Cette steppe devient plus diffuse et arborée dans le sud, composée d'*Acacia senegal* L. (Willd.), *Acacia seyal* Delile, *Acacia raddiana* Savi, *Acacia nilotica* L. (Willd.) ex Delile, *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, *Faidherbia albida* (Delile) A. Chev. (zones à faible couverture sableuse), et *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. (zone indurée et d'affleurement de cuirasse). On note la présence *Prosopis juliflora*

(Sw.) DC. sur les sommets de dunes et envahissant les bords des mares et l'intérieur des cuvettes.

Quant à l'agriculture, elle est une des principales activités des populations du département de Gouré. Elle concerne les cultures pluviales (mil, sorgho, niébé, etc.), les cultures maraîchères (tomate, laitue, chou, oignon, pomme de terre, canne à sucre, manioc, patate douce, etc.) et l'arboriculture (dattiers, manguiers, bananiers, citronniers, papayers et goyaviers) (ABDOU *et al.*, 2009 et ABDOU et DJAMBOUTO, 2009). La seconde activité des populations du département de Gouré est l'élevage. Il est pratiqué dans trois zones distinctes (KARIMOU BARKÉ, 2005) : une zone pastorale proprement dite au nord où l'élevage est extensif, une zone intermédiaire où le système d'élevage est semi-extensif et une zone agricole sédentaire au sud dont le système d'élevage est semi-intensif.

### 2.1.2. L'image SPOT

Une scène SPOT5 THX multibandes en supermode (2,5 m de résolution spatiale), acquise en novembre 2013, a été utilisée. Elle est composée de trois bandes spectrales situées dans le vert (0,50 – 0,59  $\mu\text{m}$ ), le rouge (0,61 – 0,68  $\mu\text{m}$ ) et le proche infrarouge (0,78 – 0,89  $\mu\text{m}$ ).

### 2.1.3. La réalité de terrain et les cartes

Le travail de terrain est une étape indispensable en cartographie. Il a permis de valider les résultats des classifications d'images. Ainsi, les missions d'observations de terrain ont été réalisées à partir de :

- une carte topographique de Gouré ND 32 XI à l'échelle 1/200000 (IGN Paris, 1962). La carte topographique a permis de localiser et de décrire les unités géomorphologiques de la zone ;
- un GPS de type Garmin Dakota 10 pour le relevé des coordonnées des cuvettes oasiennes. Il a aussi servi à retrouver sur le terrain des unités identifiées sur la carte topographique et géomorphologique ;
- deux logiciels : *Erdas Imagine* et *ArcGIS 10.1*. *Erdas Imagine* a été utilisé pour l'amélioration des contrastes, la composition colorée, l'extraction de la zone d'intérêt, mais aussi pour le calage des images, le calcul de l'image de variance, etc. *ArcGIS 10.1* a été utilisé pour faire les analyses SIG et la mise en page des cartes.

## 2.2. Méthode développée

### 2.2.1. Description de la méthode

La méthode développée est réalisée en 3 étapes :

## Étape 1 : Distribution de la variance cumulée, seuillage, classification

L'image de texture est obtenue à partir du calcul d'un descripteur statistique de premier ordre (la variance) dans une fenêtre glissante de 5 sur 5 pixels (**planche 2**). Ce choix a permis d'abord de faire une comparaison avec les travaux de KARIMOU BARKÉ. *et al.* (2015) qui a utilisé une fenêtre de 18 sur 18 pixels et ensuite de voir l'influence de la taille de fenêtre dans la détermination des attributs texturaux. Cette fenêtre est inférieure à la taille des plus petites cuvettes oasiennes observées sur le terrain (2000 m<sup>2</sup>). Elle a été choisie pour détecter également les cuvettes oasiennes dégradées de grande taille, qui se présentent sous forme de chapelet de très petites dépressions.

La valeur de ce descripteur qui est la variance est attribuée au pixel central de chaque fenêtre de l'image résultante. Ce descripteur calcule une hétérogénéité locale sur une surface la plus petite possible (12,5 m par 12,5 m, soit 156,25 m<sup>2</sup>) à partir des images de SPOT5 THX à 2,5 m de résolution spatiale. La variance a été choisie car elle permet de représenter une information globale de l'image, et de bien mettre en évidence les contours des cuvettes oasiennes. La variance traduit donc l'homogénéité de l'ensemble des pixels de la fenêtre, une variance faible indiquant une zone homogène. De ce fait, à l'intérieur des cuvettes on n'observe que des valeurs de variances faibles, tandis que les fenêtres de très forte variance caractérisent les limites qui se trouvent à cheval entre les cuvettes et les vallées sèches, les édifices dunaires ou les collines.

L'image de texture (image des variances des niveaux de gris) est obtenue en calculant d'abord la moyenne (équation 1) et ensuite la variance (équation 2) dans les fenêtres de 5 x 5 pixels définies sur bande infrarouge de l'image SPOT 5 THX.

$$\mu = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} D_{ij}(x,y)}{nm} \quad (\text{Équation 1})$$

où  $\mu$  est la valeur moyenne des niveaux de gris de l'image,  $x$  et  $y$  sont les coordonnées en lignes et colonnes d'un pixel dans l'image,  $n$  est le nombre de lignes de l'image,  $m$  est le nombre de colonnes et  $D_{ij}(x,y)$  sont les valeurs en comptes numériques des pixels appartenant à la fenêtre 5 \* 5.

À partir de cette moyenne la variance de l'image est calculée avec la formule suivante :

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} ((D_{ij}(x,y) - \mu))^2}{nm} \quad (\text{Équation 2})$$

où  $\sigma^2$  représente la variance de la fenêtre mobile  $D_{i,j}$ .

La démarche suivie pour détecter les cuvettes par l'application de la méthode texturale est résumée à la **planche 3**.

La technique de séparation des classes mise au point s'appuie d'abord sur l'analyse de l'histogramme cumulé de l'image texturale (**planche 4**), en utilisant une technique de seuillage d'image à partir de la courbe de cet histogramme. La valeur du seuil **S** déterminée tient compte de la distribution des différentes valeurs des attributs texturaux des pixels de l'image. L'idée est de sélectionner les contours les plus significatifs. Le choix d'un pourcentage de pixels et donc des contours les plus significatifs conduit à la valeur du seuil **S** à utiliser dans le seuillage de l'image. Les contours les plus forts correspondant à ceux des cuvettes s'observent à partir de 90% du canal textural de la bande proche infrarouge par un seuil. Ce seuil est adapté selon les résultats de classification. Cette valeur seuil a permis de délimiter une couronne qui ceinture les cuvettes oasiennes et leurs alentours.

L'outil « effacer » d'ArcGIS a permis de soustraire les couronnes ou limites des alentours des cuvettes à l'intérieur de la zone d'étude. Pour ce faire, on superpose la classe d'entités d'entrée à celle d'entités d'effacement. La classe d'entités d'entrée (**planche 5 A**) est représentée par la couche de la zone d'étude. La classe d'entités d'effacement est représentée par les contours des alentours ou abords des cuvettes oasiennes et quelques édifices dunaires à sol nu (**planche 5 B**). Elle est utilisée pour effacer les entités coïncidentes dans l'entrée. Quant à la classe d'entités de sortie ou nouvelle classe, elle contient uniquement les entités polygonales de la zone d'étude qui ne coïncident pas avec celles d'effacement (**planche 5 C**). Autrement dit, la nouvelle classe est représentée par les parties de la couche de la zone d'étude situées hors des limites des bordures des cuvettes et de leurs alentours. Cette nouvelle classe est constituée par plusieurs polygones situés à l'intérieur des bordures des cuvettes et par un polygone situé à l'extérieur des bordures de cuvettes. Les unités situées à l'extérieur des bordures des cuvettes sont représentées par le polygone qui a une superficie de loin plus grande que celui des polygones « cuvettes ». Ces unités sont composées par des vallées sèches, des édifices dunaires et des collines. Le masque des cuvettes a été déterminé en combinant les polygones représentant l'intérieur des cuvettes à ceux constituant leurs bordures (**planche 5 D**). À partir des polygones des cuvettes précédemment créés, l'image du masque des cuvettes et leurs alentours a été extraite à partir d'une image composite. Cette image composite est obtenue en combinant l'image de variance, celle du NDVI et la bande spectrale infrarouge de l'image SPOT (**planche 6 A**).



L'extraction des contours des cuvettes oasiennes, en utilisant une approche de seuillage par maximisation de la variance, conduit à une segmentation de l'image en deux parties : une partie qui constitue les cuvettes de la zone (**planche 6 B**) et l'autre partie formée par les autres objets qui composent l'image (**planche 6 C**). Ainsi, une première classification dirigée (supervisée) a été appliquée au masque des cuvettes en utilisant l'algorithme de la distance de Mahalanobis pour améliorer la précision des résultats (cf. **planche 3**).

### Étape 2: Combinaison, classification

Les classes représentant les autres objets (vallées sèches, édifices dunaires et collines) ont été d'abord délimitées à partir de l'inverse du masque des cuvettes (cf. **planche 3**). Ensuite, une image dérivée ou composite qui les représente a été créée (**planche 6 C**). Elle est obtenue en combinant : la bande du proche infrarouge de l'image de SPOT, l'image de texture et l'indice de végétation NDVI. Enfin, une autre classification, effectuée uniquement sur cette image composite, a permis de détecter les vallées sèches, les édifices dunaires, les collines et les cuvettes oasiennes identifiées partiellement lors de l'étape 1.

### Étape 3: Fusion

Les résultats de la classification de l'étape 1 et ceux de l'étape 2 ont été fusionnés afin de regrouper l'ensemble des unités géomorphologiques (cf. **planche 3**). La fusion permet de mettre ensemble les unités géomorphologiques semblables contiguës issus des étapes 1 et 2. La table des données à fusionner contient exactement les mêmes attributs, sinon il risque d'y avoir des problèmes au niveau de l'interprétation. Un effort préalable d'harmonisation des tables d'attributs et leur contenus a donc été effectué.

#### 2.2.2. Correction et intégration des données de terrain

La confrontation des résultats issus de la classification avec la réalité du terrain est une étape déterminante pour valider la méthode. Une mission de vérification des maquettes cartographiques a été effectuée sur le terrain afin de voir la réalité des thèmes et la pertinence des délimitations. Les coordonnées des sites identifiés sur l'image ont été intégrées dans un GPS. Ces sites ont été vérifiés sur le terrain. Au niveau de chaque site, les observations ont été effectuées à travers des fiches de relevés de terrain. Les données collectées sur le terrain ont été intégrées et superposées aux informations obtenues sur l'image. Les données collectées ont aussi servi à l'évaluation de la classification réalisée.

#### 2.2.3. Evaluation de la classification réalisée

La dernière étape d'une classification d'image consiste à valider la classification en évaluant sa pertinence (vérification *a posteriori*). La validation s'est faite sur ArcGIS 10.1 à l'aide d'une matrice de confusion réalisée grâce à un fichier de référence représentant la réalité du terrain ou sites de vérification (ASSAMI *et al.*, 2014; MOSTEPHAOUI et BENSAID, 2014). Les sites ayant servi à la vérification sont indépendants des sites d'entraînement pour ne pas biaiser le processus de contrôle. Les sites d'entraînement représentent des zones sur lesquelles le logiciel se base pour faire les regroupements des pixels. Dans ces zones, les unités d'occupation des sols sont connues, et l'on demande au logiciel de prendre ces zones comme référence pour effectuer la classification et la généraliser à toute l'image. Les sites de vérification et d'entraînement ont été pris au hasard directement sur le terrain, ou à partir de documents auxiliaires (cartes topographiques et d'occupation des sols existantes).

La matrice de confusion (**tableau 1**) est un tableau de contingence confrontant les classes obtenues sur la carte (colonnes de la matrice) et les classes identifiées (lignes de la matrice) pour l'échantillon. Sur la diagonale, on trouve donc les valeurs bien classées, et hors de la diagonale les éléments mal classés. La somme des valeurs sur une ligne donne le nombre d'exemples théoriques de la catégorie. Si les classes sont indépendantes, la position de l'erreur n'a aucune signification. En revanche, si les classes ne sont pas indépendantes, l'erreur d'identification devient forte. Différents indicateurs de précision sont calculés par le logiciel suite la détermination de la matrice de confusion : coefficient Kappa, précision globale, taux de fiabilité d'une classe et taux de bonne classification (CONGALTON, 1991; FLEISS et COHEN, 1973).

	Classification			Total lignes
	Unité 1	Unité <i>i</i>	Unité <i>n</i>	
Unité 1	X11	X1i	X1n	N1
Référence Unité <i>i</i>	Xi+	Xii	X+i	Ni
Unité <i>n</i>	Xn1	Xni	Xnn	Nn
Total colonnes	M1	Mi	Mn	N

**Tableau 1 :**

*Notation d'une matrice de confusion (Girard, M. C. et Girard, C. M. 1999)*

Le coefficient Kappa est un estimateur de la précision qui varie entre 0 et 1. Il a été calculé selon l'équation 3.

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^I X_{ii} - \sum_{i=1}^I (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^I (X_{i+} * X_{+i})} \quad (\text{Équation 3})$$

où  $N$  est le nombre total d'observations,  $I$  est le nombre de lignes de la matrice de confusion,  $x_{ii}$  est le nombre d'observations dans la ligne et colonne  $i$ ,  $x_{i+}$  est la somme marginale de la ligne  $i$ ,  $x_{+i}$  est la somme marginale de la colonne  $i$ .

La précision totale est le rapport entre le nombre de pixels bien classés divisé par le nombre total d'individus. Les diagonales du tableau de la matrice donnent les pixels bien classés. Le taux de fiabilité d'une classe est le pourcentage de pixels d'un groupe issu de la classification correspondant au même groupe dans les données de référence. Elle est calculée selon les lignes. Cette mesure est aussi appelée précision de l'utilisateur. C'est une indication de la probabilité qu'un groupe de pixels d'une catégorie issu de la classification représente effectivement cette catégorie sur le terrain. Le taux de bonne classification est le pourcentage du nombre de pixels d'une classe de référence affectés à la même classe par la classification. Elle est calculée selon les colonnes. Cette mesure de précision indique la probabilité qu'un groupe de pixels d'une classe de référence soit correctement classés par la télédétection.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1. Extraction des cuvettes oasiennes à partir d'une image SPOT THX

La binarisation, suite au seuillage, du canal textural de la bande du proche infrarouge de l'image SPOT5 THX 5 a permis de créer deux classes d'objets. La première classe correspond aux limites des cuvettes oasiennes et à quelques zones de cultures et sols nus sur des édifices dunaires (**planche 7A**). Les cuvettes oasiennes dont les auréoles externes à *Hyphaene thebaïca* sont dégradées ont été détectées partiellement en raison des discontinuités de leur limite. La deuxième classe d'objets concerne les vallées sèches, les édifices dunaires et les collines.

Les résultats de la première classe d'objets ont été améliorés en délimitant et en éliminant une zone tampon autour des objets précédemment créés par classification dirigée par l'algorithme de Malahanobis (**planche 7B**). Après la classification, quatre classes ont été déterminées. Il s'agit des cuvettes oasiennes et leurs alentours constitués de vallées sèches, d'édifices dunaires et d'affleurements rocheux. Les cuvettes oasiennes ont été bien identifiées à l'exception de quelques-unes dont l'auréole externe à palmier doum est dégradée.

Les cuvettes oasiennes sont reconnaissables sur l'image SPOT5 THX grâce à leurs formes circulaires, allongées ou amiboïdes, et surtout à l'organisation des différentes auréoles de sols et végétation. Les résultats confirment la définition des cuvettes oasiennes proposées par AMBOUTA (2006). Ils définissent les cuvettes oasiennes comme des dépressions interdunaires de section très variée localement dénommées « *N'Gors* » et dont la forme générale se rapproche de celle d'un tronc de cône renversé. Il faut noter que la valeur seuil à partir de laquelle les contours des cuvettes ont été déterminés est adaptée selon les résultats de classification. Lorsqu'on diminue la valeur du seuil, la zone qui correspond aux auréoles de palmier des cuvettes s'élargit; en revanche, quand on fait augmenter la valeur du seuil on se retrouve dans la situation où les cuvettes dégradées ne peuvent plus être mises en évidence parce que la variance des fenêtres est trop faible. Néanmoins, il faut noter que le canal textural de la bande du proche infrarouge a permis de mettre en évidence les contours des cuvettes oasiennes. Ces contours sont constitués par une ceinture de végétation phréatophile (palmier doum). Ceci confirme le grand intérêt de la bande du proche infrarouge d'une image SPOT dans l'étude de la végétation (IGN, 2010).

#### 3.2. Cartographie des classes d'unités géomorphologiques

La classification de l'image composite, correspondant à la deuxième classe d'objets (étape 2 de la méthode) a délimité principalement les édifices dunaires, les vallées sèches et les collines. Elle a aussi servi à détecter quelques cuvettes oasiennes qui ont été mal identifiées sur la **planche 7B**. En effet les cuvettes oasiennes, donc les auréoles externes à palmier doum sont dégradées ont été partiellement identifiées avec le masque des cuvettes. Une partie dégradée d'une auréole externe de cuvette enregistre une faible valeur de variance et par conséquent son contour devient discontinu et ne peut pas être fermé. De ce fait, il est impossible de sélectionner à travers l'outil « effacer » le polygone situé à l'intérieur des bordures internes de la cuvette oasienne.

Les unités identifiées à partir de l'image composite sans les cuvettes ont contribué à la réalisation de la carte des unités géomorphologiques du secteur d'étude en 2013 présentée à la **planche 8**. La carte des unités géomorphologiques est obtenue après avoir combiné les résultats des deux classifications sur le masque des cuvettes et sur l'image composite sans le masque des cuvettes. À travers les investigations de terrains, les collines ont été observées exclusivement dans la zone de socle du secteur d'étude. Par conséquent, les collines identifiées hors

de la zone de socle ont été manuellement remplacées par les unités correspondantes.

Le nombre et la superficie minimale, moyenne, maximale et totale de chaque unité ont été estimés (**tableau 2**).

Au total, 5013 cuvettes oasiennes couvrant 7,35% de la superficie de la zone d'étude ont été recensées. La taille des cuvettes oasiennes est variable : 0,20 ha pour la plus petite, 2,30 ha en moyenne et 249,16 ha pour la taille maximale. Elles apparaissent sous forme de taches plus ou moins allongées et se localisent aux abords des vallées sèches. Les cuvettes oasiennes abritent une végétation ligneuse très dense et très variée organisée en trois bandes :

- la première, dite auréole externe est formée presque exclusivement de *Hyphaene thebaïca*. On trouve en sa périphérie interne des dattiers ;
- la deuxième est une ceinture à spéculation agricole. Elle est apte au maraîchage et à l'arboriculture. Elle peut comporter des herbacées hydrophiles tolérantes des sols alcalins ;
- la troisième est occupée par une nappe d'eau superficielle durant la saison des pluies et un sol nu à natron en saison sèche.

Quant aux vallées sèches, elles couvrent 20,69% de la superficie totale. Les vallées sèches sont reconnaissables sur une image SPOT par des bandes étroites de végétation dense qui peuvent faire plusieurs dizaines à plusieurs centaines de kilomètres de longueur. Elles apparaissent sur l'image de la même manière que les cuvettes et se différencient par leur longueur. Ainsi, les vallées sèches, présentent une formation plus ou moins dense d'épineux où domine *Acacia senegal* en association avec *Acacia raddiana* et *Acacia seyal* sur un fond de tapis herbacé à *Cenchrus biflorus* Roxb. Dans certaines vallées sèches où les conditions hydriques sont défavorables, cette association est dominée par *Acacia raddiana*. Ces vallées sèches ont trois vocations : agricole, agropastorale et pastorale (AMBOUTA, 2006).

Les édifices dunaires constituent l'essentiel des unités et occupent 71,83% de la superficie totale. Ces dunes se localisent sur toute la zone d'étude.

Les édifices dunaires sont reconnaissables sur une image SPOT à cause de leur étendue et présentent un couvert végétal variable qui va des dunes vives sans végétation à des dunes à steppe arborée en passant par celles à steppe herbeuse et arbustive. En effet, la végétation des édifices dunaires est principalement constituée d'une steppe arbustive claire à *Leptadenia pyrotechnica* et/ou à *Calotropis procera* (Aiton) W.T.Aiton dans le nord, qui laisse place à une steppe plus diffuse et arborée à *Acacia raddiana* dans le sud. La steppe herbeuse est essentiellement composée de *Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis* Trin. & Rupr., et *Pergularia tomentosa* L.

Les collines sont observées au sud-ouest de la zone et représentent 0,14% de la superficie totale. Les collines sont remarquables sur les images-satellites par leur couleur grise foncée, d'une part, et leur position topographique surélevée d'autre part. Leur végétation s'est développée particulièrement sur du granite jeune du Mounio et est organisée en trois strates :

- la steppe arborée dominée par *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. et *Commiphora africana* (A. Rich.) Engl. ;
- la strate arbustive composée de *Grewia* spp., *Lannea fruticosa* (Hochst. ex A. Rich.) Engl ;
- le tapis herbacé constitué aussi bien de plantes annuelles (*Aristida* spp., *Cenchrus biflorus*) que de plantes pérennes (*Andropogon gayanus* Kunth., *Cymbopogon giganteus* (Hochst.) Chiov.).

### 3.3. Résultats de l'évaluation de la classification d'image réalisée par analyse texturale

L'évaluation de la classification obtenue dans cette étude est estimée à travers la matrice de confusion entre les observations de terrain et l'interprétation des images (**tableau 3**).

D'après la matrice de confusion, les cuvettes oasiennes ont été détectées avec un taux de fiabilité de 88,5%. Cela veut dire que 88,5% des pixels de la classe des cuvettes représentent bien des cuvettes oasiennes identifiées sur le terrain. Le taux de bonne classification montre que 82,7% des pixels identifiés sur le terrain comme étant des cuvettes, sont

Classes	Nombre	Superficie minimale (ha)	Superficie maximale (ha)	Superficie moyenne (ha)	Superficie totale (ha)
<b>Cuvettes oasiennes</b>	5 013	0.20	249	2	11 512
<b>Vallées sèches</b>	328	2.53	16 202	98	32 386
<b>Édifices dunaires</b>	168	0.34	65 567	669	112 499
<b>Colline</b>	43	0.21	59	5.07	218

**Tableau 2** : Superficie en hectare et nombre des unités géomorphologiques en 2013.

	Cuvette	Vallée sèche	Édifrice dunaire	Colline	Total	Taux de fiabilité d'une classe (%)
<b>Cuvette</b>	407 993	48 985	4 098	0	461 076	88.49
<b>Vallée sèche</b>	58 179	1 454 579	23 935	11 813	1 548 506	93.93
<b>Édifrice dunaire</b>	27 169	50 860	3 297 149	5 384	3 380 562	97.53
<b>Colline</b>	0	0	0	44 397	44 397	100.00
<b>Total</b>	493 341	1 554 424	3 325 182	61 594	5 434 541	
<b>Taux de bonne classification (%)</b>	82.70	93.58	99.16	72.08		
<b>Précision globale (%)</b>	96.8%					
<b>Coefficient Kappa</b>	0.96					

**Tableau 3 :** Matrice de confusion de la classification par analyse texturale.

effectivement affectés à cette classe après classification. On note aussi un taux de bonne classification très important des vallées sèches (93,6%) et des édifices dunaires (99,2%). La précision globale indique une valeur de 96,8%. Quant au coefficient Kappa, la valeur obtenue sur la classification (0,96) peut être considérée comme satisfaisante selon CONGALTON (1991), FLEISS et COHEN (1973). Ceci traduit la qualité élevée de la classification par analyse texturale visant à identifier des unités géomorphologiques.

Cependant, les résultats montrent que les vallées sèches présentent une confusion spectrale avec les édifices dunaires, en raison de valeurs de réflectance similaires. Sur les 1 554 424 pixels pris comme échantillon de vallée de sèche sur le terrain, 6,42% sont classés comme édifices dunaires et cuvettes (erreur d'omission).

Les confusions des unités en creux (cuvettes oasiennes et vallées sèches) entre elles d'une part, et avec les édifices dunaires et les collines d'autre part, s'expliquent par la diversité physiologique de leurs unités d'occupation du sol. Ces unités peuvent apparaître de la même façon sur une image SPOT pour plusieurs raisons. D'abord, du point de vue topographique, les vallées sèches sont aussi des dépressions généralement peu profondes et plus étirées que les cuvettes. Le fond est plat ou légèrement ondulé et présente une nappe phréatique profonde. Ensuite, il faut noter qu'une cuvette oasienne est caractérisée par une forte végétation de palmiers. La végétation des vallées sèches aussi est assez dense. Elle est dominée par *Acacia raddiana*, *Acacia albida*, *Hyphaene thebaïca* et *Calotropis procera*. Ces espèces se retrouvent aussi dans les cuvettes. La végétation des cuvettes oasiennes et des vallées sèches se reflète donc manière analogue sur une image SPOT. Les parcelles de cultures pluviales caractérisées leurs

formes géométriques régulières sont semblables sur une image SPOT lorsqu'elles sont pratiquées sur un édifice dunaire ou dans une vallée sèche.

La précision globale (96,8%) obtenue dans cette étude corrobore beaucoup d'études sur la classification d'image par analyse de leur texture, qui ont donné des résultats satisfaisants (FRANKLIN *et al.*, 2000; FRANKLIN *et al.*, 2001; ZHANG *et al.*, 2004). Ces auteurs ont montré qu'en combinant les canaux de texture et les informations spectrales, on peut avoir une précision globale de 75 à 100% selon le niveau hiérarchisation des classes. GUO *et al.* (2010) ont montré qu'avec le seuillage d'une image de variance on peut parvenir à une amélioration significative, parfois de plus de 10% en termes d'exactitude de la classification, par rapport à la méthode par pixel. Selon WELLENS (2014), l'analyse par texture est meilleure que celle par pixel. Les performances de l'analyse texturale peuvent encore être améliorées en combinant plusieurs attributs texturaux (WELLENS, 2014). Mais cela convient surtout pour une petite zone car les procédés de l'analyse texturale ont l'inconvénient d'occuper beaucoup « d'espace disque » et de demander beaucoup de temps de calcul. Cette étude a utilisé un seul attribut textural qu'est la variance. Par ailleurs, dans nos récents travaux (KARIMOU BARKÉ *et al.*, 2015), nous avons fait une évaluation comparative entre trois méthodes d'identification des cuvettes basées sur les analyses d'images par pixel, par texture et par objet. Dans cette étude comparative, une fenêtre glissante de 18\*18 pixels a été utilisée pour déterminer l'image de variance. Les résultats ont montré une performance incontestablement supérieure de l'analyse par objet (coefficient Kappa égal à 0,97) par rapport à l'approche par texture (coefficient Kappa égal à 0,90) qui à son tour est meilleure que l'approche par pixel (coefficient Kappa égal à 0,80).



Cependant, en comparant ces deux études, on observe une amélioration du coefficient kappa de 0,06 quand la taille de la fenêtre glissante passe de 18\*18 pixels à 5\*5 pixels. La taille de la fenêtre glissante appliquée à une image de variance est donc un paramètre qui influence sur la détection de la superficie minimale des objets. Ce qui permet de dire que la précision globale d'une analyse d'image par la texture peut être améliorée lorsque la taille de la fenêtre glissante de l'image de texture est inférieure à la taille minimale des objets.

#### 4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Dans ce travail, nous avons développé une méthodologie se basant sur l'analyse texturale pour détecter les cuvettes oasiennes en utilisant la variance comme descripteur. L'efficacité de cette méthode est liée aux descripteurs choisis (attributs texturaux retenus, nombre d'attributs et fenêtre d'analyse). La démarche d'analyse texturale développée a permis d'aborder un aspect de la classification d'image par détection des contours des objets, en utilisant une approche de seuillage par maximisation de la variance, ce qui conduit à une segmentation de l'image en deux parties : les cuvettes oasiennes de la zone d'une part, et les autres objets qui composent l'image, d'autre part. Une autre classification sur uniquement cette deuxième partie a permis de détecter les vallées sèches, les édifices dunaires et les collines. Cette étude a montré l'intérêt de réaliser le seuillage d'une image de texture. Cependant, le seuillage ne donne pas toujours de bons résultats dans le cas d'une image de niveau de gris qui a un histogramme multimodal résultant des zones très contrastées présentes dans l'image.

Pour les applications concernant la cartographie de l'occupations des sols, la méthode d'analyse basée sur la variance n'est pas une référence, car elle ne permet pas de faire la discrimination entre tous les objets d'étude. Cette approche détecte seulement les objets ayant une texture macroscopique. Cependant, la méthode utilisant la matrice de co-occurrence, donne de bons résultats sur des images qui contiennent un grand nombre de classes d'occupation du sol (FRANKLIN *et al.*, 2000; WELLENS, 2014).

Enfin, il faut noter que ces cuvettes sont des agroécosystèmes avec beaucoup de potentialités agricoles. C'est pourquoi une caractérisation et un suivi de ces agrosystèmes sont nécessaires pour effectuer leur mise en valeur. Il s'agira de suivre l'évolution de l'occupation du sol et du système agraire des cuvettes oasiennes, ce qui permettra de spatialiser et hiérarchiser les pressions d'origine agricole ou éolienne à la base de la dégradation

des ressources naturelles (eau, sol, végétation, natron). Une telle étude poursuivie sur plusieurs années permettrait de déterminer les potentialités et contraintes de l'exploitation des cuvettes oasiennes.

#### 5. REMERCIEMENTS

Les auteurs voudraient remercier l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES) du Royaume de Belgique qui a financé cette étude grâce au Projet Interuniversitaire Ciblé (PIC) dénommé REC-Gouré (recherche sur l'ensablement des cuvettes oasiennes de Gouré) dont la thématique principale est la préservation des cuvettes oasiennes et de leur rôle socio-économique. Nous remercions également le programme ISIS (Incitation à l'Utilisation Scientifique des Images SPOT). Les images SPOT 5 THX qui ont servi à cette étude ont été subventionnées par le programme ISIS du Centre National d'Etudes Spatiales (France).

#### 6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDOU Y., ADJI M. & AMBOUTA K. J.M., 2009. Opportunité et viabilité économiques des opérations de traitement des dunes de sable dans le département de Gouré au Niger: cas des villages de Balla, Sissia et Lafia. *Geo-Eco-Trop*, **33**, 133–140.
- ABDOU Y. & DJAMBOUTO B., 2009. Les justifications et les faisabilités économiques et sociales du traitement des dunes de sable dans le département de Gouré au Niger: cas du village de Tchago. *Geo-Eco-Trop*, **33**, 125–132.
- AMBOUTA K. J.M., 2006. *Caractérisation des cuvettes et bas-fonds et possibilité d'exploitation agricole et de valorisation dans la zone d'intervention du Projet de Lutte Contre l'Ensablement des Cuvettes Oasiennes dans les départements de Gouré et de Mainé-soroa (PLECO)*, 37 p., Gouré, Niger.
- ASSAMI T., HAMDI-AISSA B., HALITIM A., MOSTEFAOUI T. & ROUAHANA H., 2014. Apport de la télédétection dans l'étude de la relation entre états de surface et pédopaysages en milieu aride: exemple de la région d'El Outaya (Biskra, Algérie). *Algerian Journal of Arid Environments*, **4**, 60-71.
- BODART C. & OZER A., 2009. Apports de la télédétection dans l'étude de la remise en mouvement du sable dunaire dans la région de Gouré (sud-est du Niger). *Geo-Eco-Trop*, **33**, 57–68.
- CONGALTON R. G., 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, **37**, 35–46.

- FLEISS J. L. & COHEN J., 1973. The equivalence of weighted kappa and the interclass correlation coefficient as measures of reliability. *Educ. Psycho. Mans.*, **33**, 613–619.
- FRANKLIN S. E., HALL R. J., MOSKAL L. M., MAUDIE A. J., LAVIGNE M. B., 2000. Incorporating texture into classification of forest species composition from airborne multispectral images. *International Journal of Remote Sensing*, **21**, 61–79.
- FRANKLIN S. E., MAUDIE A. J. & LAVIGNE M. B., 2001. Using spatial co-occurrence texture to increase forest structure and species composition classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **67**, 849–856.
- GIRARD M. C., & GIRARD C. M., 1999. *Traitement des données de télédétection - Environnement et ressources naturelles*. 2<sup>e</sup> édition, Dunod, Paris, 537 p..
- GUO Z., ZHANG L. & ZHANG D., 2010. Rotation invariant texture classification using LBP variance (LBPV) with global matching. *Pattern Recognition*, **43**, 706–719.
- HARALICK R. M., SHANMUGAM K. & DINSTEN I., 1973. Textural Features for Image Classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **6**, 610-621.
- IGN Paris, 1962. Carte topographique de l'Afrique de l'Ouest à l'échelle 1/200.000, Gouré, Feuille ND 32 XI, IGN, Paris, 1962.
- IGN, 2010. Le paysage forestier vu du ciel, *L'IF* n°25 2<sup>e</sup> Trimestre 2010, 12 p.
- JAHIEL M., 1998. Rôle du palmier dattier dans la sécurisation foncière et alimentaire au sud-est du Niger. *Sécheresse*, n° 2 (9), 167–174.
- KANEMBOU L. & KARIMOUNE S., 2013. Processus d'ensablement des cuvettes et suivi par télédétection dans le département de Gouré, Niger. *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, **002**, 173–197.
- KARIMOU BARKE. M., TYCHON B, OUSSEINI I. & OZER A., 2015. Détection des cuvettes oasiennes du centre-est du Niger par classifications d'images satellite SPOT5-THX. Accepté pour publication dans *Photo Interprétation-European J. of Applied Remote Sensing*.
- KARIMOU BARKE. M., 2005. *Caractérisation morpho-pédologique des cuvettes de Tchago et Worro (dans le département de Gouré)*. Mémoire de DEA, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger.
- KARIMOUNE S., 1994. *Etude géomorphologique de la région de Zinder (Niger) Damagaram et plateau du Koutous.*, Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique.
- KARIMOUNE S., OZER A. & EPIRCUM. M., 1990. Les modelés éoliens de la région de Zinder (Niger méridional), étude de photogéomorphologie, note préliminaire. In : *Télédétection et Sécheresse*, Edition AUPELF-UREF, 145–161.
- MATERKA A. & STRZELECKI M., 1998. *Texture analysis methods – A Review*. University of Lodz, Institute of Electronics (Vol. COST B11, Bruxelles, 1-33).
- PLECO, 2006. *Cartographie de la situation de l'ensablement de la zone d'intervention du Projet de Lutte Contre l'Ensablement des Cuvettes Oasiennes dans les départements de Gouré et de Mainé-soroa PLECO*, 66p.
- MOSTEPHAOUI T. & BENSALID R., 2014. Caractérisation des sols gypseux dans les zones arides par télédétection cas du sous-bassin versant d'oued Djedi-Biskra. *Lebanese Science Journal*, **15**, 99–115.
- SAA/GOURE, 2000. *Inventaire et utilisations agropastorales des cuvettes de l'arrondissement de Gouré*. Service d'Arrondissement de l'Agriculture de Gouré, République du Niger. 21p.
- SERVANT M., 1970. Données stratigraphiques sur le quaternaire supérieur et récent au nord-est du lac Tchad. *Cah. ORSTOM*, **II**, 95–114.
- SERVANT M. & SERVANT S., 1970. Les formations lacustres et les diatomées du quaternaire récent du fond de la cuvette tchadienne. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, **XII**, 63–76.
- THOMAS H., COLLET C., YAO, K. & BUREL. G., 2000. Classification de textures en imagerie sonar et invariance en rotation *Traitement Du Signal*, **17**, 1–19.
- TOUTAIN G., DOLLE V. & FERRY M., 1990. Situation des systèmes oasiens en régions chaudes. *Les Systèmes Agricoles Oasiens*, **11**, 7–18. Disponible sur Internet : <http://om.ciheam.org/om/pdf/a11/CI901462.pdf>
- TUCERYAM M. & JAIN A. K., 1998. Texture analysis. In *The handbook of pattern recognition and computer* (Vol. vision, 2, pp. 1–41).
- TYCHON B. & AMBOUTA K. J.M., 2009. Gestion interdisciplinaire du problème d'ensablement des cuvettes en milieu sahélien nigérien. *Geo-Eco-Trop*, **33**, 1–10.
- VARMA M. & ZISSERMAN A., 2005. A Statistical Approach to Texture Classification from Single Images. *International Journal of Computer Vision*, **62**, 61–81.

WELLENS J. (2014). *Un cadre pour l'utilisation des outils d'aide à la décision à diverses échelles spatiales pour la gestion de l'agriculture irriguée en Afrique de l'Ouest*. Thèse de doctorat, Université de Liège, Liège, Belgique, 100 p.

ZHANG C., FRANKLIN S. E. & WULDER M. A., 2004. Geostatistical and texture analysis of airborne-acquired images used in forest classification. *International Journal of Remote Sensing*, **25**, 859–865.

## LISTE DES TABLEAUX ET PLANCHES

### Tableaux

**Tableau 1** : Notation d'une matrice de confusion (Girard & Girard, 1999)

**Tableau 2** : Superficie en hectare et nombre des unités géomorphologiques en 2013

**Tableau 3** : Matrice de confusion de la classification par analyse texturale

### Planches

**Planche 1** : Carte de localisation de la zone d'étude

**Planche 2** : Image de la variance des niveaux de gris de la bande infra-rouge d'une image SPOT5 THX dans une fenêtre de 5 pixels sur 5

**Planche 3** : Schéma synoptique de l'application de la méthode de détection des cuvettes par l'analyse texturale

**Planche 4** : Fréquence cumulée des valeurs de variance dans une fenêtre de 156 m<sup>2</sup> du canal proche infrarouge» d'image SPOT5 THX

**Planche 5** : L'effet de l'outil d'analyse « effacer » et de gestion des données « combiner » d'ArcGIS sur une image SPOT d'une partie de la zone d'étude

**Planche 6** : Image composite issue de la combinaison de la bande PIR, image de variance, NDVI (A), image composite du masquage des cuvettes (B) et inversion du masque (C)

**Planche 7** : Cartographie des cuvettes oasiennes et de leurs alentours obtenue à partir du canal textural de la bande infrarouge de l'image SPOT 5 THX (A) et amélioration du résultat par classification supervisée (B)

**Planche 8** : Carte des unités géomorphologiques de la zone d'étude

# DETECTION OF OASIS BASINS IN EAST-CENTRAL NIGER BY TEXTURAL IMAGE CLASSIFICATION BASED ON THE VARIANCE

Mahamadou KARIMOU BARKÉ<sup>1</sup>, Bernard TYCHON<sup>2</sup>, Issa OUSSEINI<sup>3</sup>, André OZER<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Département Sciences et Gestion de l'Environnement, Faculté des Sciences, Université de Liège (Ulg), B-6700-Arlon/Belgique. Adresse au Niger: BP. 10960 Niamey Niger  
Courriel: msbarke@student.ulg.ac.be; barke\_mk@yahoo.fr

<sup>2</sup>Département Sciences et Gestion de l'Environnement, Faculté des Sciences, ULg, B-6700 Arlon/Belgique  
Courriel: bernard.tychon@ulg.ac.be

<sup>3</sup>Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines (FLSH), Université Abdou Moumouni de Niamey (UAM), BP 418 Niamey Niger  
Courriel: issaousseini31@gmail.com

<sup>4</sup>Département de Géographie, Faculté des Sciences, ULg, B-6700 Arlon/Belgique  
Courriel: aozer@ulg.ac.be

---

## ABSTRACT

This study assesses the possibility of detection of oasis basins in east-central Niger through textural analysis of satellite images based on the variance. Texture analysis serves to find descriptive attributes that quantify images granularity characteristics, directionality or finesse. These textural characteristics are usually related to image objects properties. An image texture analysis provides information about the nature of objects, constituting the segments of homogeneous regions, and improves image quality.

The study area is located in the Sahel-Saharan region of Niger (**plate 1**). Note that agriculture and animal husbandry are the main economic activities in this area. Irrigated and rainfed crops guarantee almost all cereal production. Irrigated crops grown in the oasis basins provide a minimum level of output less sensitive to fluctuations in rainfall than rainfed crops. Oasis basins are closed depressions within which flow is endorheic. These basins are the only places where irrigated agriculture is practiced during the dry season. They therefore constitute the main source of income for farmers in the region. Indeed, no study has previously made an exhaustive inventory of these closed depressions. The only censuses carried were often limited to exploited oasis basins. In this context this study has been initiated to preserve the oasis basins and assess their socio-economic roles.

The developed method detects oasis basins based on the image variance of the grey levels (digital counts) in a 5x5 pixels moving window (**plate 2**) of the infrared band of a SPOT5-THX image (2.5 m spatial resolution) acquired in November 2013.

This procedure is performed in three steps (**plate 3**). The first stage analyses the cumulative frequency curve of variance values (**plate 4**) determined by a threshold value. The high window variance values, representing the contours of the basins, were determined from a threshold adapted to the classification results. This threshold value allowed with the «erase» tool of ArcGIS to make a mask of the oasis basins and their surroundings, and another mask representing the other items: dry valleys, dune edifices and hills (**plate 5**). Both masks led to a segmentation of the composite image into two parts. To improve the accuracy of the results, a supervised classification, using the Mahalanobis distance algorithm, was performed on the first part of the image, oasis basins and some surrounding bare soil dunes (**plate 6B**). The second part of the image, representing dune edifices, dry valleys and hills, was used in step 2. In this step, a second supervised classification, using the same algorithm, was applied on the composite image without cuvettes oasis (**plate 6C**), hence allowing to distinguish between the various constituent objects. In the third step, the results from step 1 and 2 were combined.

Classification evaluation is based on a confusion matrix (**table 1**). The evaluation indicators calculated are: Kappa coefficient, overall accuracy, rate of reliability of a class and correct classification rate. Following thresholding, binarization of the textural channel derived from the infrared band of SPOT 5 THX image first delineates the oasis basins (**plate 7A**); then this result has been improved through supervised classification of the oasis basins boundaries (**plate 7B**). The combined results of the two images show four classified geomorphic units (**table 2** and **plate 8**): oasis basins (11512ha or 7.4%



of the study area), dry valleys (32386ha or 20.7% of the study area), dune edifices (112499ha or 71.8% of the study area) and hills (218ha or 0.1% of the study area). Classification evaluation has given satisfactory conclusions with a Kappa coefficient of 0.96 and a rate of correct oasis basins classification of 82.7% (**table 3**). Our results confirm several studies showing that the performance of image classification by textural analysis is greater than using simple pixel by pixel analysis. But some confusions remain between classes. These confusions can be explained by the definition of classes identified in the study, which are geomorphological units. Yet, these geomorphological units may have similar land cover. For example, a temporary water can be located at a top of a hill, in a dry valley or in an oasis basin. However, the performance of the oasis basin detection method can be improved by combining several textural attributes to create a textural composite image.

This study demonstrates the possible identification and measurement of the surface of oasis basins in a part of the Gouré Department; this could be done even with free remote sensing software allowing computation of a textural channel. The inventory of these oasian basins resources is a necessary first step in their monitoring and the evaluation and management of their agricultural potential.

## KEYWORDS

Oasis basins, SPOT 5 imagery, textural classification, variance, Gouré, Niger

---

## LIST OF TABLES AND PLATES

### Tables

**Table 1:** Confusion matrix notation (Girard & Girard, 1999)

**Table 2:** Area in hectares and number of geomorphological units in 2013

**Table 3:** Confusion matrix of the classification by textural analysis

### Plates

**Plate 1:** Location map of the study area

**Plate 2:** Variance of the grey levels of the infrared band of a SPOT5-THX image computed in 5\*5 pixels windows

**Plate 3:** Synoptic view of the implementation of the detection method of oasis basins using textural analysis image

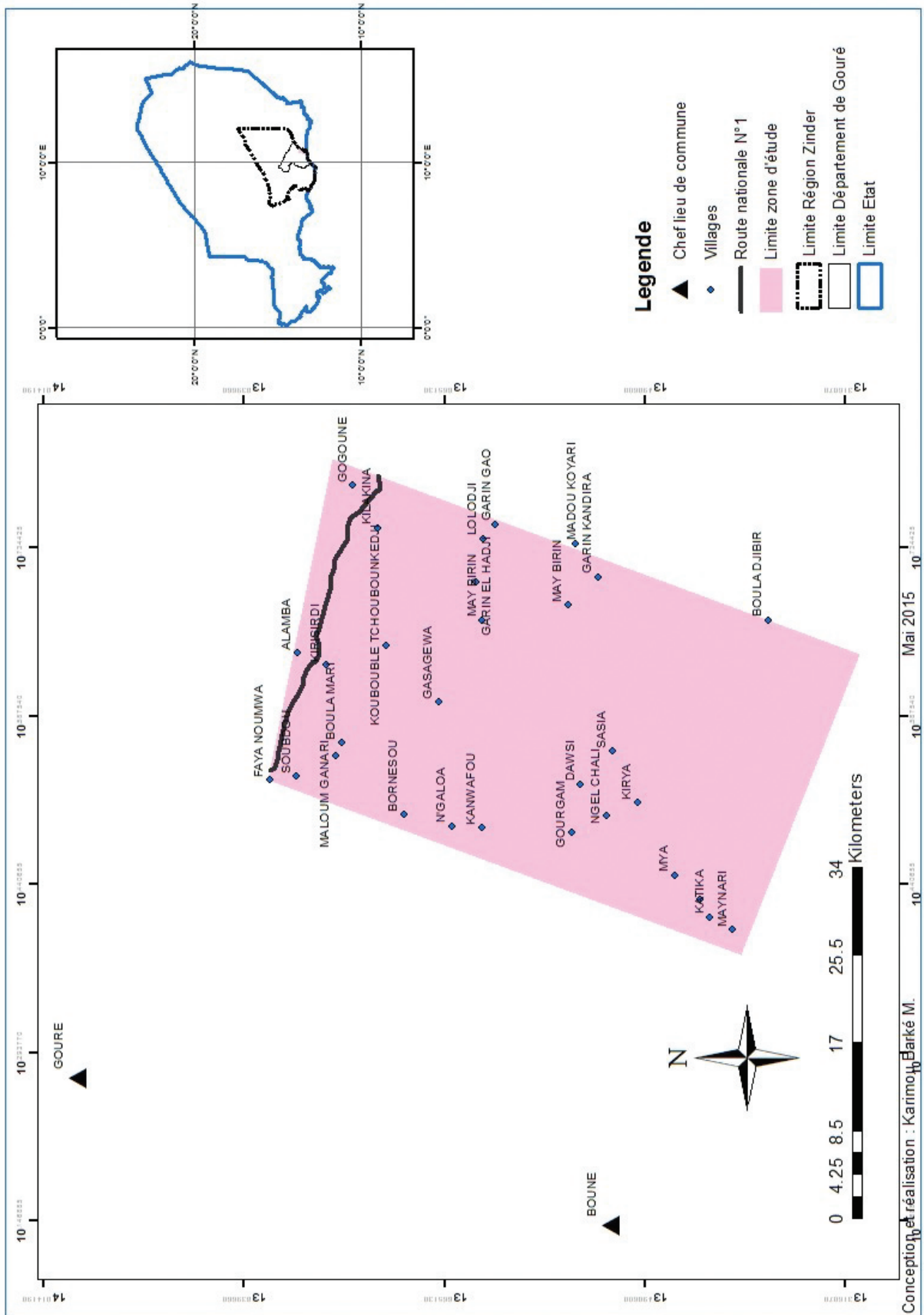
**Plate 4:** Cumulative frequency of variance values in a window of 156 m<sup>2</sup> of the infrared band of SPOT5-THX image

**Plate 5:** Effect of the analysis tool “erase” and data management tool “combine” to ArcGIS on a SPOT image of a part of the study area

**Plate 6:** Composite image after the combination of NIR band, variance image, NDVI (A), composite image of masking cuvettes (B) and inversion of the mask (C)

**Plate 7:** Oasis basins extract and their surroundings obtained from the textural channel of infrared band of SPOT 5 THX image (A) and their improvement by supervised classification (B)

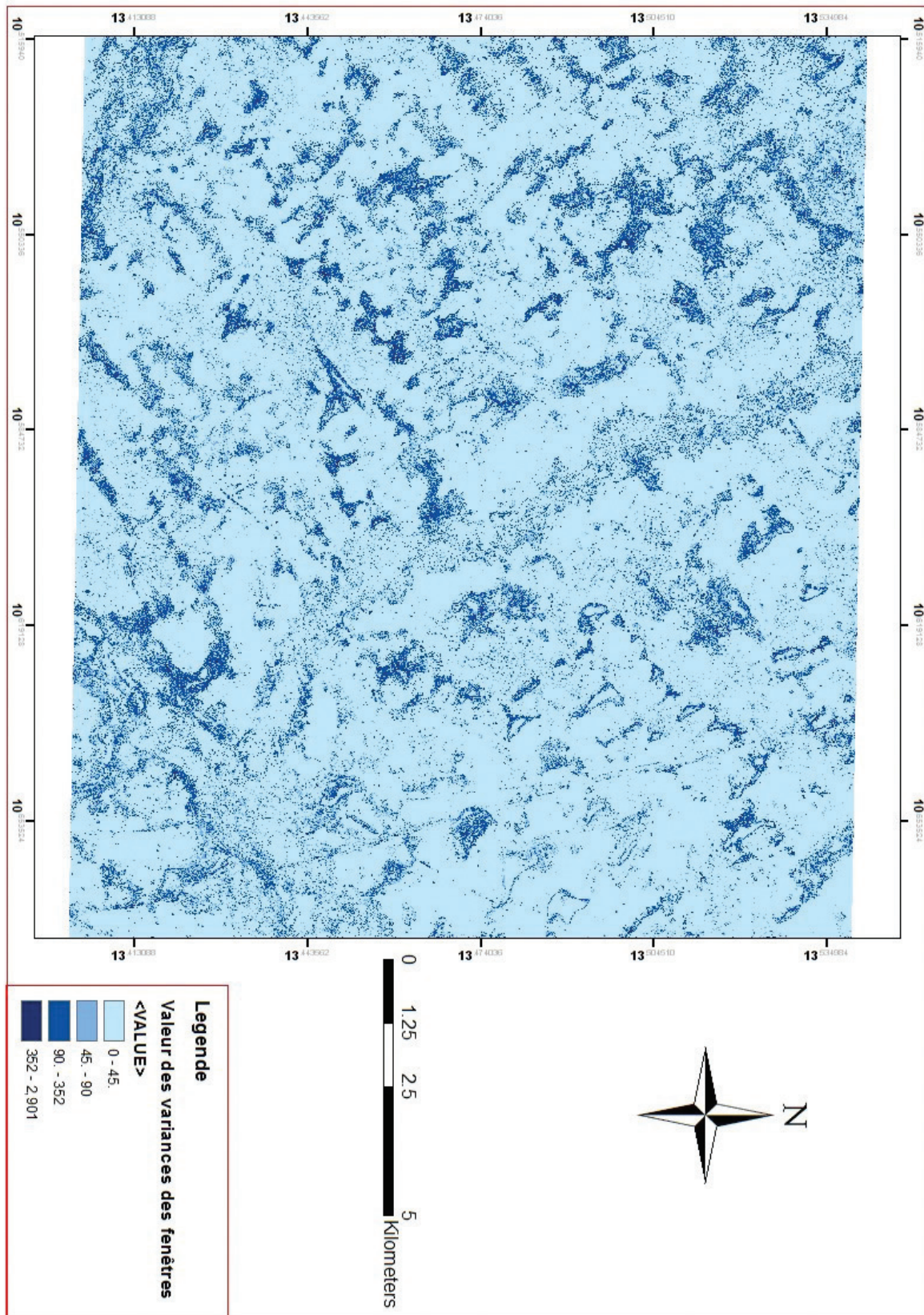
**Plate 8:** Map of geomorphic units of the study area



*Plate 1: Location map of the study area.*

*Planche 1: Carte de localisation de la zone d'étude.*

**Article page 24,**  
**Mahamadou KARIMOU BARKÉ, Bernard TYCHON, Issa OUSSEINI et André OZER**

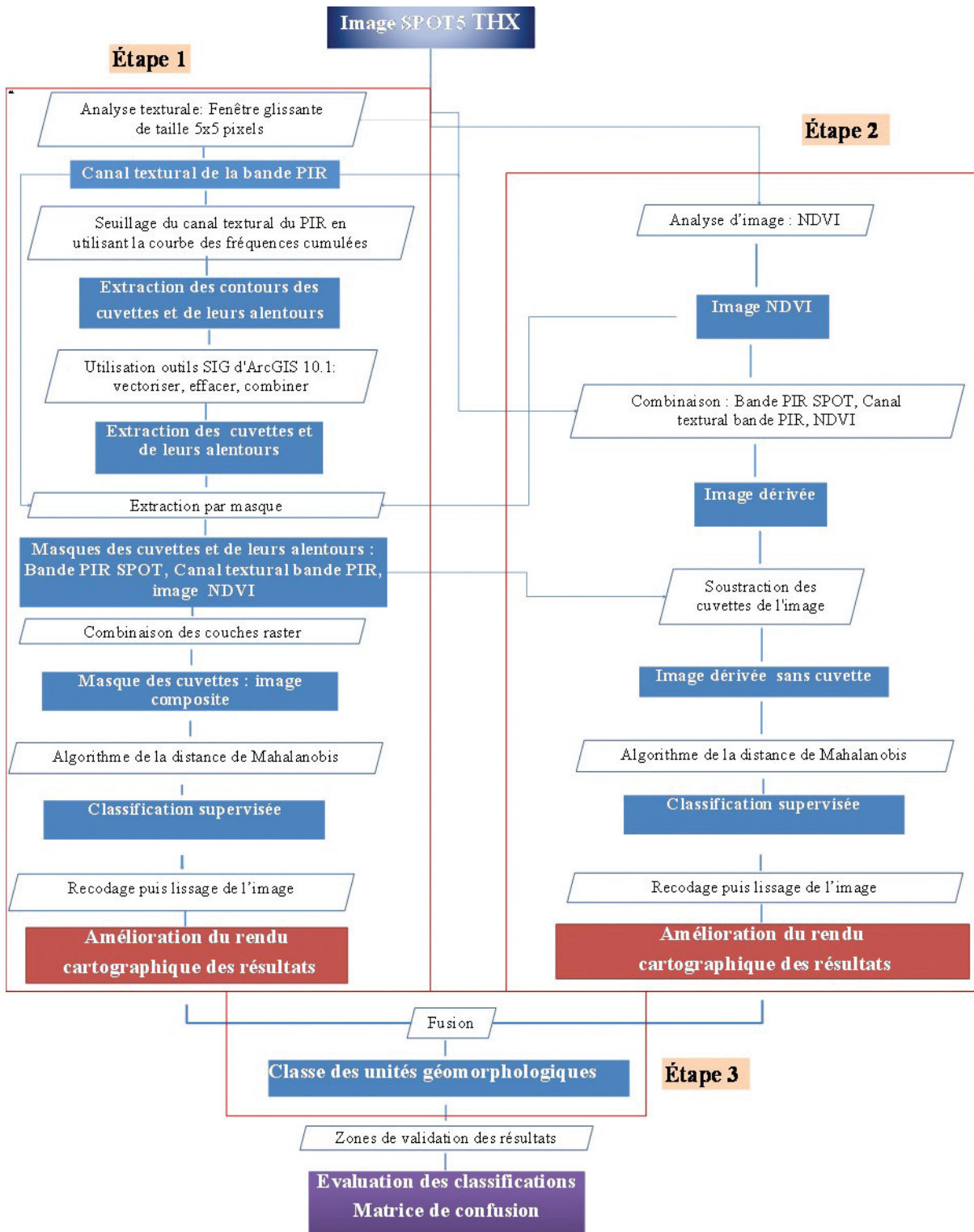


*Plate 2: Variance of the grey levels of the infrared band of a SPOT5-HRG image computed in 5\*5 pixels windows.*

*Planche 2: Image de la variance des niveaux de gris de la bande infra-rouge d'une image SPOT5 HRG dans une fenêtre de 5 pixels sur 5.*

**Article page 24,**  
**Mahamadou KARIMOU BARKÉ, Bernard TYCHON, Issa OUSSEINI et André OZER**



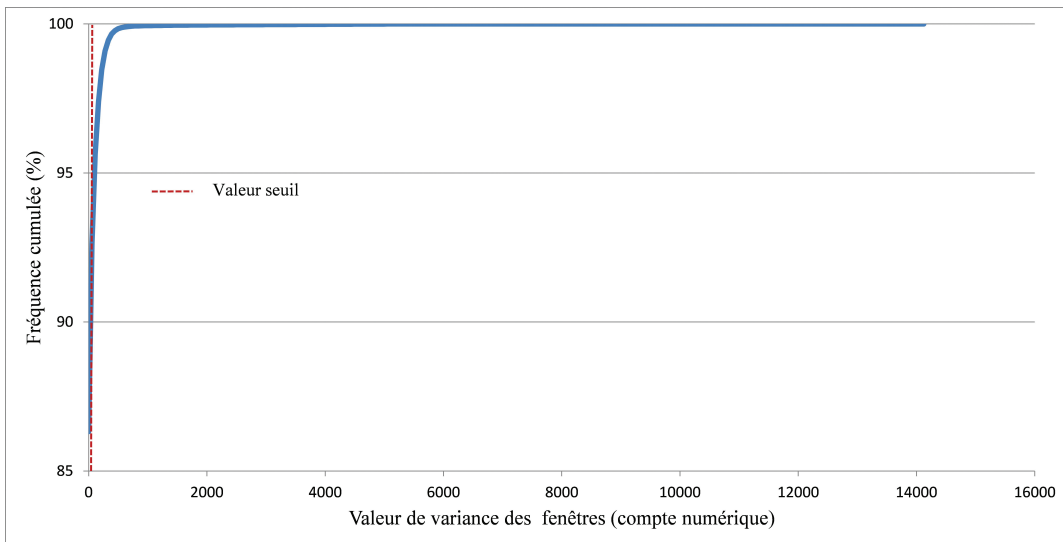


**Plate 3: Synoptic view of the implementation of the detection method of oasis basins using textural analysis image.**

**Planche 3: Schéma synoptique de l'application de la méthode de détection des cuvettes par l'analyse texturale.**

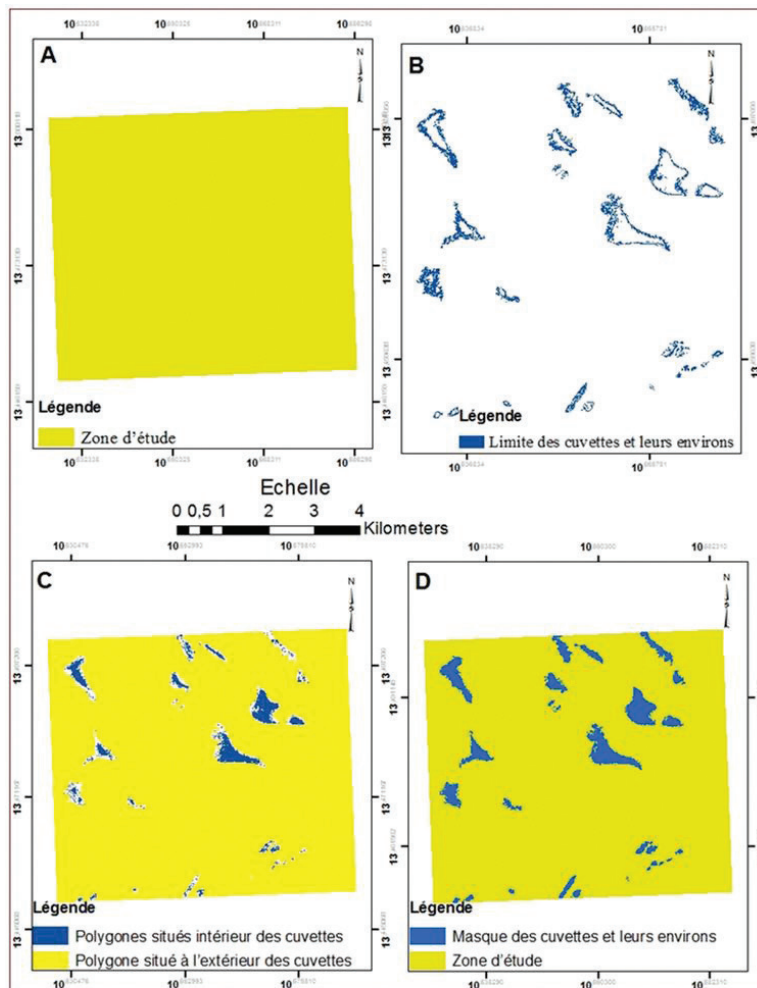
**Article page 24,  
Mahamadou KARIMOU BARKÉ, Bernard TYCHON, Issa OUSSEINI et André OZER**





*Plate 4: Cumulative frequency of variance values in a window of 156 m<sup>2</sup> of the infrared band of SPOT5-HRG image.*

*Planche 4 : Fréquence cumulée des valeurs de variance dans une fenêtre de 156m<sup>2</sup> du canal proche infrarouge d’image SPOT5 HRG.*

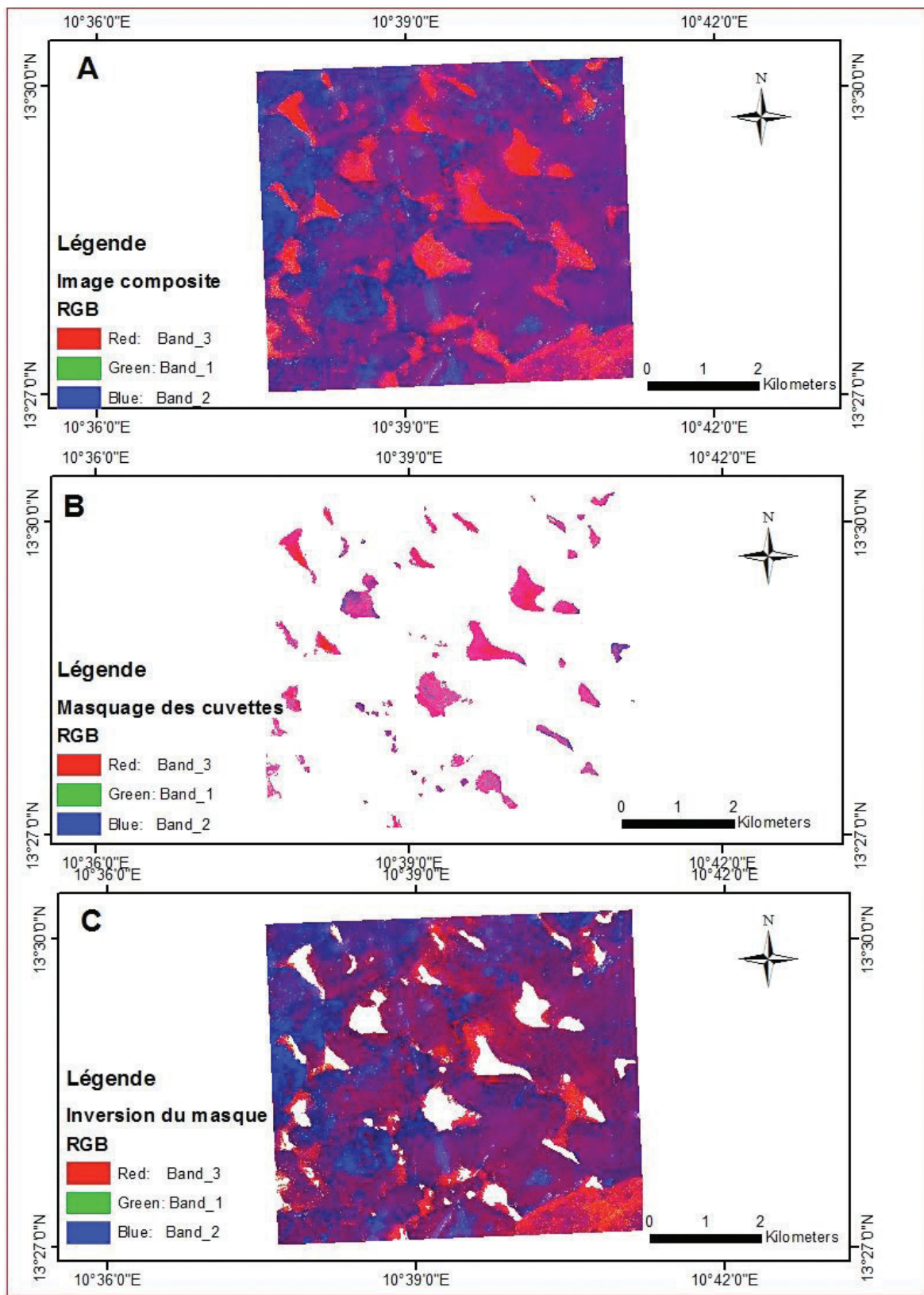


*Plate 5: Effect of the analysis tool “erase” and data management tool “combine” to ArcGIS on a SPOT image of a part of the study area.*

*Planche 5 : L’effet de l’outil d’analyse « effacer » et de gestion des données « combiner » d’ArcGIS sur une image SPOT d’une partie de la zone d’étude.*

**Article page 24,**

**Mahamadou KARIMOU BARKÉ, Bernard TYCHON, Issa OUSSEINI et André OZER**

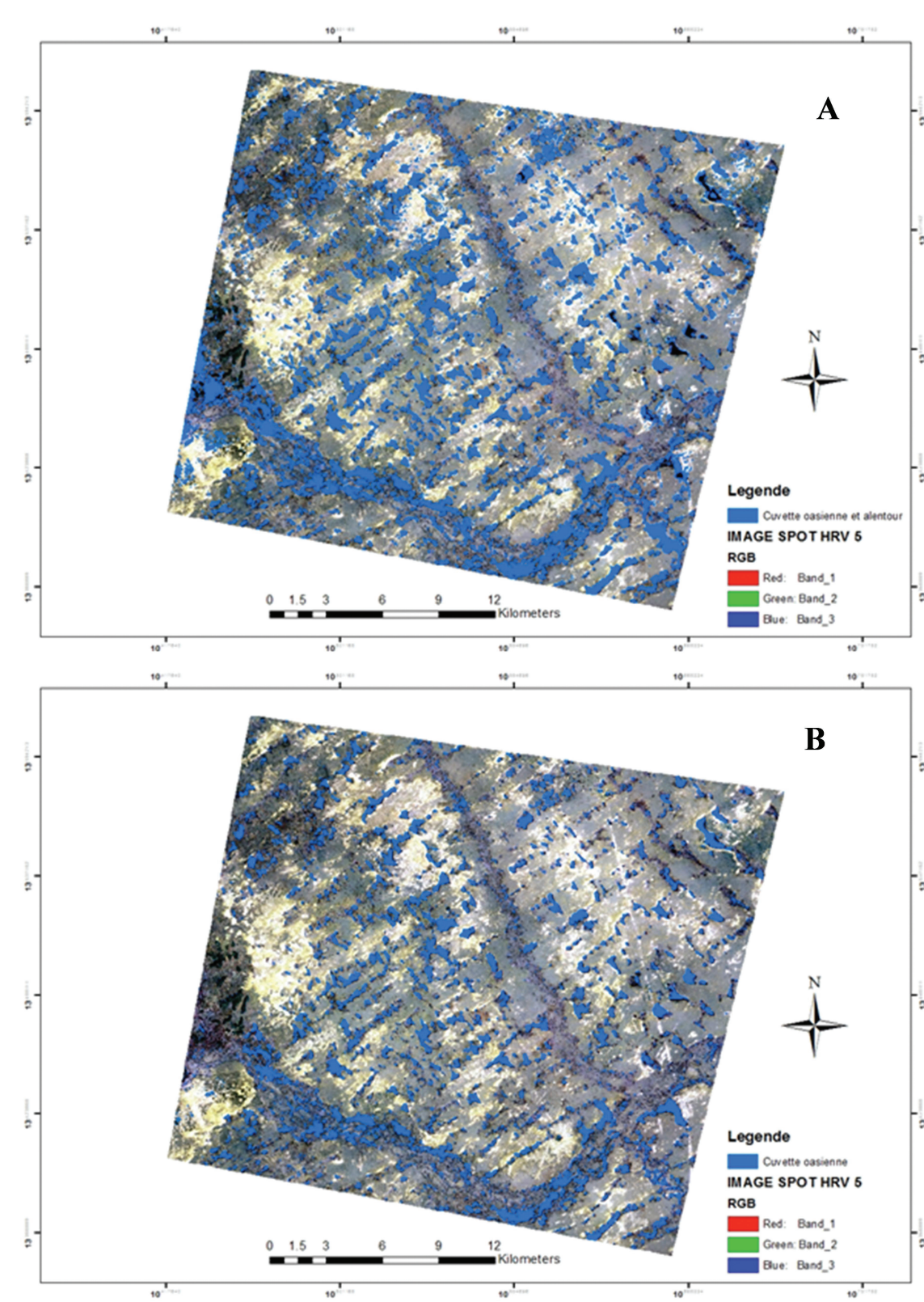


*Plate 6: Composite image after the combination of NIR band, variance image, NDVI (A), composite image of masking cuvettes (B) and inversion of the mask (C).*

*Planche 6: Image composite issue de la combinaison de la bande PIR, image de variance, NDVI (A), image composite du masquage des cuvettes (B) et inversion du masque (C).*

**Article page 24,**

**Mahamadou KARIMOU BARKÉ, Bernard TYCHON, Issa OUSSEINI et André OZER**



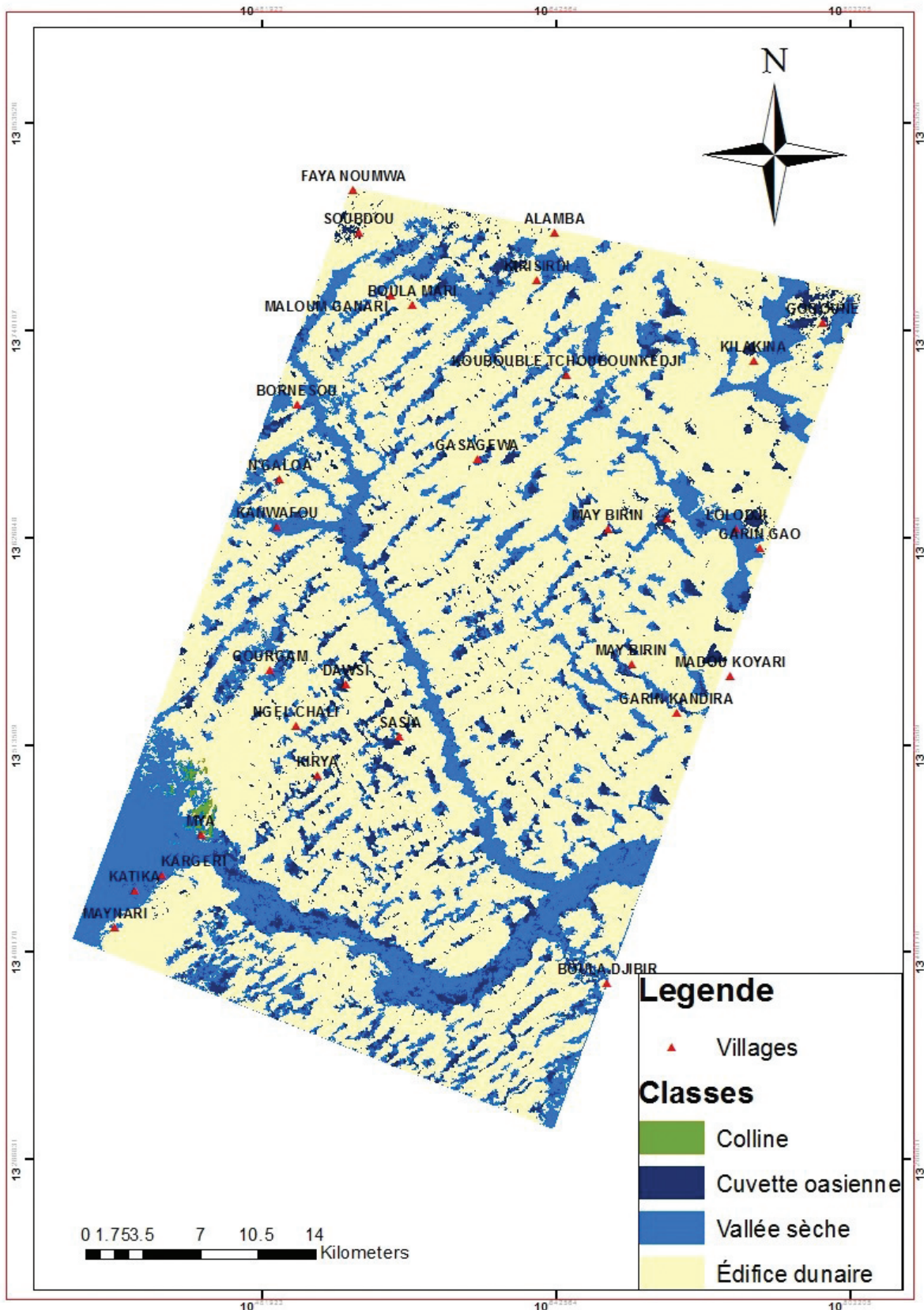
*Plate 7: Oasis basins extract and their surroundings obtained from the textural channel of infrared band of SPOT 5 HRG image (A) and their improvement by supervised classification (B).*

*Planche 7: Cartographie des cuvettes oasiennes et de leurs alentours obtenue à partir du canal textural de la bande infrarouge de l'image SPOT 5 HRG (A) et amélioration du résultat par classification supervisée (B).*

**Article page 24,**

**Mahamadou KARIMOU BARKÉ, Bernard TYCHON, Issa OUSSEINI et André OZER**





*Plate 8: Map of geomorphic units of the study area.*

*Planche 8 : Carte des unités géomorphologiques de la zone d'étude.*

**Article page 24,**

**Mahamadou KARIMOU BARKÉ, Bernard TYCHON, Issa OUSSEINI et André OZER**



Reproduced with permission of copyright owner. Further reproduction prohibited without permission.