

Jica, 1968

Corona, 1989

Spot7, 2016

Rapport d'étude

Analyse par télédétection de la dynamique d'occupation du sol dans trois terroirs villageois du vieux bassin arachidier au Sénégal sur la période 1968-2016

Par

Mamadou Lamine NDIAYE

Le 25 juin 2016

Sous la Direction CIRAD de

Valérie SOTI et Jonathan VAYSSIERES

Sous financement IRD

Dominique MASSE

Résumé

La télédétection spatiale représente à l'heure actuelle, un outil de choix pour l'observation synoptique des paysages agraires et leur suivi spatio-temporel de façon quasi permanente. L'objectif de cette étude est de cartographier la dynamique de l'occupation du sol dans l'observatoire IRD « démographie, santé, environnement » de Niakhar, situé au cœur du bassin arachidier sénégalais et plus particulièrement dans trois terroirs villageois de l'observatoire retenus pour la diversité de leurs trajectoires agricoles. La méthodologie fait appel dans un premier temps à une collecte de jeu de données, multi-sources, multi-échelle, multi-résolution et multi-dates. Ces données hétérogènes sont constituées d'une photo satellitaire Corona de 1968, d'une photo aérienne JICA de 1989 et d'une image satellite Spot7 de 2016. Ensuite, une opération de prétraitement est appliquée à ces données, à savoir, la correction géométrique, le mosaïquage des images, le rehaussement des histogrammes et la fusion d'images. Enfin, l'approche orientée objets est appliquée sur l'ensemble des images, avant de procéder à une classification par maximum de vraisemblance. Au total, 10 classes d'occupation du sol ont été distinguées pour chaque année. Les résultats de la classification ont été validés par interprétation visuelle, à partir d'un ensemble de points de validation sélectionnés de façon aléatoire. Ces résultats sont jugés satisfaisants au regard des valeurs de la précision globale qui est de 76,08% en 1968, 79,92% en 1989 et 92,95% en 2016. L'indice Kappa confirme également une classification bonne à excellente avec des indices de 0,72, 0,76 et 0,92 pour les années 1968, 1989 et 2016 respectivement. A l'échelle de l'ensemble de l'observatoire (30 terroirs villageois, 447 km²), les tendances montrent une progression des classes « mil », « bâti » et « maraîchage ». Par contre une tendance à la régression est notée du côté des classes « arachide », « jachère » et « bas-fonds ». A l'échelle des trois terroirs villageois, les tendances notées varient d'un village à l'autre. Dans le village de Bari Sine, qui ne compte que quatre classes, on constate une progression de la classe « arachide » et « bâti » au détriment des classes « mil » et « végétation arborée ». A Diohine et Sob, les tendances observées sont presque similaires à la tendance générale observée sur l'ensemble de l'observatoire, à savoir une progression des classes, « mil », « bâti », et « maraîchage » et une régression de la classe « arachide ». Ces résultats, croisés avec des données agronomiques, démographiques, climatiques et socio-économiques, pourraient servir à mieux comprendre la dynamique du système agraire du bassin arachidier et à mieux anticiper la dynamique des systèmes agricoles de la zone dans les années à venir.

Mots clés : Télédétection spatiale, Photo satellite Corona, Photo aérienne JICA, Image satellite Spot7, Analyse Orientée objet, Dynamique occupation du sol, terroirs villageois, Afrique.

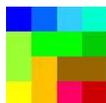
Pour citer ce document :

Ndiaye M.L., Soti V., Vayssières J., Masse D., 2016. Analyse par télédétection de la dynamique d'occupation du sol dans trois terroirs villageois du vieux bassin arachidier au Sénégal sur la période 1968-2016. Rapport CIRAD, IRD, CSE, Dakar, Sénégal, 60 p.

Abstract

Remote sensing is currently a tool of choice for the synoptic agrarian landscapes and their spatiotemporal tracking almost permanently. The objective of this study is to map the dynamics of land use in the IRD observatory "demography, health, environment" of Niakhar in the heart of the Senegalese groundnut basin and particularly in three village land observatory chosen for their diverse agricultural paths. The methodology involves initially a collection of data set, multi-source, multi-scale, multi-resolution and multi-date. These heterogeneous data consists of a satellite photo of Corona of 1968, an aerial photograph of 1989 and JICA a satellite image Spot7 2016. Then, a pretreatment operation is applied to these data, namely, the geometric correction, mosaicking images, enhancement histograms and image fusion. Finally, the object-oriented approach is applied to all the images, prior to a classification by maximum likelihood. A total of 10 land cover classes were distinguished for each year. The classification results were validated by visual interpretation, from a set of validation points selected randomly. These results are considered satisfactory with regard to the values of the overall accuracy is 76.08% in 1968, 79.92% in 1989 and 92.95% in 2016. The Kappa index also confirms good to excellent with classification 0.72 indices, 0.76 and 0.92 for the years 1968, 1989 and 2016 respectively. On the scale of the entire observatory (30 village land, 447 km²), trends show an increase in class "mil", "frame" and "gardening". By against a downward trend is noted on the side of classes "peanut", "fallow" and "slums". At the level of the three village lands, the trends noted vary from one village to another. In the village of Bari Sine, with only four classes, there is a progression of "peanut" class and "built" at the expense of classes "mil" and "woody vegetation". In Dihine and Sob, the trends are almost similar to the general trend of the entire observatory, ie a progression of classes, "millet", "frame" and "gardening" and a class of regression "peanut". These results, crossed with agricultural, demographic, climatic and socio-economic, could be used to better understand the dynamics of the agrarian system of the groundnut basin and to better anticipate the dynamics of agricultural systems of the area in the coming years.

Keywords: Space remote sensing, satellite Photo Corona, Aerial photo JICA, Satellite View Spot7, object oriented analysis, Dynamic land use, village land, Africa.



Dp Divecosys

Diversité des systèmes de production et gestion agroécologique des bioagresseurs en Afrique de l'Ouest



Dp PPZS

Pole Pastoralisme et Zones Sèches



Lmi IESOL

Intensification Ecologique des Sols Cultivés en Afrique de l'Ouest

Sommaire

Introduction.....	8
Chapitre 1. Inventaire des données disponibles dans la zone d'étude.....	11
1.1. Description des photos satellitaires CORONA.....	14
1.2. Description de la photographie aérienne JICA.....	14
1.3. Description des capteurs Landsat.....	15
1.4. Description des images Spot6 et SPOT7.....	17
1.5. Description des images Pléiades.....	18
1.6. Description des images ALOS.....	18
1.7. Description de l'image SRTM.....	19
Chapitre 2. Méthodologie de traitement des données de télédétection.....	21
1.8. Identification et prétraitement des données.....	21
1.9. Méthodologie de classification des données.....	25
Chapitre 3. Bilan de l'occupation du sol à l'échelle global.....	39
3.1. Analyse de l'occupation du sol en 1968.....	39
3.2. Analyse de l'occupation du sol en 1989.....	42
3.3. Analyse de l'occupation du sol en 2016.....	45
3.4. Dynamique de l'occupation du sol entre 1968 et 2016.....	48
Chapitre 4. Bilan de l'occupation du sol à l'échelle des trois terroirs.....	50
4.1. Analyse de l'occupation du sol à Bari Sine entre 1968 et 2016.....	53
4.2. Analyse de l'occupation du sol a Diohine entre 1968 et 2016.....	54
4.3. Analyse de l'occupation du sol à Diohine entre 1968 et 2016.....	55
Conclusion.....	56
Références.....	57
Annexes.....	57

Remerciements

En premier lieu, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mes deux encadrants, Valerie Soti et Jonathan Vayssières, pour avoir dirigé cette étude avec dévouement, rigueur et patience. Soyez-en remerciés.

A Dominique Masse au nom de l'IRD pour le financement de cette étude, également pour ses encouragements.

A Ibra Touré pour son aide précieuse à l'identification des données sources ayant servi à la reconstitution de l'historique de l'occupation du sol dans l'observatoire démographie santé de Niakhar.

A Richard Lalou pour le partage de données utiles à la validation des tendances observées pour la classe « végétation arborée » pour le terroir de Sob.

A Hyacinthe Sambou pour son soutien considérable dans la phase de validation des classifications. Je profite de cette occasion pour renouveler mes remerciements et ma reconnaissance à son égard, pour les nombreuses années qu'il s'est consacré afin de nous initier en télédétection et SIG.

Au Centre de suivi écologique (CSE) pour m'avoir accueilli afin de pouvoir en toute sérénité réaliser cette étude.

Je remercie également le Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomatique (LERG) par le biais de son Directeur le Prof. Amadou Tahirou Diaw qui en 2013 m'avait permis de travailler à côté des chercheurs du CIRAD et par la même occasion de me familiariser avec les outils géomatique au sein du Laboratoire.

Merci à tous ceux qui de prêt ou de loin ont permis de réaliser cette étude.

Liste des figures

Figure 1 : Aperçu de la photo satellite CORONA, 1968 (a) de la photo aérienne JICA, 1989 (b) et de l'image satellitaire Spot7, 2016 (c)	22
Figure 2 : Aperçu des points de contrôles et de l'erreur quadratique de l'image Corona	23
Figure 3 : Aperçu du processus de fusion de l'image Panchromatique aux images multispectrales	24
Figure 4 : Principe du rehaussement radiométrique des images de télédétection (Ressources naturelles Canada : http://www.rncan.gc.ca/)	25
Figure 5 : Signature spectrale des différentes unités d'occupation du sol	26
Figure 6 : Aperçu de l'image multispectrale SPOT_7 2016 (à gauche) en mode fausse couleur Vert-Rouge-PIR (à gauche) et la pseudo-bande NDVI (à droite).....	30
Figure 7 : Aperçu du processus de segmentation de l'image Spot avec la pseudo-bande NDVI.....	31
Figure 8 : Aperçu de trois éléments de l'occupation du sol de la zone d'étude : la végétation arborée, les parcelles de mil et d'arachide	31
Figure 9 : Paramètres de segmentation des supports photos	32
Figure 10 : Aperçu d'un extrait de la segmentation : a) extrait image brute ; b) extrait de l'image segmentée	32
Figure 11 : Aperçu des attributs disponible sur Envi et des bandes sélectionnées pour la classification (RVB+PIR et NDVI)	33
Figure 12 : Aperçu de l'outil de traitement des segments non classés et du choix des valeurs seuil.....	34
Figure 13 : Aperçu de l'étape de la sélection des classes ciblées pour la classification et des échantillons d'apprentissage	34
Figure 14 : Aperçu des paramètres sélectionnés pour la classification des photos.....	34
Figure 15 : Figure 15 : Aperçu d'une configuration des concessions dans la zone d'étude avec distinction de 4 classes d'occupation du sol : toitures en paille, toitures en zinc, végétation arborée, sol nu.....	35
Figure 16 : Organigramme pour la classification orientée objets (Adapté Huang et al., 2008)	37
Figure 17 : Carte d'occupation du sol en 1968 de la zone d'étude.....	39
Figure 18 : Carte d'occupation du sol en 1989 de la zone d'étude.....	42
Figure 19 : Carte d'occupation du sol en 2016 de la zone d'étude.....	45
Figure 20 : Vue d'ensemble des différentes cartes d'occupation du sol en 1968, 1989 et 2016.....	49
Figure 21 : Carte d'occupation du sol en 1968 des terroirs d'étude	50
Figure 22 : Carte d'occupation du sol en 1989 des terroirs d'étude	51
Figure 23 : Carte d'occupation du sol en 2016 des terroirs d'étude	51
Figure 24 : Etat des classes d'occupation du sol à Bari Sine entre 1968 et 2016.....	53
Figure 26 : Etat des classes d'occupation du sol à Dihine entre 1968 et 2016	54
Figure 28 : Etat des classes d'occupation du sol à Sob entre 1968 et 2016.....	55

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répertoire des données disponibles dans la zone d'étude entre les années 1960's et 2010's.....	13
Tableau 2 : Bandes spectrales de l'imageur MSS	15
Tableau 3 : Bandes spectrales de l'imageur TM	16
Tableau 4 : Bandes spectrales de l'imageur ETM+	16
Tableau 5 : Bandes spectrales de l'imageur OLI.....	17
Tableau 6 : Bandes spectrales de l'imageur TIRS	17
Tableau 7 : Bandes spectrales des imageur SPOT6 et SPOT7	18
Tableau 8 : Bandes spectrales de l'imageur ALOS.....	19
Tableau 9 : Caractéristiques des données sources sélectionnées.....	21
Tableau 10 : Description des différentes unités paysagères.....	27
Tableau 11 : Echelle d'appréciation de la classification (Landis et Koch, 1977).....	36
Tableau 12 : Proportion des classes d'occupation du sol en 1968.....	40
Tableau 13 : Rapport matrice de confusion de la classification de 1968.....	41
Tableau 14 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pixels.....	41
Tableau 15 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pourcentage	41
Tableau 16 : Proportion des classes d'occupation du sol en 1989.....	42
Tableau 17 : Rapport matrice de confusion de la classification de 1989.....	44
Tableau 18 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pixels.....	44
Tableau 19 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pourcentage	44

Tableau 20 : Proportion des classes d'occupation du sol en 2016.....	45
Tableau 21 : Rapport matrice de confusion de la classification de 2016.....	47
Tableau 22 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pixels.....	47
Tableau 23 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pourcentage	47
Tableau 24 : Superficie en hectare et en pourcentages des classes d'occupation du sol entre 1968 et 2014	48
Tableau 25 : Superficie en ha et pourcentage des classes d'occupation du sol dans les 03 terroirs en 1968, 1989 et 2016.....	52

Liste des annexes

Annexe 1 : Matrice de confusion de la classification de 1968 (Corona)	59
Annexe 2 : Matrice de confusion de la classification de 1989 (JICA).....	59
Annexe 3 : Matrice de confusion de la classification de 2016 (Spot7)	60

Liste des photos

Photo 1 : Mares temporaires dans le terroir de Diohine.....	28
Photo 2 : Aperçu d'un paysage en jachère dans le terroir de Diohine.....	28
Photo 3 : Présence de petit ruminant, ici des chèvres (sur la photo de gauche) et un abri qui sert à garder le troupeau durant la nuit sur la photo de droite	28
Photo 4 : Prise de vue d'un extrait du cours d'eau au sud-ouest du terroir de Diohine durant la saison des pluies.....	29
Photo 5 : Zoom sur le couvert végétal arboré au nord-ouest du terroir de Bari Sine.....	29
Photo 6 : Aperçu d'un troupeau de vache se nourrissant de feuilles et de fruits provenant du <i>Faidherbia albida</i>	29

Liste des acronymes

CIRAD : Centre international en recherche agronomique pour le développement
CSE : Centre de Suivi Ecologique
DIVECOSYS : Diversité des systèmes de production et gestion agroécologique des bioagresseurs en Afrique de l'Ouest
DTGC : Direction des Travaux géographiques et cartographiques
IESOL : Intensification Ecologique des Sols Cultivés en Afrique de l'Ouest
IRD : Institut de Recherche pour le développement
JICA : Japan International Cooperation Agency
KNN : K Nearest Neighbor
LERG : Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Géomatique
MNT : Modèle Numérique de Terrain
MS : Multispectrale
NDVI : Normalized Difference Vegetation Index
OLI : Operational Land Imager
P : Panchromatique
PIR : Proche Infrarouge
PPZS : Pole Pastoralisme Zones Sèches
SPOT : Système Probatoire d'observation de la Terre ou Satellite pour l'observation de la Terre
SRTM : Shuttle Radar Topography Mission
SWIR : Shortwave Infrared ou Infrarouge à courte longueur d'onde
TIR : Thermal Infrared ou Infrarouge Thermique
TM : Thematic Mapper
USGS : United States Geological Survey

Introduction

Au Sénégal et plus largement en Afrique de l'Ouest, la dynamique des zones rurales est globalement marquée par une extension rapide des terres cultivées au détriment des parcours (Tappan et al, 2000). Cette dynamique a un double effet négatif pour les ruminants d'élevage dans les terroirs villageois : d'une part via une diminution du disponible en ressources fourragères et d'autre part via une réduction des espaces dédiés aux animaux durant la saison des pluies. C'est ainsi, que l'on observe depuis quelques années dans la bassin arachidier du Sénégal une baisse du nombre de ruminants, des bovins en particulier, ce qui conduit à un bouleversement du système agricole traditionnel (Vayssières et al, 2015). En effet, la fumure organique reste globalement la principale source de fertilisants des cultures et les troupeaux de bovin mobiles orchestrent dans le système traditionnel des transferts de fertilité depuis les parcours vers les champs de case (Manlay et al, 2004). Ces transferts de fertilité étaient essentiels au maintien de la fertilité des sols et permettaient l'intensification de certains champs préférentiellement à proximité des habitations.

La dynamique d'occupation du sol est variable selon les zones rurales (Tappan et al, 2004) et entre les terroirs villageois d'une même zone (Ickowickz et al, 1999). Le bassin arachidier du Sénégal est une zone rurale particulièrement dynamique. Elle a connu et connaît une croissance démographique significative (Delaunay et al, 2013). Il est probable que l'essentiel de la période d'extension des terres cultivées soient intervenue lors de la première moitié du XX^{ième} siècle (Lericollais, 1999). Depuis les années 1950 cette zone connaît une évolution rapide des activités agricoles avec l'essor d'un certain nombre d'activités de rente telles que l'arachide dans les années 1950-1960, l'embouche bovine et ovine et la pastèque depuis les années 2000 (Delaunay & Lalou, 2012). L'apparition de nouvelles activités et la fragmentation des concessions a probablement modifié l'occupation du sol de la zone. Disposer d'une vision dynamique de l'occupation du sol des années 1960 à 2010 permettrait de mieux comprendre les dynamiques des systèmes agricoles à l'échelle des ménages et des territoires au cours des six dernières décennies.

Objectifs

L'objectif est de produire une analyse diachronique de la dynamique d'occupation du sol pour les trois terroirs villageois que sont Bary Sine, Diöhine, et Sob, localisés au cœur du Bassin Arachidier du Sénégal, sur la période 1960-2016. Pour cela plusieurs étapes ont été nécessaires :

1. Réaliser l'inventaire des images aériennes et satellitaires disponibles depuis 1950. Dans cet inventaire, nous avons collecté des informations sur les dates d'acquisition,

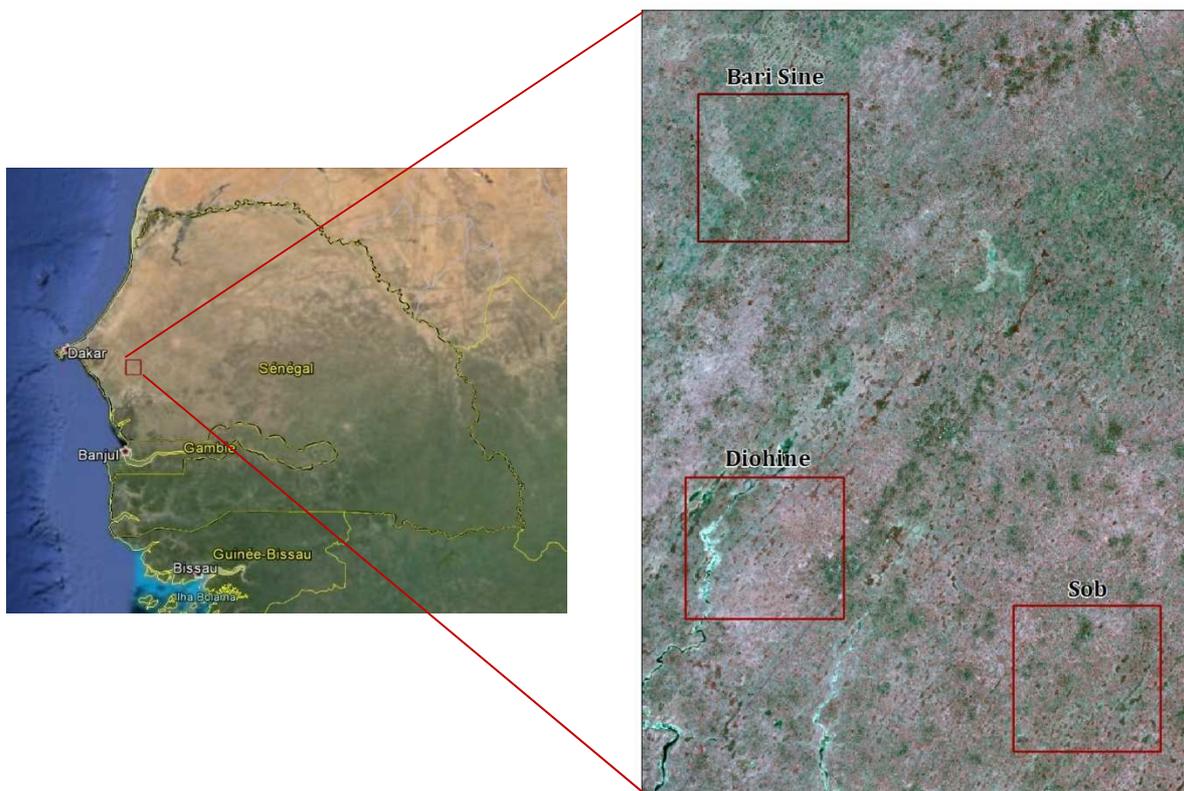
- le type de capteur, la résolution spatiale et spectrale, et sur les propriétaires des produits. Les images devront être fournies et stockées sur un disque dur externe ;
2. Procéder au prétraitement et traitement des photos aériennes et les images satellites ;
 3. Produire des cartes de dynamique d'occupation du sol à une échelle globale et spécifique aux trois terroirs, à savoir Bari Sine, Dioline et Sob.

Pour répondre à ces objectifs que nous nous sommes fixés, le travail sera organisé en quatre chapitres. Le premier chapitre a pour objectif de présenter les résultats obtenus sur l'inventaire des données disponibles dans la zone d'étude. Le deuxième chapitre sera consacré à la méthodologie de traitement des images de télédétection présélectionnées pour la classification. Le troisième chapitre présentera les résultats cartographiques de l'occupation, à l'échelle globale de l'observatoire de Niakhar. Et en fin, le quatrième et dernier chapitre fera l'analyse du bilan global de l'occupation du sol, à l'échelle des trois terroirs, c'est-à-dire Bari Sine, Dioline et Sob.

**Inventaire des photos aériennes et images
satellites disponibles sur la période étudiée
(1968-2016)**

Chapitre 1. Inventaire des données disponibles dans la zone d'étude

Les villages Bari Sine, Dioline et Sob sont localisées au cœur du Bassin Arachidier au Sénégal, dans la zone du Sine qui est devenue l'actuelle région de Fatick. Ces villages assimilés à des terroirs de par leur fonction agricole, suscitent beaucoup d'intérêts en matière de recherches scientifiques, notamment l'étude des dynamiques spatio-temporelles de la couverture du sol.



Localisation de la zone d'étude

Les données utilisées dans le cadre de ce travail sont de diverses natures, allant des images satellitaires, des photos satellitaires et des photos aériennes. L'inventaire de ces données est résumé dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Répertoire des données disponibles dans la zone d'étude entre les années 1960's et 2010's

Années	Type	Origine et Capteur	Date d'acquisition	Bande spectrale	Résolution	Echelle	Format	Source
1960's	Photographie satellitaire	CORONA (NASA, USGS)	31 janv. 1968	Panchromatique	2 m	1 / 60000	Numérique	USGS http://earthexplorer.usgs.gov/
1970's	Image satellite	Landsat-MSS (NASA, USGS)	17 décembre 1978	MS et Panch	60 m		Numérique	DTGC, Dakar, Hann
1980's	Image satellite	Landsat-TM (NASA, USGS)	07 MARS 1988	MS et Panch.	30 M		Numérique	USGS http://earthexplorer.usgs.gov/
	Photo aérienne	JICA (JPN)	Mars 1989	Panchromatique	600 dpi	1 / 60 000	Numérique	DTGC, Dakar, Hann
1990's	Image satellite	Landsat-ETM+ (NASA, USGS)	06 décembre 1999	MS et Panch	30 m		Numérique	USGS http://earthexplorer.usgs.gov/
2000's	Image satellite	ALOS	200?	MS	2,5 m		Numérique	CSE, Fann Résidence
2010's	Image satellite	Pléiade	20 octobre 2014	MS	50 cm		Numérique	Google earth
	Image satellite	Landsat-OLI (NASA, USGS)	21 novembre 2014	MS et P	30 m		Numérique	USGS http://earthexplorer.usgs.gov/
	Image satellite	Pléiade	30 janvier 2015	MS	50 cm		Numérique	Google earth
	Image satellite	SPOT 6	Septembre 2015	MS et P	6 m (MS) 1,5 m (P)		Numérique	Projet JECAM
	Image satellite	SPOT 7	06 janvier 2016	MS et P	6 m (MS) 1,5 m (P)		Numérique	Projet JECAM
MNT	Image satellite	SRTM			30 M		Numérique	USGS http://earthexplorer.usgs.gov/

1.1. Description des photos satellitaires CORONA

Corona était le nom du premier programme de satellites espion des États-Unis, utilisés pour la surveillance photographique de l'Union soviétique, de la Chine et d'autres pays de juin 1959 au 31 mai 1972. Les premiers lancements utilisaient le nom Discoverer à des fins de désinformation. C'est aussi le nom donné au système de satellites. Les systèmes photographiques, quant à eux, portent le nom de *Keyhole* ou KH (« trou de serrure » en anglais) en abrégé: KH-1, KH-2, KH-3, KH-4, KH-4A et KH-4B.

Il y a eu 144 satellites Corona lancés, dont 102 ont retourné des images utilisables. La première photographie réussie fut prise le 18 août 1960 par le système KH-1.

Corona est utilisé dans le cadre des programmes de reconnaissance aérospatiale de l'*Office of Special Activities* de la Direction de la science et technologie de la CIA.

Les premiers systèmes transportaient un système photographique d'un format panoramique simple (KH-1, KH-2, KH-3 et KH-6) alors que les systèmes tardifs (KH-4, KH-4A et KH-4B) transportaient deux systèmes photographiques panoramiques séparés d'un angle de 30 degrés. Ces deux systèmes étaient référencés comme *for* pour celui qui est dirigé dans le sens de déplacement du satellite et *aft* pour celui qui est dirigé dans le sens contraire. Toutes les images sont en panchromatique, c'est-à-dire noir et blanc, excepté quelques films test en couleur sur certaines missions KH-4B.

Les satellites de reconnaissance Corona utilisaient 9,600 m de film spécial de 70 mm avec une focale optique de 0,6 m. Initialement, ils étaient placés sur une orbite presque polaire à une altitude comprise entre 165 et 460 km. L'appareil photographique pouvait prendre des images avec une résolution de 7,5 m. Les deux systèmes KH-4 ont amélioré la résolution à 2,75 m et 1,8 m respectivement et utilisé une altitude plus basse.

Le programme Corona était officiellement secret jusqu'en 1992. Le 24 février 1995, le président Clinton a fait basculer une partie des images classifiées dans le domaine public en signant l'Executive Order 12951. La déclassification des images a pris plusieurs années pour devenir effective en 1996 et 2002. Ces images sont désormais en vente libre sur le site web de l'USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

1.2. Description de la photographie aérienne JICA

Japan International Cooperation Agency (JICA), de sa transcription en français Agence Japonaise de Coopération Internationale, s'est fixé comme objectif de contribuer à renforcer les capacités des systèmes nationaux et des populations dans les nations en développement, en améliorant les infrastructures et en formant les ressources humaines afin de soutenir le développement, aussi bien du point de vue matériel qu'institutionnel.

Dans cette dynamique participative et coopérative, la JICA à travers le Service Géographique National a effectué une mission de prise de vue aérienne en mars 1989 sur la bande littorale du Sénégal ; ce qui a par conséquent permis d'avoir une couverture

de la zone d'étude. L'échelle de prise de vue est 1 : 60 000, avec une résolution au sol de 600 dpi. Les photos aériennes sont en mode panchromatique, c'est-à-dire, avec une seule bande et en noir et blanc.

1.3. Description des capteurs Landsat

Les images Landsat ont été acquises grâce au programme américain de télédétection spatiale de l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace [NASA] et de l'Institut d'études géologiques des États-Unis [USGS]), premier programme civil d'observation de la Terre par satellite. Au total 8 satellites Landsat ont été lancés dans l'espace entre 1972 et 2013. Les instruments embarqués à son bord ont évolué au fil des satellites, depuis la caméra RVB (Return Beam Vidicon), le radiomètre multispectral MSS (Multi Spectral Scanner) de 1972 et le radiomètre ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) de 1999 jusqu'au capteur OLI (Operational Land Imager).

- Capteur MSS

MSS est un scanner multispectral qui enregistre des informations dans quatre bandes spectrales, dont deux en lumière visible et deux autres en infrarouge. Comme ces instruments ont été développés après les 3 caméras RVB, ces bandes ont été numérotées de 4 à 7. Le capteur MSS de Landsat 3 comportait une bande spectrale supplémentaire dans l'infrarouge thermique.

Tableau 2 : Bandes spectrales de l'imageur MSS

Capteur	Image acquise	Bande	Bande spectrale	Résolution
MSS	17 - 12 - 1978	4	0,5 - 0,6 µm	60 m
		5	0,6 - 0,7µm	60 m
		6	0,7 - 0,8µm	60 m
		7	0,8 - 1,1 µm	240 m

- Capteurs TM

TM (Thematic Mapper) est un scanner à *whiskbroom* de deuxième génération par rapport à MSS. Sa résolution spatiale et spectrale est nettement meilleure. Il observe dans 7 bandes spectrales en lumière visible et infrarouge avec une résolution optique de 30 mètres (120 mètres sur la bande 6) et couvrent toujours une zone de 185x185 km.

L'appellation Thematic Mapper provient de la capacité de l'instrument de fournir des données permettant de réaliser des cartes thématiques (agriculture, hydrologie,...).

Tableau 3 : Bandes spectrales de l'imageur TM

Capteur	Image acquise	Bande	Bande spectrale	Résolution
TM	07 - 03 - 1988	1	0,45 - 0,515 µm (bleu)	30 m
		2	0,52 - 0,605µm (vert)	30 m
		3	0,63 - 0,69µm (rouge)	30 m
		4	0,75 - 0,90 µm (PIR)	30 m
		5	1,55 - 1,75 µm (SWIR)	30 m
		6	10,4 - 12,5 µm (TIR)	60 m
		7	2,09 - 2,35 µm (SWIR)	30 m

- **Capteur ETM+**

Cet instrument ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus) est un radiomètre amélioré des versions précédentes (TM, ETM). Il comporte notamment une large bande panchromatique avec une résolution de 15 mètres (haute résolution) et une bande dotée d'une résolution de 60 mètres dans l'infrarouge thermique.

Tableau 4 : Bandes spectrales de l'imageur ETM+

Capteur	Image acquise	Bande	Bande spectrale	Résolution
ETM+	06 - 12 - 1999	1	0,45 - 0,515 µm (bleu)	30 m
		2	0,52 - 0,605µm (vert)	30 m
		3	0,63 - 0,69µm (rouge)	30 m
		4	0,75 - 0,90 µm (PIR)	30 m
		5	1,55 - 1,75 µm (SWIR)	30 m
		6	10,4 - 12,5 µm (TIR)	60 m
		7	2,09 - 2,35 µm (SWIR)	30 m
		Panch	0,50 - 0,90 µm	15 m

- **Capteur OLI**

OLI (Operational Land Imager) est l'instrument principal du satellite Landsat 8. Ce radiomètre multispectral acquiert des images dans neuf bandes spectrales allant du visible au moyen infra-rouge, soit deux canaux supplémentaires sur ceux présents dans l'instrument ETM+ de Landsat 7, destinés principalement à la correction atmosphérique. La bande de l'infrarouge thermique est confiée à l'autre instrument thermique : TIRS (Thermal Infrared Sensor). Les données de cet instrument sont également utilisées dans cette étude pour une vue plus récente du dispositif spatial de la région de Dakar.

Tableau 5 : Bandes spectrales de l'imageur OLI

Capteur	Image acquise	Bande	Bande spectrale	Résolution
OLI	21 - 11 - 2014 28 - 11 - 2014	1	0,433 – 0,453 µm (aérosols)	30 m
		2	0,450 – 0,515 µm (bleu)	30 m
		3	0,525 – 0,600 µm (vert)	30 m
		4	0,630 – 0,680 µm (rouge)	30 m
		5	0,845 – 0,885 µm (PIR)	30 m
		6	1,560 – 1,660 µm (IRM 1)	30 m
		7	2,100 – 2,300 µm (IRM 2)	30 m
		8	0,500 – 0,680 µm (Pan)	15 m
		9	1,360 – 1,390 µm (Cirrus)	30 m

Tableau 6 : Bandes spectrales de l'imageur TIRS

Capteur	Image acquise	Bande	Bande spectrale	Résolution
TIRS	21 - 11 - 2014	10	10,30 – 11,30 µm (IRM)	60 m
	28 - 11 - 2014	11	11,50 – 12,50µm (IRM)	60 m

1.4. Description des images Spot6 et SPOT7

Spot 6 et 7 sont deux satellites identiques. Bien plus légers que Spot 5 (720 kg par rapport à 3 tonnes), leurs performances n'en sont pas pour autant moins bonnes. L'instrument imageur à leur bord offre en effet le même champ d'observation de 60 km, avec une résolution nettement meilleure, puisqu'on arrive à 1,5 m au lieu de 5 ou 2,5m pour Spot 5 (<http://eoedu.belspo.be/fr/satellites/spot.htm>).

Leur agilité permet d'offrir une capacité d'acquisition de 6 millions de km² par jour. Leur espérance de vie est également améliorée puisqu'ils sont conçus pour opérer 10 ans. Les bandes spectrales sont sensiblement différentes de celles de leurs prédécesseurs : la bande bleue fait en effet son apparition en lieu et place de la bande SWIR, et la bande panchromatique est un peu plus large (<http://eoedu.belspo.be/fr/satellites/spot.htm>).

Les satellites SPOT 6-7 sont situés à une altitude de 694 km. Ils sont héliosynchrones, avec un angle de 98,79° et effectue un cycle de 26 jours.

Comme capteur, SPOT 6-7 utilisent New AstroSat Optical Modular Instrument (NAOMI), un système optique constitué d'un instrument regroupant 2 télescopes Korsch identique capables d'enregistrer simultanément en mode panchromatique à 1,5 m de résolution et en mode multispectral à 6 m de résolution, avec un champ d'observation de 60 km.

Tableau 7 : Bandes spectrales des imageur SPOT6 et SPOT7

Capteur	Image acquise	Bande	Bande spectrale	Résolution
SPOT 6 et 7	Sept 2015 Et 06 janv. 2016	Bleu	0,450 - 0,520 μm	6m x 6m
		Vert	0,530 - 0,590 μm	6m x 6m
		Rouge	0,625 - 0,695 μm	6m x 6m
		PIR	0,760 - 0,890 μm	6m x 6m
		Panch.	0,450 - 0,745 μm	1,5 m x 1,5 m

1.5. Description des images Pléiades

Un produit Pléiades est issu de l'observation systématique à la fois en mode panchromatique (résolution 50 cm) et en mode multispectral (4 bandes : Rouge, Vert, Bleu, InfraRouge, de résolution 2,8 m chacune). Les produits fusionnés sont rééchantillonnés à 50 cm. (<http://geosud.teledetection.fr/>).

En revanche, les images pléiades que nous avons téléchargées depuis la plateforme de googleearth à l'aide du logiciel Mobac, sont desservies en mode visible, c'est-à-dire qu'on a que les bandes du visibles (bleu – vert - rouge) et non celles IR. Néanmoins, avec leur résolution rééchantillonnée à environ 50 cm, on peut cartographier la couverture terrestre au moyen d'une technique d'interprétation ou automatisée.

1.6. Description des images ALOS

Advanced Land Observing *Satellite* (ALOS) est le successeur des satellites JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite-1) et ADEOS (ADvanced Earth Observing Satellite). Les données ALOS sont utilisées pour la cartographie et l'observation de la terre à l'échelle régionale, pour le suivi des ressources naturelles et des catastrophes naturelles et anthropiques (<http://c2i-niveau2.univ-lille1.fr/>). La mission combine 3 systèmes de détection indépendants – PRISM, AVNIR-2 et PALSAR – capables d'acquérir des images optiques et radar avec des résolutions diverses et différentes empreintes au sol. AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer de type 2) est un capteur multispectral à 4 bandes (bleu-vert-rouge-PIR) qui peut être dirigé à 44° de chaque côté de la trace au sol et a un taux de revisite de 2 jours. Les images sont acquises à une résolution de 10m (<http://c2i-niveau2.univ-lille1.fr/>). Les données ALOS sont utilisées pour la cartographie et l'observation de la terre à l'échelle régionale, pour le suivi des ressources naturelles et des catastrophes naturelles et anthropiques.

Tableau 8 : Bandes spectrales de l'imageur ALOS

Capteur	Image acquise	Bande	Bande spectrale	Résolution
ALOS-VNIR2	200?	Bleu	0,450 - 0,520 μm	10m x 10m
		Vert	0,530 - 0,590 μm	10m x 10m
		Rouge	0,625 - 0,695 μm	10m x 10m
		PIR	0,760 - 0,890 μm	10m x 10m

1.7. Description de l'image SRTM

Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de résolution 30x30 m a été téléchargé depuis la plate-forme de l'USGS. Il permet de discriminer les variations topographiques de la zone étudiée.

Méthodologie de prétraitement et de traitement des données de télédétection

Chapitre 2. Méthodologie de traitement des données de télédétection

1.8. Identification et prétraitement des données

Dans cette étude, le jeu de données fournis se caractérise par des données multi-sources, de résolution spectrale, spatiale et temporelle différentes. Aussi, pour identifier les changements de l'occupation du sol et mesurer l'évolution des cultures et de la végétation arborée, l'utilisation des séries temporelles d'images satellites nécessite des prétraitements géométrique et radiométrique pour rendre les images superposables et comparables entre elles. Dans notre étude, du fait de l'exploitation qualitative des données, les prétraitements se sont limités à des (1) **corrections géométriques** qui ont été ensuite suivies de (2) **mosaïquage d'images** lorsque qu'elles étaient fournies en plusieurs dalles, de (3) **fusion d'image** pour améliorer la résolution spatiale et enfin, de (4) **rehaussement radiométrique** pour faciliter leurs interprétations visuelles.

1.8.1. Présentation des données

Les données sélectionnées dans le cadre de cette étude comprennent, une photo satellitaire CORONA de janvier 1968, une photo aérienne JICA de mars de 1989 et une image Spot7 de février 2016 (Figure 1). Ces images sont sélectionnées, au détriment d'autres, selon un certain nombre de critères, à savoir, la disponibilité, la qualité, et la résolution spectrale/radiométrique et temporelle. Ces données proviennent de sources différentes ; les images Spot sont mises à notre disposition par le Projet JECAM. Par contre les photos JICA sont fournies par la Direction des Travaux géographiques et cartographiques (DTGC). La photo satellitaire Corona a été téléchargée via le site de l'USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Les détails sur ces données sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Tableau 9 : Caractéristiques des données sources sélectionnées

Origine/Capteur	Type de donnée	Date d'acquisition	Bande spectrale	Résolution	Format
CORONA (NASA, USGS)	Photo satellitaire	31 janvier 1968	Panchromatique	2m	Numérique
JICA (JPN)	Photo aérienne	Mars 1989	Panchromatique	600 dpi	Numérique
SPOT7	Image satellitaire	06 janvier 2016	MS et Panchromatique	6m (MS) 1,5m (P)	Numérique

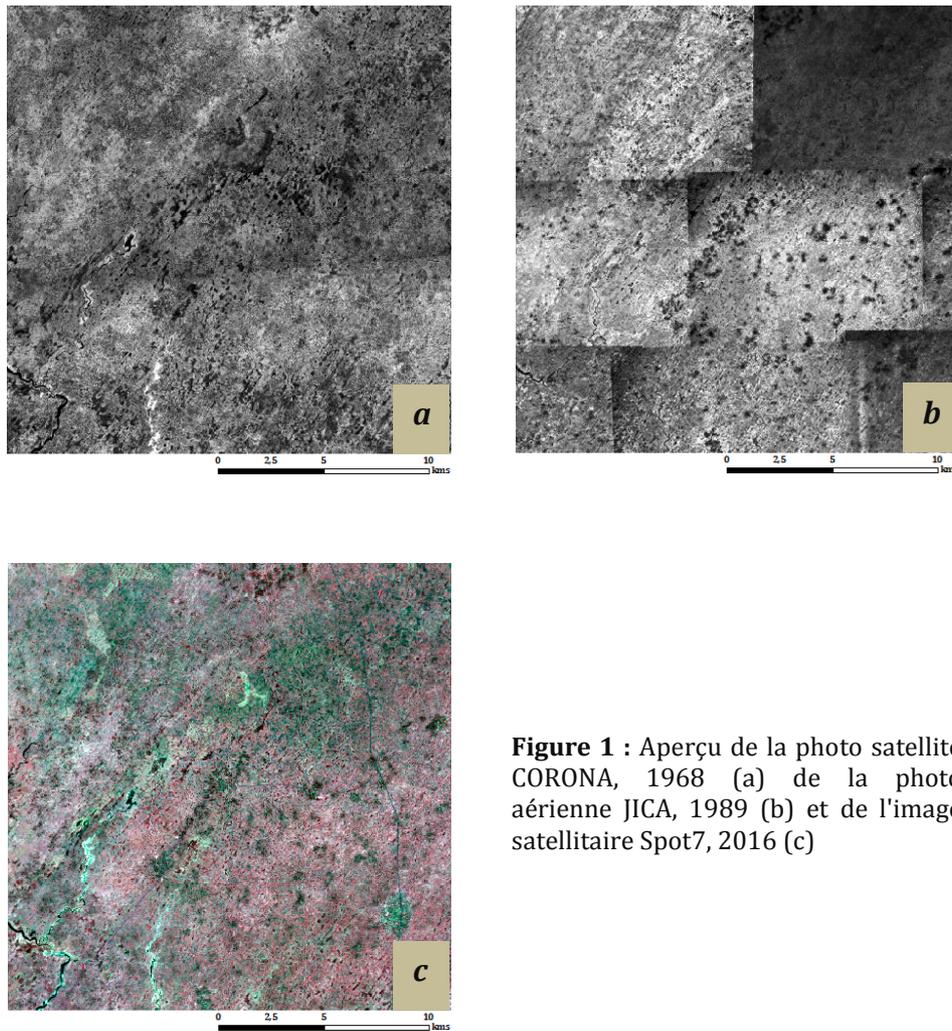


Figure 1 : Aperçu de la photo satellite CORONA, 1968 (a) de la photo aérienne JICA, 1989 (b) et de l'image satellitaire Spot7, 2016 (c)

1.8.2. Les corrections géométriques

Les images acquises par les satellites sont sujettes à des distorsions géométriques. Ces distorsions sont dues notamment à des erreurs de positionnement du satellite sur son orbite (mouvement du système de balayage, mouvement de la plateforme, etc.), au fait que la Terre tourne autour de son axe durant l'enregistrement de l'image, et aux effets du relief et de la courbure de la Terre (Cetin, 2009). Ces distorsions sont amplifiées par la visée oblique des capteurs exprimée en degré de dépointage. Il est donc nécessaire avant de réaliser n'importe quel processus de traitement d'images, de passer par une phase de correction géométrique pour :

- (1) compenser les distorsions géométriques affectant les images, de telle sorte que la représentation de chaque image soit aussi proche que possible de la réalité ;
- (2) rendre toutes les images dans la série superposables, en assortissant à chaque pixel sa véritable position en coordonnées au sol.

Pour notre cas d'étude, l'image Spot7 livrée orthorectifiée et géoréférencée (UTM, WGS 1984, Zone 28 Nord) a servi de référence pour corriger géométriquement les images CORONA et JICA. La méthode de transformation globale par polynôme du second degré avec un ré-échantillonnage au plus proche voisin a été choisie pour garder les valeurs radiométriques initiales. Une fois corrigée, l'erreur moyenne quadratique obtenue est légèrement inférieur à un pixel, soit 1,76 pour la photo satellite CORONA (2m) et 2,12m pour la photo aérienne JICA (Figure 2).

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	343615,642292	1601280,186951	336776,381779	1607114,804967	3,56682
2	340066,731206	1597719,571835	334774,014612	1604771,673586	2,01671
3	346684,319459	1619816,333923	337604,601718	1618822,669760	0,30361
4	336485,913266	1605398,958715	332105,100626	1609470,291999	0,28297
5	367087,737750	1602975,077896	351227,959503	1609002,060660	0,17884
6	366420,242574	1615803,869269	350019,984892	1616965,554178	0,70064
7	354074,862655	1611562,272028	342659,635482	1613900,363274	2,09256

Figure 2 : Aperçu des points de contrôles et de l'erreur quadratique de l'image Corona

1.8.3. Le Mosaïquage

Les capteurs aéroportés ou spatiaux enregistrent des informations sur une surface donnée de la terre par des séquences de prise de vue, appelée "scène" pour les capteurs optiques et "dalle" pour les instruments aériens. Afin de regrouper en une seule image l'ensemble des scènes ou dalles couvrant notre zone d'étude, nous avons effectué un mosaïquage. Cette opération a été réalisée sous Envi pour l'image Spot7 et sous ArcGis pour les photographies aériennes. Toutefois, les scènes à mosaïquer peuvent présenter des contrastes de couleur très différents de sorte que l'image résultante aura, pour un même objet, des tons différents. Le traitement des images initiales passera donc par un rééquilibrage des contrastes (étalement de dynamique) et une harmonisation des histogrammes. La transformation consiste à prendre l'histogramme d'une image de référence et à modifier ceux des autres de manière à rendre leur distribution sur l'échelle des gris similaires (Caloz et Claude, 2001). L'outil Mosaïque de Envi à travers sa méthode automatique basée sur le raccordement de scènes, a permis d'harmoniser les contrastes des différentes scènes par harmonisation des histogrammes respectifs ; et le résultat est une image Spot avec moins de contrastes et/ou les objets possèdent un ton identiques sur l'ensemble de la zone d'étude. Concernant le mosaïquage des données-photographiques, nous avons fait recours à l'outil "Mosaic To New Raster" d'ArcGIS, qui permet de mosaïquer plusieurs images en une seule.

1.8.4. La fusion d'images

La fusion d'image est une méthode souvent utilisée afin d'améliorer la résolution spatiale des bandes multispectrales. Elle consiste généralement à fusionner les bandes multi-spectrales composant l'image satellite avec la bande du panchromatique qui a une résolution spatiale plus fine. La fusion consiste ainsi à produire une nouvelle image qui conserve une partie de l'information contenue dans chacune des images originales. L'objectif est de créer une synergie, c'est-à-dire d'obtenir une image fusionnée géométriquement et/ou sémantiquement plus riche qu'une image initiale (Muller et De Béthune, 2000).

Cette fonction est implémentée dans plusieurs logiciels de traitement d'image de la télédétection, dont Envi. Nous nous sommes servis de ce dernier pour fusionner l'image multi-spectrale de Spot7 à sa bande panchromatique. Le résultat est une image multi-spectrale ayant améliorée sa résolution spatiale passant de 6m à 1,5m (Figure 3). Les photographies aériennes ne disposant que d'une seule bande en mode panchromatique, elles n'ont pas bénéficié de cette transformation.

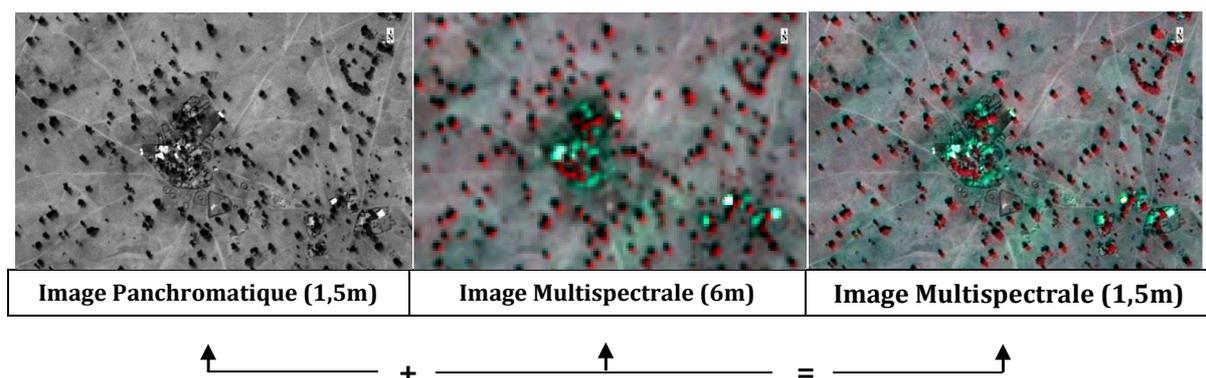


Figure 3 : Aperçu du processus de fusion de l'image Panchromatique aux images multispectrales

1.8.5. Le rehaussement radiométrique

On applique le rehaussement des images afin de faciliter la lecture et l'interprétation des images numérisées. Dans une image, les informations utiles sont souvent contenues dans un ensemble restreint de valeurs numériques parmi les valeurs possibles (256 dans le cas de données à 8 bits) (Ressource Naturelle Canada). La technique de rehaussement de contrastes qui a été appliquée par défaut dans le logiciel Envi consiste en effet à effectuer une dilatation d'histogramme, sélectionnant deux valeurs de seuil S_{min} et S_{max} , qui seront respectivement affectées aux valeurs 0 et 255 lors de l'affichage des images sur l'écran. Selon Caloz et Collet (2001), une image est d'autant plus riche en information que son histogramme répartit les classes de fréquences de manière uniforme sur toute la gamme des tons de gris. Sur l'image satellitaire comme sur les photos, nous avons appliqué le rehaussement radiométrique.

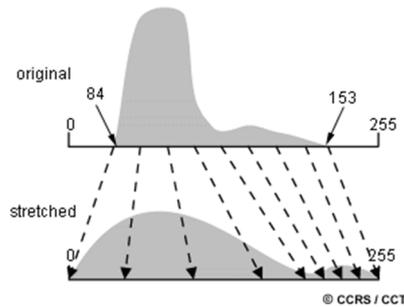


Figure 4 : Principe du rehaussement radiométrique des images de télédétection ([Ressources naturelles Canada : http://www.rncan.gc.ca/](http://www.rncan.gc.ca/))

1.9. Méthodologie de classification des données

Pour tirer avantage des données de télédétection, il faut être en mesure d'extraire de l'information significative de l'imagerie ([Centre Canadien de Télédétection](#)). L'imagerie se présente sous forme de photographie aérienne (format analogique ou numérique), de photographie et d'imagerie satellitale, indépendamment du type de capteurs et de la manière dont les données sont acquises.

L'analyse des images de télédétection a toujours comme but une interprétation, cette interprétation concerne généralement la position des objets, leur nature et/ou leur fonction ([Bonn et Rochon, 1992](#)). Il existe plusieurs méthodes pour extraire les informations contenues dans les données de télédétection, on distingue les méthodes de classification automatiques par pixel ou par analyse orientée objet, celles utilisant les propriétés spectrales et/ou texturales et enfin celles d'écoulant de l'interprétation visuelle. Ces données de télédétection pourront être utilisées dans un programme de suivi et de gestion des ressources naturelles et de la dynamique des unités paysagères ([Bonne et Rochon, 1992](#) ; [Mas, 2000](#) ; [Lu, 2004](#)).

Le choix d'une approche est fonction du but recherché, de la nature et de la qualité des données, de la taille de la zone d'étude et dans une moindre mesure du délai de restitution de l'information cartographique. L'interprétation visuelle est souvent limitée à un seul canal de données ou une seule image à la fois, en raison de la difficulté d'effectuer une interprétation visuelle avec plusieurs images ([Centre Canadienne de Télédétection](#)). Par ailleurs, la synergie de ces approches est possible dans une étude, pour extraire autant que possible d'entités surfaciques.

Ce projet de cartographie de la dynamique de l'occupation du sol dans un extrait du vieux bassin arachidier au Sénégal, est un exemple pertinent de la complémentarité entre les approches visuelle et automatique. Cette synergie s'explique par le fait que les données sont de sources, de résolutions et d'échelles différentes. Les données disponibles pour cette étude sont : une photo satellitale Corona de 1968 (panchromatique), une photo aérienne de la mission JICA de 1989 (panchromatique) et une image satellitale Spot7 en 2016 (en mode multispectrale et panchromatique).

Pour la classification des images, nous avons choisi l'approche orientée-objets. Dans le cas de l'image Spot, elle permet de mieux séparer les objets aux caractéristiques spectrales, radiométriques et texturales identiques, réduire les confusions spectrales et s'affranchir des pixels isolés. Concernant les supports photos, la segmentation permet d'extraire et de fusionner les objets au niveau d'intensité radiométrique identique et de réduire le temps de travail. La classification est faite en utilisant l'algorithme de maximum de vraisemblance.

Un des objectifs principaux de cette étude est de discriminer 10 unités paysagères que nous avons préalablement choisies sur l'ensemble des supports imagés listés plus haut. Ces unités paysagères concernent : l'arachide, le mil, la végétation arborée, le maraîchage, la jachère, le bâti, (toiture zinc ou paille), les mares temporaires, les bas-fonds, les routes et cours d'eau. La description de ces classes est synthétisée au niveau du tableau 10. Ce choix se justifie par le fait que nous voulons avoir le même nombre de classe sur chacune des images classifiées, excepté en 1968, qui possède huit au lieu de neuf, et qui s'explique par l'inexistence de la classe « maraîchage » dans la zone. Cependant, lors de la phase de prétraitement des images satellites, des confusions entre certaines classes ont été notées dans le cadre de cet exercice, liées aux confusions radiométriques des classes suivantes : « les mares temporaires » et « la végétation arborée » ; "les zones de jachère » avec les parcelles « d'arachide » ou « de mil » ; « les bas-fonds » aux parcelles « d'arachide » ; « le maraîchage » à la classe « végétation arborée » ou « mil » et le « bâti » aux classes « végétation arborée » et « mil » (Figure 5), rendant la classification par la méthode automatique assez complexe. Pour y remédier, nous avons effectué une classification automatique pour quatre classes facilement séparables que sont la végétation arborée, le mil, l'arachide et les routes bitumées, puis nous avons effectué un masque sur le reste de l'image pour lequel nous avons procédé à une classification manuelle par interprétation visuelle pour isoler les bas-fonds, le maraichage, les jachères et le bâti.

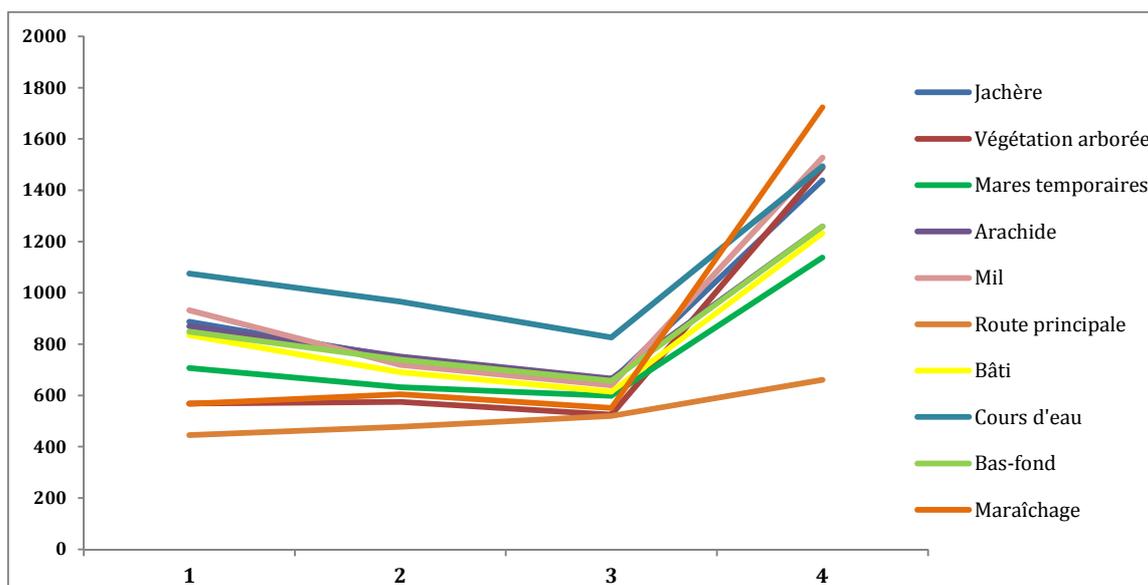


Figure 5 : Signature spectrale des différentes unités d'occupation du sol

Tableau 10 : Description des différentes unités paysagères

Thèmes	Description
Mil	Il correspond aux champs de mil (<i>Pennisetum glaucum</i>) au moment de la prise de vue. Ces champs de mil prennent une coloration rouge claire sur l'image Spot7 en mode RVB /432, soit environ trois mois après la fin des récoltes. Les épis de mil laissés dans les champs en ce moment, les procurent une réflectance importante dans le PIR et par conséquent de permettre de les discriminer aux champs d'arachide.
Arachide	Il correspond aux champs où on y pratique la culture d'arachide (<i>Arachis hypogaea</i>) au moment de la prise de vue. A l'aide des données de télédétection acquises quelques mois après la récolte, les champs d'arachide apparaissent claire dans le spectre du visible, avec des valeurs radiométriques fortes. Ceci est lié au fait que toute la production (graines d'arachide et la plante) est acheminée, laissant ainsi un sol dénudé.
Bâti	Il regroupe les concessions ou habitations dispersées ou groupées selon les terroirs, majoritairement d'ethnie Sérère. Mais aussi les infrastructures et les équipements (écoles, marchés, structures de santé, les bureaux, etc.).
Mares temporaires	Ce sont de petites dépressions des plateaux alimentées par les eaux de ruissellement en saison des pluies (Ickowich et al., 1999) ; elles sont caractérisées par des alternances de phases inondées et asséchées (Paradis et al., 2009 ; http://www.oec.fr/). Ces mares sont constituées majoritairement de groupements végétaux bas. Les troupeaux de bovins qui s'y abreuvent quotidiennement en hivernage laissent un faciès végétal très dégradé en fin de saison des pluies (Ickowich et al., 1999) (voir photo 1).
Bas-fonds	Ce sont les axes de convergence préférentielle des eaux de surface, des écoulements hypodermiques et des nappes phréatiques contenues dans l'épais manteau d'altération et alimentées par les pluies (Raunet, 1985 ; Celestin, 1995). Ils sont bien présents dans la zone d'étude et de manière répandue.
Maraîchage	C'est la culture de légumes, de fruits et d'herbes à usage alimentaire. Cette pratique est très développée dans la zone d'étude, principalement dans les espaces humides (proximité des cours d'eau, des bas-fonds et des mares temporaires. A partir des moyens d'observation de la terre (images satellites, photos aériennes, etc.), ils sont facilement discriminés grâce à leur "anneau" ou clôture qui fait référence à une barrière de protection contre le vent et les animaux.
Route principale	C'est une route goudronnée qui permet de relier les grandes villes dans la zone étudiées.
Jachère	Cette pratique occupe une place importante dans les systèmes agraires du Sénégal. La jachère est une stratégie d'exploitation du milieu qui procure aux sols un niveau de fertilité assez importante pour des besoins de productivité ; mais sert aussi de source d'alimentation aux animaux (Photo 1 et 2). Aussi dans une association agriculture-élevage, des zones de jachère où les animaux étaient enfermés pendant la saison des pluies étaient régulièrement délimitées ; ces parcelles qui recevaient une fumure pendant cette période et en saison sèche où tout le terroir était soumis à la vaine pâture, étaient cultivées l'année suivante (Diop, 1991). La présence d'un parc arboré à base de <i>Faidherbia albida</i> dans la zone, assure davantage la fertilité des sols. Par télédétection, les zones de jachère sont assez facilement identifiées grâce à leur texture homogène sur une grande superficie. Leur discrimination est facilitée par la disparition progressive des haies vives qui servaient de limite aux champs de culture.
Cours d'eau	Il correspond à l'écoulement des eaux de pluie de façon continue ou temporaire selon les saisons. Durant la saison des pluies, le cours d'eau débordé jusqu'à son lit, draine l'eau de pluie (Photo 4). En saison sèche le lit du cours d'eau s'assèche et son surface est dénudée. En effet, en télédétection les cours d'eau sont facilement identifiables durant la saison des pluies, dès l'instant qu'ils sont couverts d'eau. La valeur radiométrique de celle-ci étant des plus faibles, facilite sa discrimination par rapport autres unités paysagères de la zone étudiée. En saison sèche sa surface asséchée, rendent ainsi difficile sa discrimination, du fait de sa nouvelle valeur radiométrique voisine des sols nus.
Végétation arborée	C'est un type de végétation très discontinue sur l'étendue du territoire, dont l'altitude peut exceptionnellement atteindre 8 à 10m. Ce type de végétation est caractéristique du domaine phytogéographique auquel elle appartient : la savane arbustive/arborée. Les espèces dominantes sont le <i>Faidherbia albida</i> (<i>Kad</i>), <i>Combretum glutinosum</i> (<i>Ratt</i>), <i>Balanites aegyptiaca</i> (<i>Sump</i>), <i>Ziziphus mauritiana</i> (<i>Sedem</i>), <i>Adansonia digitata</i> (<i>Gouye</i>), etc. Les feuilles et les fruits provenant du <i>Faidherbia albida</i> sont souvent utilisés comme nourriture pour les animaux par les éleveurs (Photo 7).



Photo 1 : Mares temporaires dans le terroir de Diohine. La présence de végétation autour de ces points d'eau explique la présence d'animaux venus brouter et s'abreuver (Cliché M. L. NDIAYE, 7/08/2013)



Photo 2 : Aperçu d'un paysage en jachère dans le terroir de Diohine. C'est une pratique très ancienne dans ce terroir. Sur ces photos on observe un tapis herbacé continu à perte de vue avec quelques formations ligneuses dispersées, et aussi la présence de ruminants (Cliché M. L. NDIAYE, 6/08/2013)



Photo 3 : Présence de petit ruminant, ici des chèvres (sur la photo de gauche) et un abri qui sert à garder le troupeau durant la nuit sur la photo de droite (Cliché M. L. NDIAYE, 6/08/2013)



Photo 4 : Prise de vue d'un extrait du cours d'eau au sud-ouest du terroir de Diohine durant la saison des pluies. Ici on constate que le lit du fleuve est entièrement recouvert d'eau de pluie
(Cliché M. L. NDIAYE, 4/08/2013)



Photo 5 : Zoom sur le couvert végétal arboré au nord-ouest du terroir de Bari Sine.
(Cliché M. L. NDIAYE, 17/05/2013)



Photo 6 : Aperçu d'un troupeau de zébus se nourrissant de feuilles et de fruits provenant du *Faidherbia albida*. (Cliché M. L. NDIAYE, 17/05/2013)

1.9.1. La segmentation

Contrairement à l'approche classique "pixel à pixel", la démarche orienté-objets ne traite pas le pixel de manière isolée, mais dans son contexte en regroupant des pixels au sein d'objets interprétés en se basant sur leurs valeurs spectrales, leur taille, leur forme et leur contexte (Benz et al., 2004 ; Karsenty et al., 2007). Cette approche s'effectue selon deux phases principales. La première est la création des régions individuelles ou le groupement des éléments d'image par certains critères d'homogénéité spectrale et spatiale, appelées segments, cette phase s'appelle segmentation. La seconde est la classification des segments à l'aide des attributs spectraux, spatiaux, structuraux et d'autres variables géographiques (Hoang et al., 2008 ; Bouziani et al., 2010). Le logiciel Envi a été utilisé pour la segmentation et la classification de l'image Spot7.

1.9.1.1. La segmentation de l'image Spot7 de 2016

Elle est effectuée sur l'image multispectrale, à laquelle, nous avons ajouté l'indice de végétation, NDVI, comme bande complémentaire (Figure 6). L'indice de végétation permet d'augmenter d'une part, le contraste sol-végétation et d'autre part, de discriminer autant que possible les unités paysagères dans la zone d'étude.

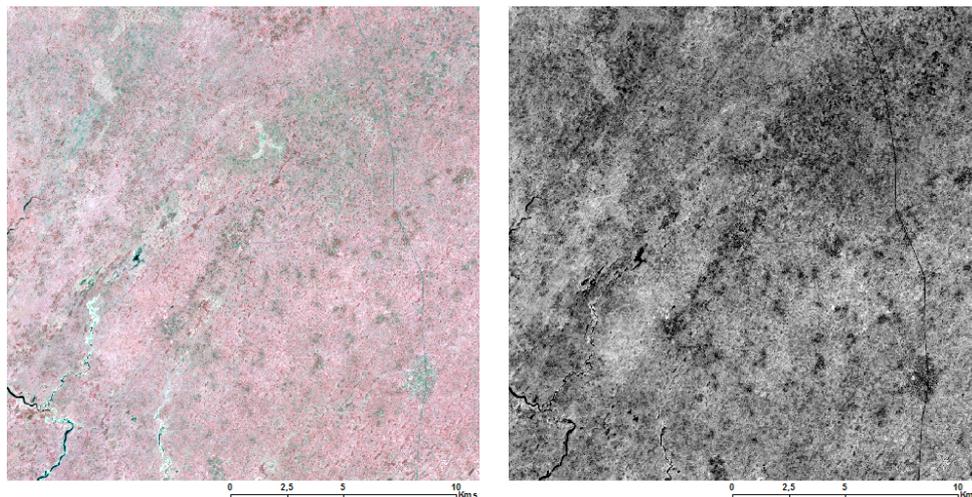


Figure 6 : Aperçu de l'image multispectrale SPOT_7 2016 (à gauche) en mode fausse couleur Vert-Rouge-PIR (à gauche) et la pseudo-bande NDVI (à droite)

La segmentation de l'image consiste à diviser l'image en régions homogènes de manière à faire ressortir les objets réels du terrain, par une technique ascendante de croissance de région, c'est-à-dire, par fusion de pixels adjacents (Karsenty et al., 2007 ; Yoon et al., 2010). Cette opération est effectuée sur la base d'un certain nombre de ces paramètres, considérés simultanément sur l'image multispectrale et la pseudo-bande NDVI : l'échelle, la réflectance et la forme des objets. L'échelle est une valeur abstraite qui détermine l'hétérogénéité maximale permise pour les objets résultants d'image (Hoang et al., 2008). La zone d'étude présente plusieurs niveaux de détail en fonction des classes choisies. La plus petite unité paysagère sur le terrain correspond à la végétation arborée composée essentiellement d'arbres épars. Pour l'extraire fidèlement, tout en tenant

compte des autres classes, plusieurs tests liés au critère d'hétérogénéité ont été effectués sur l'image Spot. Nous avons en fin de compte choisi une échelle de 25 sur 100 (Figure 7). "Pour la fusion des segments, la valeur seuil de 60, a été validée après plusieurs tests, tenant en compte la taille de la zone d'étude (environ 20X20 km) et les propriétés spectrale et texturale des classes à cartographier.



Figure 7 : Aperçu du processus de segmentation de l'image Spot avec la pseudo-bande NDVI

1.9.1.2. Segmentation des photos Corona et JICA

Concernant la segmentation de la photo satellitaire CORONA et de la photo aérienne JICA, le principe et le processus de segmentation est le même que pour l'image Spot. La seule différence est qu'ici les photos seront segmentées selon leur propriété radiométrique et morphologique, du fait de leur nature panchromatique. Les photos sont en niveau de gris, avec 256 valeurs selon un codage 8 bits. Les pixels sombres correspondent aux objets aux valeurs radiométriques d'intensité faible (exemple de l'eau et de la végétation arborée) ; les pixels au ton clair correspondent aux objets à tonalité élevée (les sols nus et les parcelles d'arachide). Entre les bornes minimum et maximum d'intensité radiométrique, sont intercalés des classes comme les parcelles de mil. L'image ci-après (Figure 8) est un aperçu de ce que nous venons de dire.

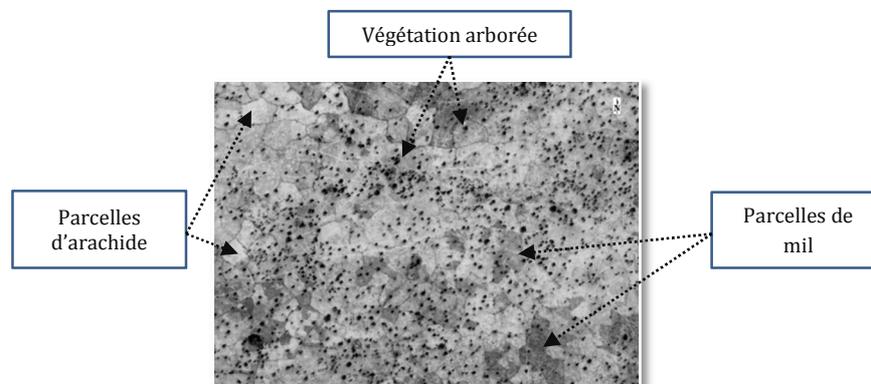


Figure 8 : Aperçu de trois éléments de l'occupation du sol de la zone d'étude : la végétation arborée, les parcelles de mil et d'arachide

Pour tirer profit de cet écart radiométrique, les photographies sont segmentées, afin d'extraire les informations suivantes : les parcelles d'arachide et de mil, la végétation arborée à majorité composée d'arbres et l'eau. Nous avons appliqué cette opération de segmentation aux seules bandes panchromatiques, avec une échelle de 20 sur 100, après plusieurs tests. Les détails sur les paramètres de segmentation sont représentés à la figure 9. Les résultats de la segmentation montrent une nette délimitation des objets ciblés (Figure 10), ce qui nous permet d'entamer le processus de classification.

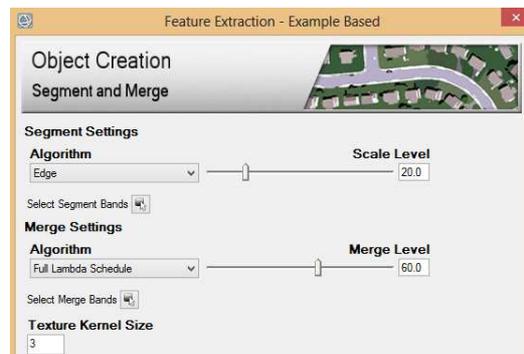


Figure 9 : Paramètres de segmentation des supports photos

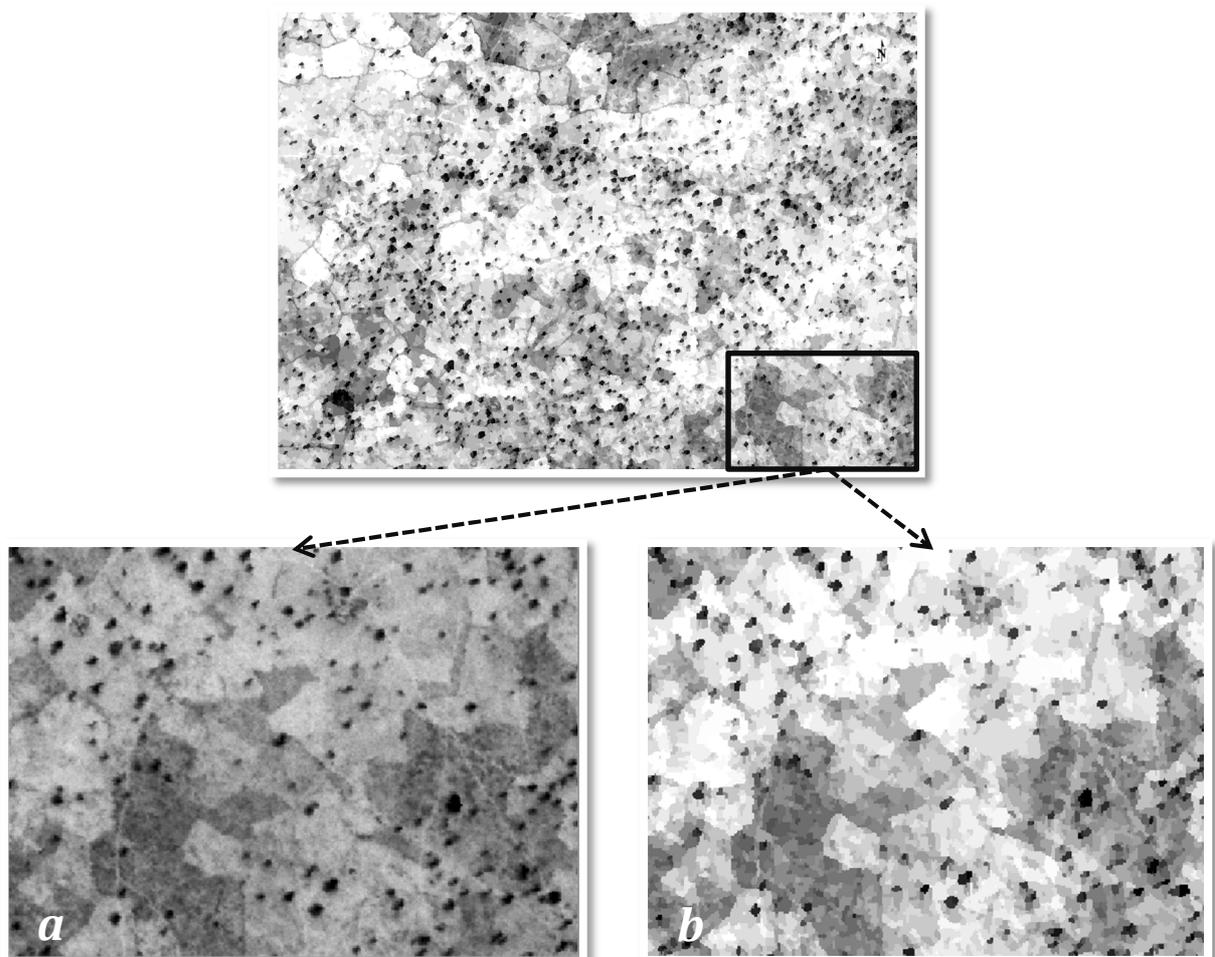


Figure 10 : Aperçu d'un extrait de la segmentation : a) extrait image brute ; b) extrait de l'image segmentée

1.9.2. La classification

Les opérations de classification ont pour objectif principal de réaliser le plus fidèlement possible la représentation cartographique à partir de la valeur spectrale et texturale des différents pixels composant l'image (Dièye et al., 2008). Le logiciel Envi offre deux techniques fondamentales pouvant être ou non combinées pour classer des images : la classification par règles de décision et la classification supervisée. Nous avons fait l'usage de l'approche supervisée basée sur l'algorithme de maximum de vraisemblance. Ce dernier découle d'une méthode probabiliste : pour chaque pixel on détermine sa probabilité d'appartenir à une classe plutôt qu'à une autre (Sparfel et al., 2008).

1.9.2.1. La classification de l'image Spot7

Pour réaliser cette classification, on peut s'appuyer sur des données de terrain et/ou à partir de données directement digitaliser sur l'image. Dans notre étude, nous avons procédé à la digitalisation manuelle des parcelles d'entraînement sur l'image Spot de bonne qualité et de précision meilleure. C'est ainsi qu'un grand nombre d'échantillons de végétation arborée, de mil, d'arachide, d'eau, de sol nu, de pistes et routes bitumées ont été digitalisées à dire d'expert. Les attributs spectraux, texturaux et spatiaux, disponibles sur Envi (Figure 11) sont utilisés durant cette phase de classification.

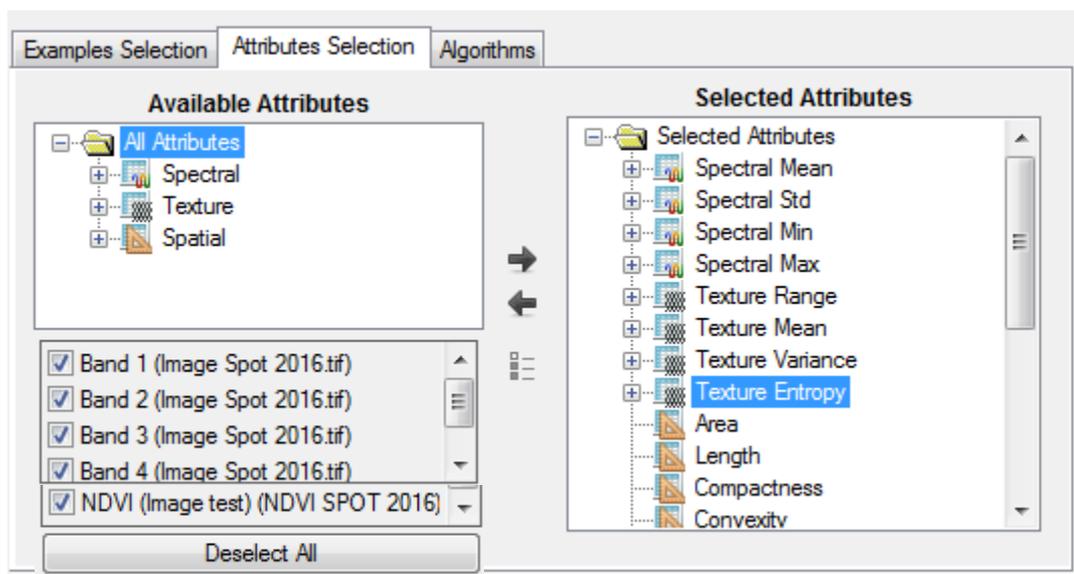


Figure 11 : Aperçu des attributs disponible sur Envi et des bandes sélectionnées pour la classification (RVB+PIR et NDVI)

Pour minimiser la proportion de segments non classés, nous avons fait recours à l'algorithme *K Nearest Neighbor* (KNN) de Envi, pour forcer des segments non classés aux classes les plus appropriées (Figure 12). La valeur seuil 5 est validée, ce qui signifie que les segments qui ont moins de 5 % de confiance dans une classe donnée sont fixés à "non classés". Et pour le nombre de pixels voisins nous l'avons fixé à 3, pour que le processus attribut plus de pixels non classés à une classe appropriée.

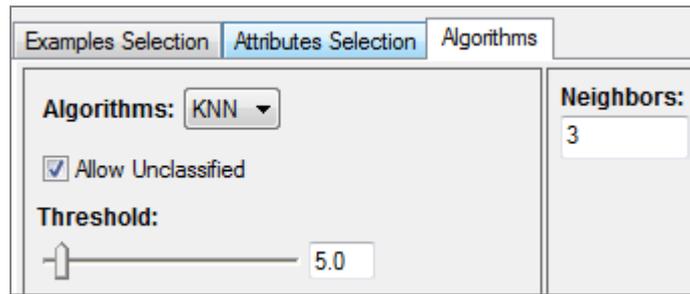


Figure 12 : Aperçu de l'outil de traitement des segments non classés et du choix des valeurs seuil

2.2.2.2. La classification des photos Corona et JICA

2.2.2.2.1. Classification supervisée

Nous avons procédé par classification supervisée des photos CORONA et JICA, afin de réduire le délai de traitement et d'isoler le plus de classes possibles. Pour la classification sur Envi, nous avons choisi des parcelles d'entraînement assez homogènes en adéquation avec les unités paysagères ciblés que sont le « mil » et l' « arachide » et la « végétation arborée » et les « eaux de surface ». Les figures 13 et 14 ci-après sont un aperçu des paramètres choisies pour la classification des supports photos.

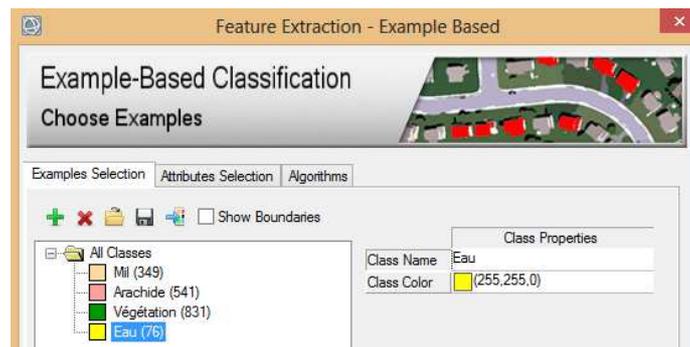


Figure 13 : Aperçu de l'étape de la sélection des classes ciblées pour la classification et des échantillons d'apprentissage

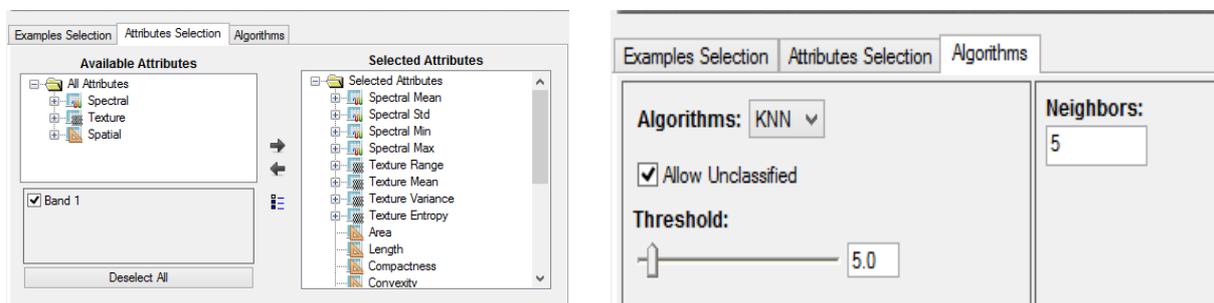


Figure 14 : Aperçu des paramètres sélectionnés pour la classification des photos

2.2.2.2. Classification par interprétation visuelle

Après plusieurs tests réalisés sur des imagerie, une classification automatique n'a pas permis de séparer les classes « Mares temporaires », « Bas-fond », « Maraîchage », « Cours d'eau » et « Bâti » (concession sous forme case), au reste. La solution était de faire recours à la méthode d'interprétation visuelle, en procédant à la vectorisation de ces classes.

La pertinence de l'approche peut être expliquée en prenant l'exemple du bâti à usage de concession. Dans la zone d'étude, la plupart des concessions regroupe des bâtiments aux toitures en zinc, de cases en paille, de la végétation arborée et des sols nus (Figure 15). Au moment du test de classification, les bâtiments aux toits en zinc sont bien discriminés, car ils ont des valeurs de réflectance élevées, par contre la plupart des cases en paille se confondent avec les cultures de mil, la végétation naturelle, et dans une moindre mesure aux cultures d'arachide. Aussi pour lever toute confusion, nous avons fait le choix de regrouper par classification manuelle toutes ces composantes dans une même unité : la concession, correspondant au « bâti » dans les images de classifications. Ainsi, nous avons vectorisé les couches "Mares temporaires", "Bas-fond", "Maraîchage", "Cours d'eau" et "Bâti". Elles seront utilisées comme mask afin d'intégrer ces unités d'occupation du sol sur les images de classification de 1986, 1989 et 2016 à travers le logiciel Envi.

Au terme de cette opération, nous avons obtenu ainsi des cartes d'occupation du sol de la zone avec l'ensemble des thèmes validés au départ. Cependant, il reste leur validation pour pouvoir évaluer leur qualité et réaliser leur analyse.



Figure 15 : Figure 16 : Aperçu d'une configuration des concessions dans la zone d'étude avec distinction de 4 classes d'occupation du sol : toitures en paille, toitures en zinc, végétation arborée et sol nu

Aucune classification n'a de signification si elle n'est pas accompagnée d'une estimation numérique de sa qualité. Cette estimation passe généralement par la construction d'une

matrice de confusion (Justine, 2012). Pour une bonne interprétation et analyse et une meilleure utilisation des résultats de la classification, sa validation est nécessaire pour démontrer sa pertinence, particulièrement dans une démarche de prise de décision. Pour se faire, l'usage de données de terrain est nécessaire permettant ainsi de confronter les classes issues de la carte avec la réalité.

Les données de terrain n'ayant pas été relevé aux différentes dates d'acquisition, nous avons opté pour une solution intermédiaire qui est la sélection manuelle par un expert neutre de données de terrain collectées directement sur les différentes images satellites. C'est ainsi qu'ont été collectés les points de références : 230 points aléatoires en 1968, 269 points en 1989 et 383 points en 2016 dans les différentes classes d'occupation du préalablement définis. La confrontation de ces points de références avec le résultat des classifications ont permis la réalisation des matrices de confusion. La précision globale d'une classification peut alors être exprimée par la somme des points dont l'occupation du sol est correcte divisée par le nombre de points total (Justine, 2012). Elle correspond au rapport entre le nombre d'individus (ou de pixels) bien classés, sur le nombre total d'individus. La précision pour

L'utilisateur (en ligne) est le pourcentage d'individus d'une classe d'occupation du sol prédite, correctement classés vis-à-vis de l'occupation du sol observée. . La précision pour le producteur (en colonne) est le pourcentage d'individus d'une classe observée, correctement identifiés dans la classification.

Le coefficient Kappa sera aussi calculé. Kappa est aussi un indice d'estimation de la précision de la classification, et qui varie entre 0 et 1. Des auteurs comme Landis et Koch (1977) ont effectué un seuillage sous une échelle qualitative des valeurs du coefficient Kappa, afin d'évaluer la classification. Un coefficient Kappa proche de 0 est considéré très mauvais, alors que s'il est proche de 1, il est jugé excellent (Tableau 11).

Tableau 11 : Echelle d'appréciation de la classification (Landis et Koch, 1977)

Coefficient Kappa	Précision de la classification
Inf. 0,00	Faible
0,00-0,20	Légère
0,21-0,40	Acceptable
0,41-0,60	Modérée
0,61-0,80	Bonne
Sup. 0,81	Très bonne

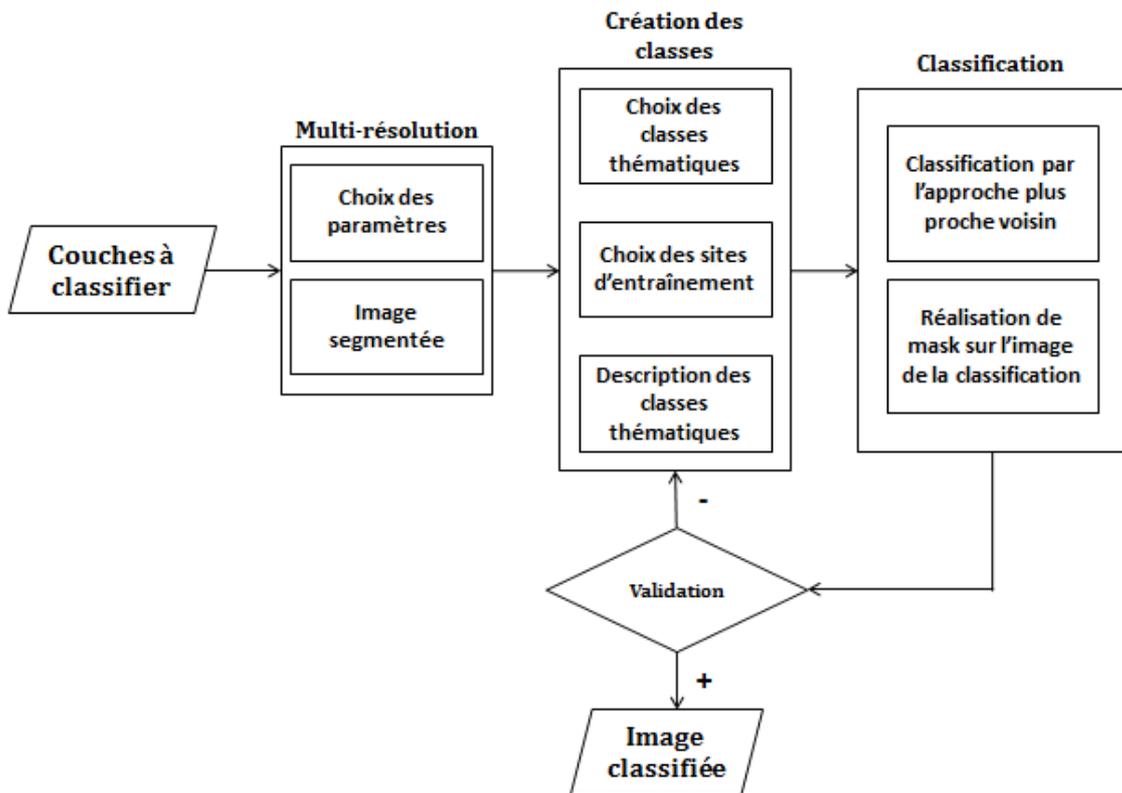


Figure 17 : Organigramme pour la classification orientée objets (Adapté Huang et al., 2008)

**Suivi de la dynamique d'occupation du sol de
1968 à 2016**

Chapitre 3. Bilan de l'occupation du sol à l'échelle globale

Trois cartes d'occupation du sol ont été réalisées à partir des traitements effectués sur des photos aériennes et satellitaires et sur une image Spot. Ces traitements ont permis d'identifier différentes unités d'occupation du sol dans la zone d'étude. Dans cette étape, il sera question dans un premier temps de procéder à un état des lieux de l'occupation du sol pour chaque date, mais aussi d'analyser la qualité de ces résultats en se basant sur la précision globale.

3.1. Analyse de l'occupation du sol en 1968

3.1.1. Etat de l'occupation du sol en 1968

En 1968 la figure 17 et le tableau 12, relatif à l'occupation du sol, sont obtenus à la suite du traitement de la photo satellitaire Corona. Il est observé une très forte prédominance des zones de culture, occupant environ 76,5% de la zone d'étude. La culture de l'arachide domine avec 43,91%, contre 32,49% pour le mil. Viennent ensuite les bas-fonds et la végétation arborée, occupant respectivement 9,00% et 7,87%. Les mares temporaires et les zones de jachère sont également bien représentées dans la zone, avec une occupation de l'ordre de 2,61% et 2,33% respectivement. La superficie occupée par le bâti est d'environ 1%. Et les classes restantes (cours d'eau, eaux et route) occupent des proportions avoisinant les 0,5% ou moins (Tableau 12).

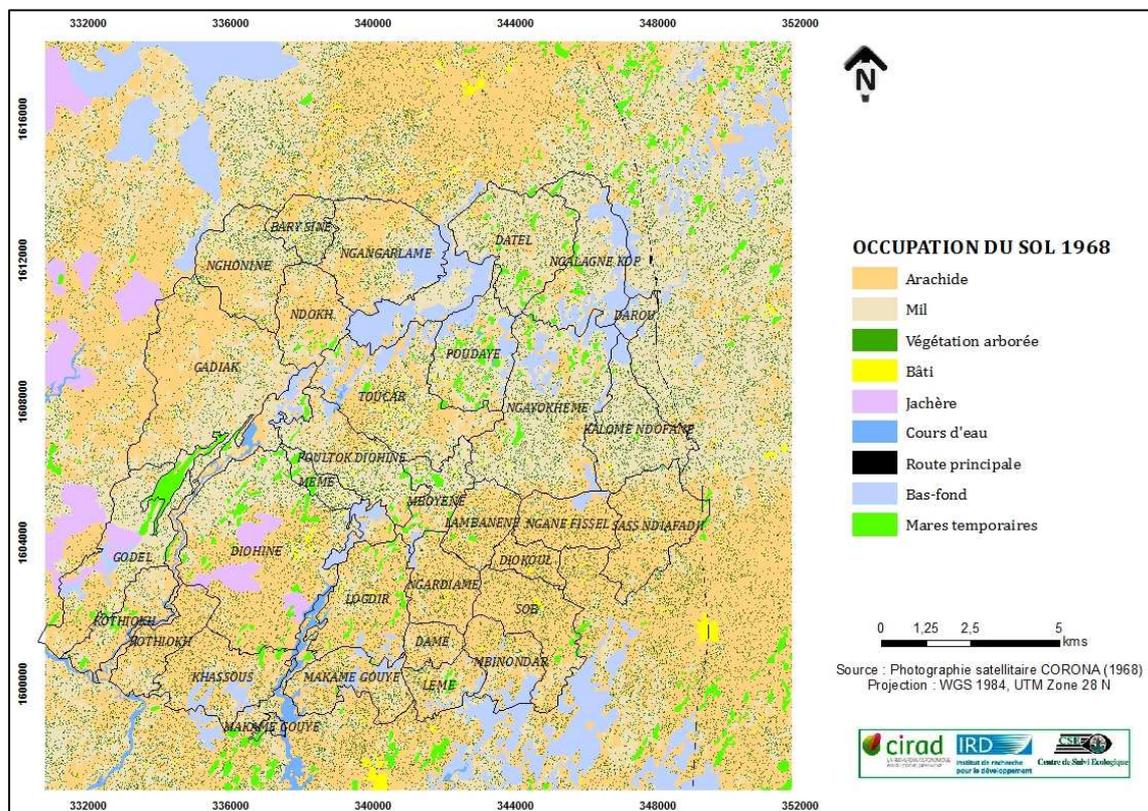


Figure 18 : Carte d'occupation du sol en 1968 de la zone d'étude

Tableau 12 : Proportion des classes d'occupation du sol en 1968

Thèmes	Superficie en ha	Superficie en %
Arachide	19611,53	43,91
Mil	14512,03	32,49
Végétation arborée	3514,82	7,87
Bâti	404,57	0,91
Jachère	1040,48	2,33
Mares temporaires	1166,91	2,61
Bas-fonds	4018,64	9,00
Route principale	29,19	0,07
Cours d'eau	366,87	0,82
Maraîchage	---	---
Total	44665	100

3.1.2. Précision de la classification de 1968

La classification de la photo satellitaire Corona de 1968 est jugée bonne au regard du rapport de la matrice de confusion et le barème établi par [Landis et Koch \(1977\)](#). La précision globale est de 76.08%, avec un indice Kappa de l'ordre de 0.72 (Tableau 13).

Les classes « bâti » et « cours d'eau » sont correctement classées ; en effet, 100% des pixels qui leur sont assignés lors du traitement correspondent exactement à la réalité sur terrain. Par contre, environ 20% des pixels classées « bâti » et « cours d'eau », leur serai assignés incorrectement (Erreur d'omission).

Le résultat de la classification est jugé satisfaisant pour les classes « jachère » (71,43%), « route principale » (76,47%), « bas-fonds » (80%), « végétation » (85,71) et « mares temporaires » (89,66). Cependant, selon le rapport d'erreur de commission, 10 à environ 20% des pixels assignés à ces classes, ne correspondent pas aux informations recueillies sur le terrain.

Les champs de mil et d'arachide présentent un bilan moyen satisfaisant comparé aux autres classes. Environ 76,47% des champs de mil et 67,65% des champs d'arachide retrouvés sur le terrain (précision du producteur) correspondent à ceux sur la carte d'occupation du sol de 1968. Mais aussi, 36,59% des champs de mil et 48,89% des camps d'arachide (Erreur de commission), seraient incorrectement exclus de ces classes. En effet, il y a une forte confusion entre ces deux classes. Selon la matrice de confusion plus détaillé au tableau 14 et 15, 17,5% des champs de mil seraient incorrectement affectés à la classe champs d'arachide et inversement. On note également une confusion entre les champs d'arachide et les bas-fonds (8,82%) et entre les champs de mil avec les zones de jachère (5,88%). Ces légères confusions expliquent les taux notés dans le rapport d'erreur de commission.

Tableau 13 : Rapport matrice de confusion de la classification de 1968

Classes	Erreur commission (%)	Erreur omission (%)	Précision du producteur (%)	Précision de l'utilisateur (%)	Précision globale (%)	Coefficient Kappa
Bâti	0.00	22.22	77.78	100.00	76,0870	0,7239
Cours d'eau	0.00	20.00	80.00	100.00		
Jachère	28.57	44.44	55.56	71.43		
Route principale	22.22	30.00	70.00	77.78		
Mares temporaires	10.34	23.53	76.47	89.66		
Végétation arborée	14.29	16.67	83.33	85.71		
Champs de mil	36.59	23.53	76.47	63.41		
Champs d'arachide	48.89	32.35	67.65	51.11		
Bas-fonds	17.65	20.00	80.00	82.35		

Tableau 14 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pixels

Classes	Bâti	Cours d'eau	Jachère	Route principale	Mares temporaires	Végétation	Champs de mil	Champs d'arachide	Bas-fonds	Total
Bâti	14	0	0	0	0	0	0	0	0	14
Cours d'eau	0	16	0	0	0	0	0	0	0	16
Jachère	0	0	5	0	0	0	2	0	0	7
Route principale	0	0	0	7	0	0	0	2	0	9
Mares temporaires	0	0	1	0	26	2	0	0	0	29
Végétation arborée	3	0	0	0	0	30	0	0	2	35
Champs de mil	0	0	1	0	3	3	26	6	2	41
Champs d'arachide	1	4	2	3	2	1	6	23	3	45
Bas-fonds	0	0	0	0	3	0	0	3	28	34
Total	18	20	9	10	34	36	34	34	35	230

Tableau 15 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pourcentage

Classes	Bâti	Cours d'eau	Jachère	Route principale	Mares temporaires	Végétation	Champs de mil	Champs d'arachide	Bas-fonds	Total
Bâti	77.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.09
Cours d'eau	0.00	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.96
Jachère	0.00	0.00	55.56	0.00	0.00	0.00	5.88	0.00	0.00	3.04
Route principale	0.00	0.00	0.00	70.00	0.00	0.00	0.00	5.88	0.00	3.91
Mares temporaires	0.00	0.00	11.11	0.00	76.47	5.56	0.00	0.00	0.00	12.61
Végétation arborée	16.67	0.00	0.00	0.00	0.00	83.33	0.00	0.00	5.71	15.22
Champs de mil	0.00	0.00	11.11	0.00	8.82	8.33	76.47	17.65	5.71	17.83
Champs d'arachide	5.56	20.00	22.22	30.00	5.88	2.78	17.65	67.65	8.57	19.57
Bas-fonds	0.00	0.00	0.00	0.00	8.82	0.00	0.00	8.82	80.00	14.78
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

3.2. Analyse de l'occupation du sol en 1989

3.2.1. Etat de l'occupation du sol en 1989

Les informations contenues dans la figure 18 et le tableau 16, sont obtenues grâce au traitement de la photo aérienne JICA de 1989. Les zones de cultures restent toujours prédominantes avec environ 84% de la superficie totale de la zone d'étude. La culture d'arachide occupe une proportion plus importante avec 44,97%, contre 38,94% par la culture de mil qui arrive en seconde position. La végétation arborée et les bas-fonds s'en suivent représentant respectivement 6,30% et 5,21% de la surface étudiée. Les surfaces bâties et les zones de jachère viennent en 3^{ème} rang, elles occupent dans cet ordre 1,58% et 0,96%. Enfin de compte, les classes cours d'eau, route et maraîchage occupent des superficies relativement faibles, soit inférieur ou égale 0,50%.

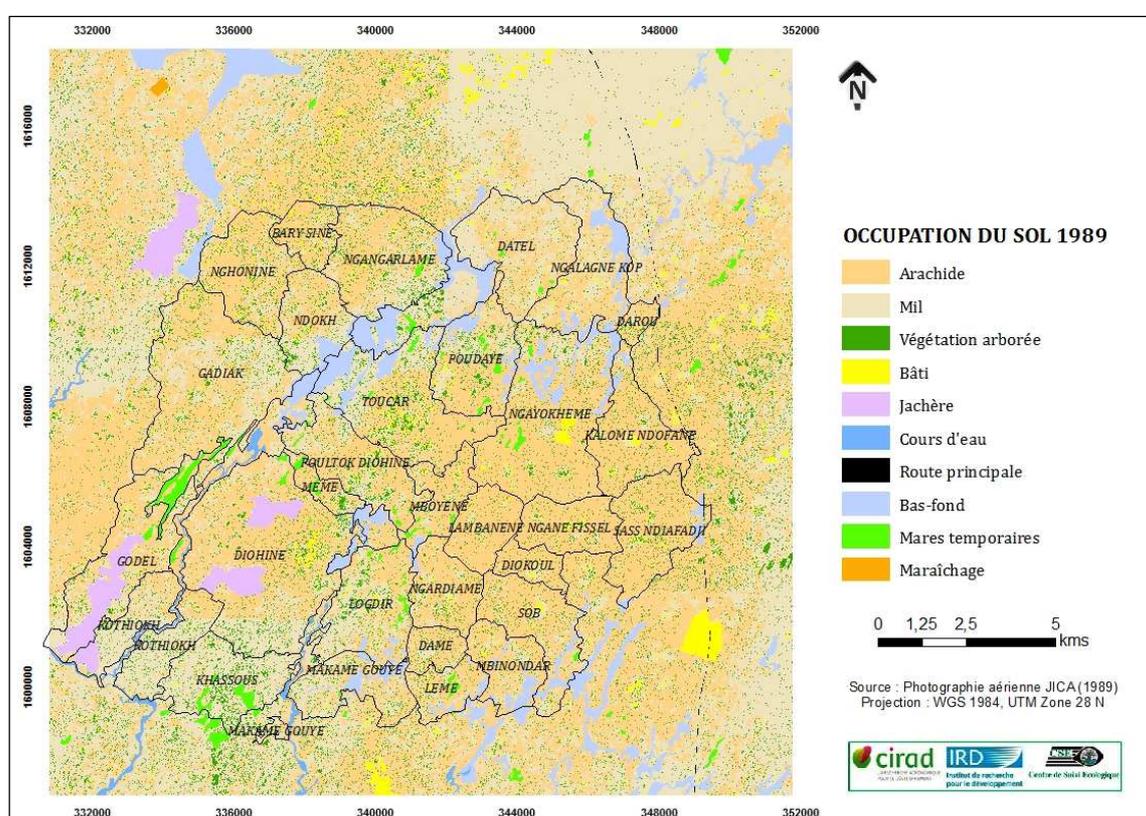


Figure 19 : Carte d'occupation du sol en 1989 de la zone d'étude

Tableau 16 : Proportion des classes d'occupation du sol en 1989

Thèmes	Superficie en ha	Superficie en %
Arachide	20086,03	44,97
Mil	17392,75	38,94
Végétation arborée	2815,55	6,30
Bâti	705,48	1,58
Jachère	641,77	1,44
Mares temporaires	428,62	0,96
Bas-fonds	2328,49	5,21
Route principale	21,13	0,05
Cours d'eau	228,99	0,51
Maraîchage	15,98	0,04
Total	44665	100

3.2.2. Précision de la classification de 1989

La classification de la photo aérienne JICA de 1989 est jugée bonne selon la classification établie par Landis et Koch (1977). La précision globale est de l'ordre de 79,92% et l'indice Kappa 0,76. Les informations détaillées sur la matrice de confusion sont présentées dans les tableaux 17, 18 et 19.

Pour les classes « bâti », « maraîchage », « cours d'eau », « route principale » et « mares temporaires », il est noté qu'au regard du tableau 17, 100% (précision de l'utilisateur) des pixels assignés à ces classes sur l'image de la classification, correspondent à la réalité sur le terrain. Ce taux relativement important est dû au fait que leur classification découle d'une interprétation visuelle, pour des raisons liées entre les classes à valeur radiométrique proche. Néanmoins, environ 20% (erreur d'omission) sont incorrectement assignés à ces classes d'occupation du sol.

Concernant la végétation extraite de manière automatique, il est noté que 95,5% des pixels qui lui sont assignés correspondent à la végétation sur le terrain. Par contre, 5% des pixels classés végétation ne correspondent pas à la réalité du terrain. On note également que 22,45% de la végétation de la végétation sur le terrain ne serait pas bien identifié sur la carte d'occupation du sol. En regardant la matrice complète de confusion, on s'aperçoit que ces pixels seraient confus aux champs de mil (12,24%) et aux champs d'arachide (10,20%).

Pour les classes restantes, à savoir, la jachère, les champs de mil et d'arachide et les bas-fonds la précision est jugée assez satisfaisante, avec une précision comprise entre 50 à environ 70%. (Précision de l'utilisateur). Mais en réalité, 80% des champs de mil recueillis sur le terrain correspondent exactement aux types de cultures identifiées sur la carte. Il en est de même pour la jachère (75%) et les bas-fonds (54,17%). Cela s'explique par les confusions notées entre ces différentes classes. D'après le rapport complet de la matrice de confusion (tableau 18 et 19), 20% des champs d'arachide seraient incorrectement assignés à la classe mil et inversement avec un taux de 17,95%. Il en est de même, 25% des pixels de la jachère pourraient être incorrectement incorporés dans la classe mil. Il en est de même pour les bas-fonds où 20,83% de ces pixels serai incorrectement classés en jachère, 16,67% en champs de mil et 8,33% en champs d'arachide.

Tableau 17 : Rapport matrice de confusion de la classification de 1989

Classes	Erreur de commission	Erreur d'omission	Précision du producteur	Précision de l'utilisateur	Précision globale (%)	Coefficient Kappa
	(%)	(%)	(%)	(%)		
Bâti	0.00	11.36	88.64	100.00	79,9257	0,7691
Maraîchage	0.00	16.67	83.33	100.00		
Cours d'eau	0.00	4.17	95.83	100.00		
Jachère	50.00	25.00	75.00	50.00		
Route principale	0.00	27.27	72.73	100.00		
Mares temporaires	0.00	20.83	79.17	100.00		
Végétation arborée	5.00	22.45	77.55	95.00		
Champs de mil	38.46	17.95	82.05	61.54		
Champs d'arachide	38.46	20.00	80.00	61.54		
Bas-fonds	31.58	45.83	54.17	68.42		

Tableau 18 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pixels

Classes	Bâti	Maraîchage	Cours d'eau	Jachère	Route principale	Mares temporaires	Végétation	Champs de mil	Champs d'arachide	Bas-fonds	Total
Bâti	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39
Maraîchage	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Cours d'eau	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	23
Jachère	1	0	0	6	0	0	0	0	0	5	12
Route principale	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	8
Mares temporaires	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	19
Végétation arborée	2	0	0	0	0	0	38	0	0	0	40
Champs de mil	0	1	0	2	0	0	5	32	8	4	52
Champs d'arachide	2	0	0	0	3	0	6	7	32	2	52
Bas-fonds	0	0	1	0	0	5	0	0	0	13	19
Total	44	6	24	8	11	24	49	39	40	24	269

Tableau 19 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pourcentage

Classes	Bâti	Maraîchage	Cours d'eau	Jachère	Route principale	Mares temporaires	Végétation	Champs de mil	Champs d'arachide	Bas-fonds	Total
Bâti	88.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.50
Maraîchage	0.00	83.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.86
Cours d'eau	0.00	0.00	95.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.55
Jachère	2.27	0.00	0.00	75.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.83	4.46
Route principale	0.00	0.00	0.00	0.00	72.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.97
Mares temporaires	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.17	0.00	0.00	0.00	0.00	7.06
Végétation arborée	4.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.55	0.00	0.00	0.00	14.87
Champs de mil	0.00	16.67	0.00	25.00	0.00	0.00	10.20	82.05	20.00	16.67	19.33
Champs d'arachide	4.55	0.00	0.00	0.00	27.27	0.00	12.24	17.95	80.00	8.33	19.33
Bas-fonds	0.00	0.00	4.17	0.00	0.00	20.83	0.00	0.00	0.00	54.17	7.06
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

3.3. Analyse de l'occupation du sol en 2016

3.3.1. Etat de l'occupation du sol en 2016

La figure 19 et le tableau 20 présentent les proportions surfaciques des différentes unités d'occupation du sol obtenues à l'issue du traitement de l'image Spot7. Environ 80% de la zone reste sous la dominance des terres de cultures, dont 43,50% pour la culture de mil et 36,82% pour la culture d'arachide. La végétation arborée et les bas-fonds occupent dans cet ordre 7,48% et 5,17%. Durant cette année, les mares temporaires occupent 2,60% de la superficie totale, contre 1,90% pour la classe bâti et 1,41% pour les zones de jachère.

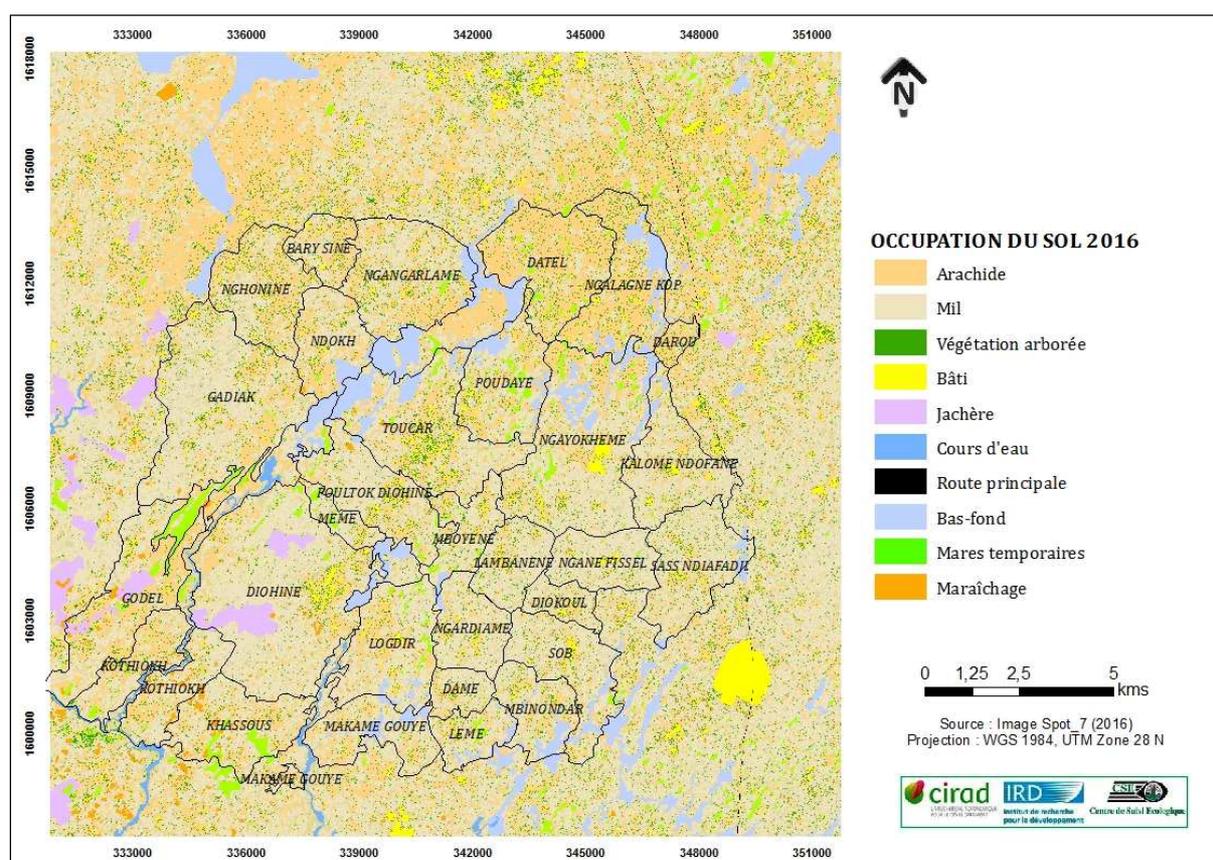


Figure 20 : Carte d'occupation du sol en 2016 de la zone d'étude

Tableau 20 : Proportion des classes d'occupation du sol en 2016

Thèmes	Superficie en ha	Superficie en %
Arachide	16446,22	36,82
Mil	19429,84	43,50
Végétation arborée	3338,79	7,48
Bâti	846,59	1,90
Jachère	630,99	1,41
Mares temporaires	1161,03	2,60
Bas-fonds	2307,98	5,17
Route principale	19,49	0,04
Cours d'eau	230,85	0,52
Maraîchage	253,27	0,57
Total	44665	100

3.3.2. Précision de la classification de 2016

Contrairement à précision des classifications des photos Corona de 1968 et JICA de 1989, celle Spot7 de 2016 est très satisfaisante avec une précision globale estimée de l'ordre de 92,95%. La classification est jugée excellente sur la base de l'indice Kappa qui est de 0,92 (Tableau 21).

Le rapport de la matrice de confusion fait constater que 100% des pixels assignés aux classes, « bâti », « maraîchage », « cours d'eau », « mares temporaires » et « route principale » correspondent à la réalité sur le terrain. De même, 100% des pixels de maraîchage et de cours d'eau sur terrain, concordent avec ceux trouvés sur la carte d'occupation du sol. Ce taux s'explique par le fait que ces classes obtenues par interprétation visuelle sur l'image Spot7. Néanmoins, il est noté que 14,29% des pixels de la classe « route principale » et 11,11% des pixels de la classe Jachère sur le terrain, ne serai pas bien classés sur la carte.

Pour les classes « mares temporaires », « végétation » et « bas-fonds », environ 95% des pixels qui leurs sont assignés sur la carte, correspondent à la réalité sur le terrain. Mais, seulement environ 5% de pixels assignés à ces classes sur le terrain, ne serait pas bien identifié sur la carte.

Autour des classes « mil », « arachide » et « jachère », la précision est jugée satisfaisante, soit respectivement 84,62%, 89,80% et 88,89% (Précision du producteur). Force est cependant de constater que 15,38% des pixels classés mil, 10,20% des pixels classés arachide et 11,11% des pixels classés jachère (Erreur de commission) ne correspondent en aucun cas aux informations recueillies sur le terrain. Selon le rapport détaillé de la matrice de confusion, il est noté une confusion autour de ces classes d'occupation du sol. En effet, 15,38% des pixels de mil seraient incorrectement confondu aux champs d'arachide, et inversement avec un taux de 10,20%. Le rapport fait constater également que 3,70% des zones de jachère seraient incorrectement classés dans la classe « mil », contre 7,41% pour la classe « arachide ».

Tableau 21 : Rapport matrice de confusion de la classification de 2016

Classes	Erreur de commission	Erreur d'omission	Précision du producteur	Précision de l'utilisateur	Précision globale (%)	coefficient Kappa
	(%)	(%)	(%t)	(%)		
Bâti	0.00	3.13	96.88	100.00	92,9504	0,9212
Maraîchage	0.00	0.00	100.00	100.00		
Cours d'eau	0.00	0.00	100.00	100.00		
Jachère	0.00	11.11	88.89	100.00		
Mares temporaires	5.56	5.56	94.44	94.44		
Végétation arborée	2.86	5.56	94.44	97.14		
Route principale	0.00	14.29	85.71	100.00		
Mil	15.38	15.38	84.62	84.62		
Arachide	24.14	10.20	89.80	75.86		
Bas-fonds	4.44	4.44	95.56	95.56		

Tableau 22 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pixels

Classes	Bâti	Maraîchage	Cours d'eau	Jachère	Mares temporaires	Végétation	Route principale	Champs de mil	Champs d'arachide	Bas-fonds	Total
Bâti	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
Maraîchage	0	42	0	0	0	0	0	0	0	0	42
Cours d'eau	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	36
Jachère	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	24
Mares temporaires	0	0	0	0	34	0	0	0	0	2	36
Végétation arborée	1	0	0	0	0	34	0	0	0	0	35
Route principale	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	24
Mil	0	0	0	1	0	2	0	44	5	0	52
Arachide	0	0	0	2	0	0	4	8	44	0	58
Bas-fonds	0	0	0	0	2	0	0	0	0	43	45
Total	32	42	36	27	36	36	28	52	49	45	383

Tableau 23 : Rapport de confusion entre les différentes classes d'occupation du sol en pourcentage

Classes	Bâti	Maraîchage	Cours d'eau	Jachère	Mares temporaires	Végétation	Route principale	Champs de mil	Champs d'arachide	Bas-fonds	Total
Bâti	96.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.09
Maraîchage	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.97
Cours d'eau	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.40
Jachère	0.00	0.00	0.00	88.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.27
Mares temporaires	0.00	0.00	0.00	0.00	94.44	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44	9.40
Végétation arborée	3.13	0.00	0.00	0.00	0.00	94.44	0.00	0.00	0.00	0.00	9.14
Route principale	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.71	0.00	0.00	0.00	6.27
Mil	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	5.56	0.00	84.62	10.20	0.00	13.58
Arachide	0.00	0.00	0.00	7.41	0.00	0.00	14.29	15.38	89.80	0.00	15.14
Bas-fonds	0.00	0.00	0.00	0.00	5.56	0.00	0.00	0.00	0.00	95.56	11.75
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

3.4. Dynamique de l'occupation du sol entre 1968 et 2016

Les résultats de la dynamique de l'occupation du sol sont présentés à travers le tableau 24 et la figure 20. Globalement les tendances notées correspondent à une progression des classes « mil », « bâti » et « maraîchage » et une régression des classes « arachide », « jachère » et « bas-fond ». Les classes restantes connaissent une alternance de progression et de régression dans le temps et dans l'espace.

Les champs de mil ont connu une hausse de 19,85% entre 1968 et 1989 et de 11,71% entre 1989 et 2016. Quant à la classe bâtie, elle a connu une progression de l'ordre de 74,38% entre 1968 et 1989 et de 20% entre 1989 et 2016. Le maraîchage semble avoir débuté dans la zone d'étude au courant des années 1980, il a connu une hausse importante en passant de 15,98 ha à 237,29 ha, soit +1485% entre 1989 et 2016. La classe bas-fond enregistre une baisse respective de 42,06% et environ 1% sur la première et la dernière période étudiée.

La hausse notée autour des classes citées ci-dessus, se fait au détriment des champs de cultures d'arachide et des zones de jachère. La superficie occupée par les champs d'arachide a connue une baisse de 18,12% entre 1989 et 2016. La jachère par contre, connaît une baisse respective de 38,32% et environ 2% entre 1968 et 1989 et entre 1989 et 2016.

La classe végétation arborée connaît une baisse de 19,89% entre 1968 et 1989. Par contre elle enregistre une hausse de 1% entre 1989 et 2016.

Tableau 24 : Superficie en hectare et en pourcentages des classes d'occupation du sol entre 1968 et 2014

Classes	1968	1989	2016	1968	1989	2016
	ha	ha	ha	%	%	%
Arachide	19611,53	20086,03	16446,22	43,91	44,97	36,82
Mil	14512,03	17392,75	19429,84	32,49	38,94	43,50
Végétation arborée	3514,82	2815,55	3338,79	7,87	6,30	7,48
Bâti	404,57	705,48	846,59	0,91	1,58	1,90
Jachère	1040,48	641,77	630,99	2,33	1,44	1,41
Mares temporaires	1166,91	428,62	1161,03	2,61	0,96	2,60
Bas-fonds	4018,64	2328,49	2307,98	9,00	5,21	5,17
Route principale	29,19	21,13	19,49	0,07	0,05	0,04
Cours d'eau	366,87	228,99	230,85	0,82	0,51	0,52
Maraîchage	0,00	15,98	253,27	0,00	0,04	0,57
Total	44665	44665	44665	100	100	100

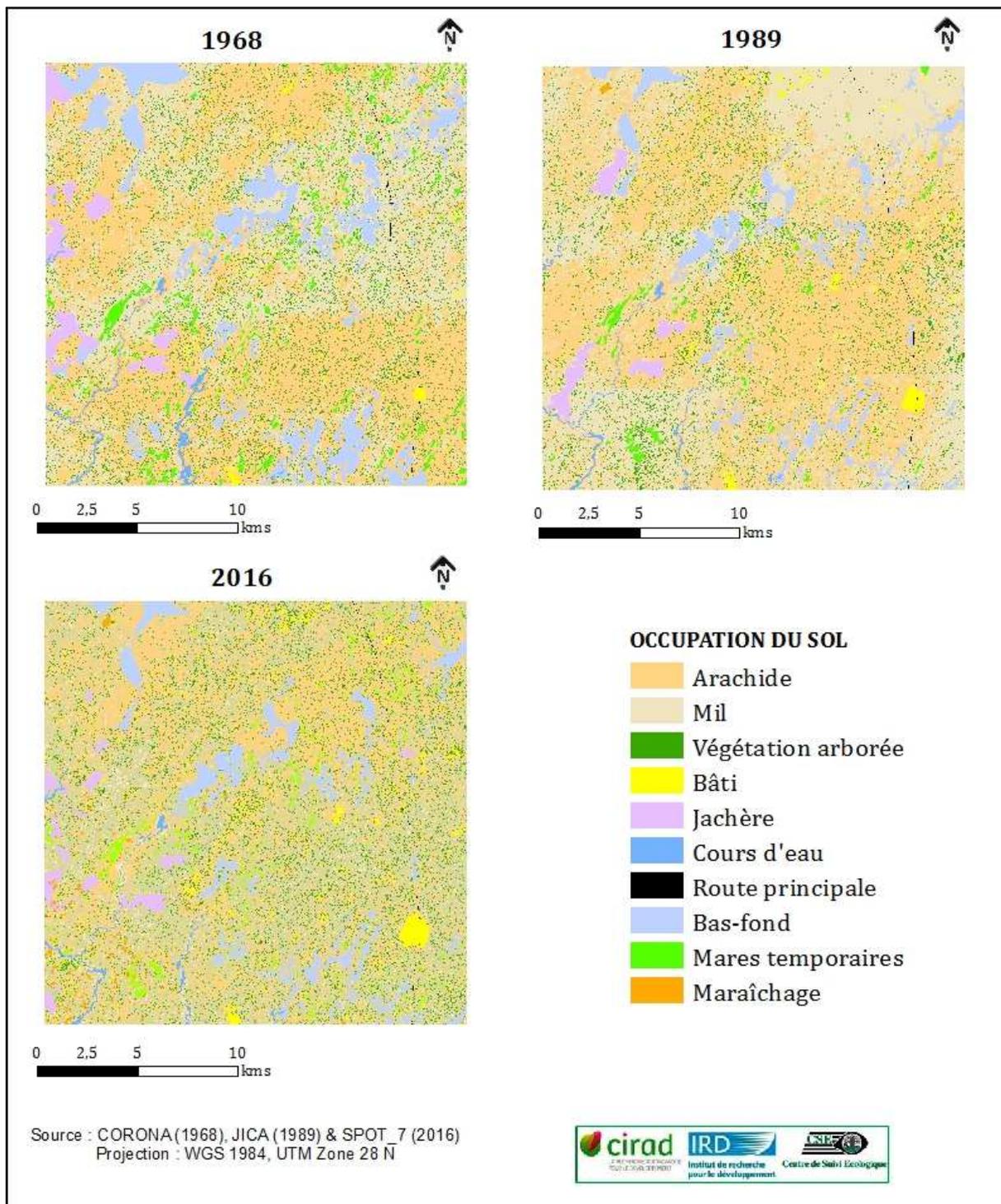
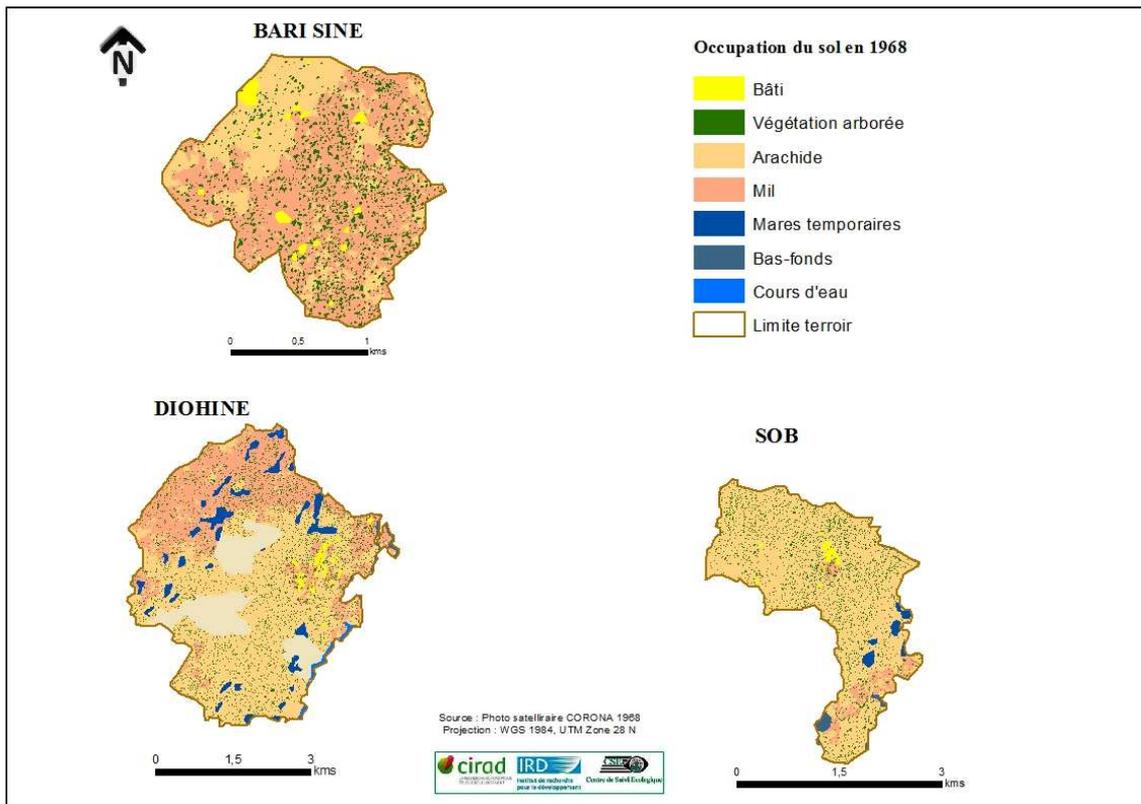


Figure 21 : Vue d'ensemble des différentes cartes d'occupation du sol en 1968, 1989 et 2016

Chapitre 4. Bilan de l'occupation du sol à l'échelle des trois terroirs

Les résultats de la cartographie à l'échelle des terroirs sont présentés sous forme de carte représentant les différents états d'occupation des sols à Bari Sine, Diohine et Sob (figure 21, 22 et 23). Ensuite, des statistiques sur la proportion des différentes classes, synthétisées dans le tableau 25 et des figures pour avoir une idée sur les états d'occupation du sol durant ces trois dates. La répartition des classes d'occupation du sol varie d'un terroir à l'autre. Par exemple, on compte plus de classe à Diohine que sur les autres dans les deux autres terroirs.



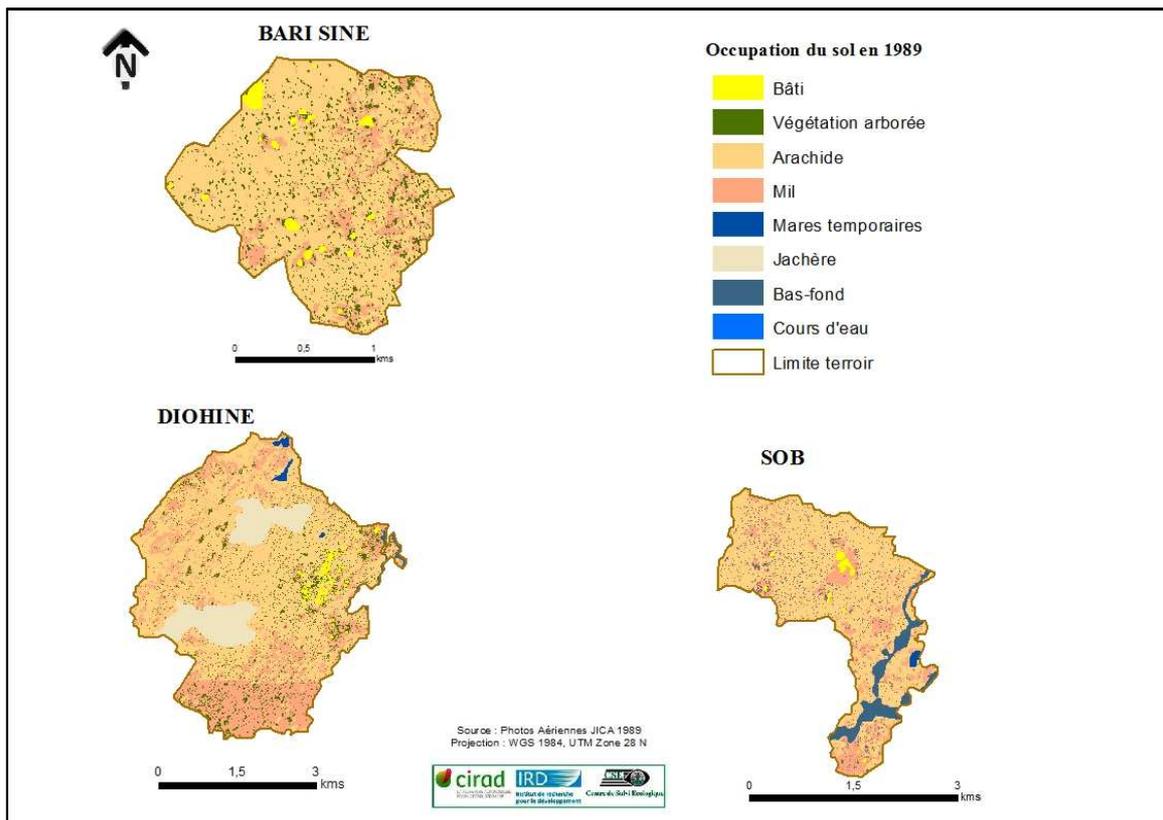


Figure 23 : Carte d'occupation du sol en 1989 des terroirs d'étude

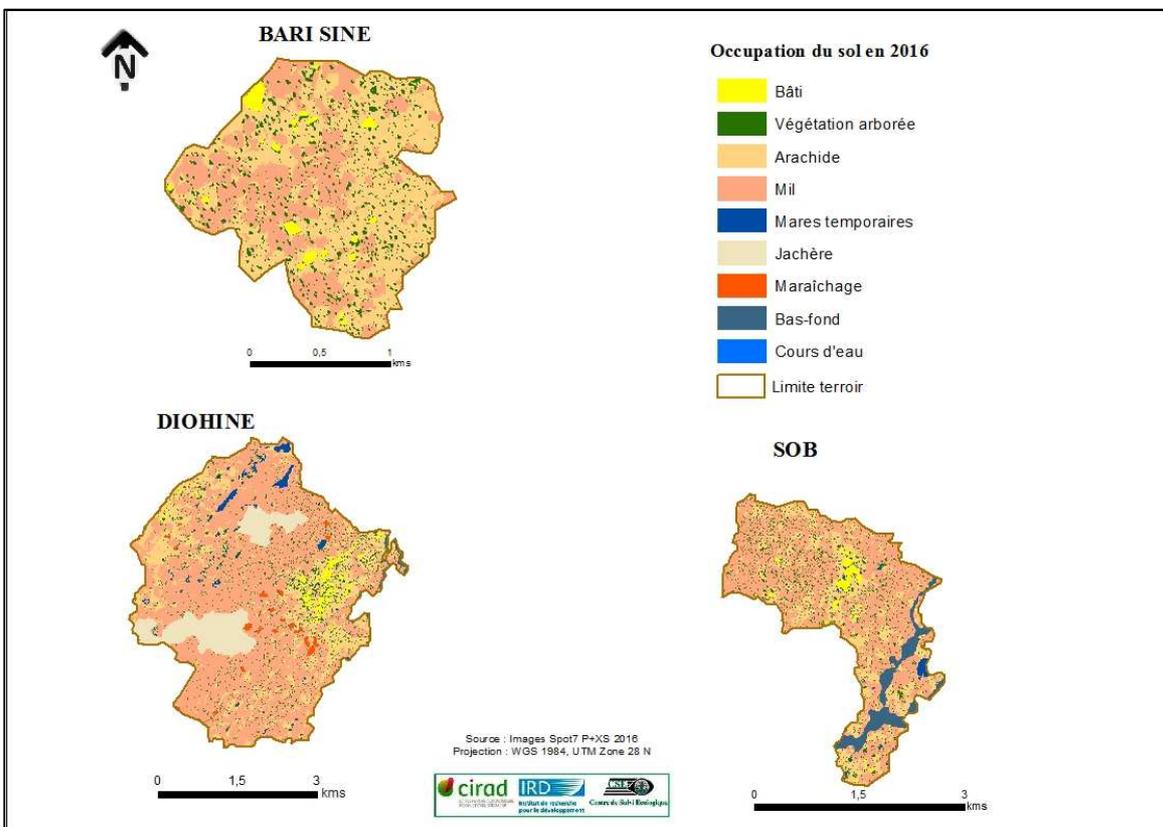


Figure 24 : Carte d'occupation du sol en 2016 des terroirs d'étude

Tableau 25 : Superficie en ha et pourcentage des classes d'occupation du sol dans les 03 terroirs en 1968, 1989 et 2016

Classes	Bari Sine						Diohine						Sob					
	1968		1989		2016		1968		1989		2016		1968		1989		2016	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Bâti	5,98	2,31	6,56	2,54	7,67	2,97	20,82	1,11	27,07	1,44	31,64	1,69	5,78	0,96	6,65	1,11	10,63	1,77
Mil	142,56	55,11	41,71	16,12	88,83	34,34	501,22	26,75	516,07	27,54	1088,95	58,12	30,60	5,10	109,83	18,31	328,59	54,77
Arachide	75,76	29,29	186,02	71,91	137,94	53,32	883,42	47,15	979,60	52,28	412,64	22,02	483,23	80,55	402,72	67,13	157,61	26,27
Végétation arborée	34,39	13,29	24,41	9,44	24,27	9,38	141,53	7,55	134,40	7,17	103,74	5,54	62,87	10,48	34,39	5,73	52,31	8,72
Mares temporaires	---	---	---	---	---	---	90,32	4,82	9,79	0,52	34,40	1,84	10,26	1,71	2,73	0,45	7,10	1,18
Bas-fonds	---	---	---	---	---	---	10,89	0,58	10,89	0,58	11,01	0,59	7,17	1,20	43,60	7,27	43,69	7,28
Jachère	---	---	---	---	---	---	213,00	11,37	194,38	10,37	172,53	9,21	---	---	---	---	---	---
Cours d'eau	---	---	---	---	---	---	12,63	0,67	1,62	0,09	1,67	0,09	---	---	---	---	---	---
Maraîchage	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,00	17,19	0,92	---	---	---	---	---	---
Total	258,70	100	258,70	100	258,71	100,00	1873,83	100	1873,83	100	1873,83	100	599,90	100	599,90	100	599,90	100

4.1. Analyse de l'occupation du sol à Bari Sine entre 1968 et 2016

4.1.1. Etat de l'occupation du sol à Bari Sine

En 1968, l'occupation du sol dans la zone de Bari Sine était dominée par la culture de mil, avec 55,11%, suivie de la classe arachide avec 29,29%. La végétation arborée occupe 13,29% contre 2,31% pour le bâti.

22 ans plus tard, c'est-à-dire en 1989, on note un renversement de situation avec une forte proportion des champs d'arachide dans la zone, soit 71,91%, contre 16,12% d'occupation associée aux champs de mil. La végétation y occupe 9,44% et seulement 2,54% pour la classe bâti.

Pour finir, en 2016, la zone reste sous la dominance des champs d'arachide (53,32%) et de mil (34,34%). La végétation arborée occupe quant à elle 9,38% et le bâti 2,9%.

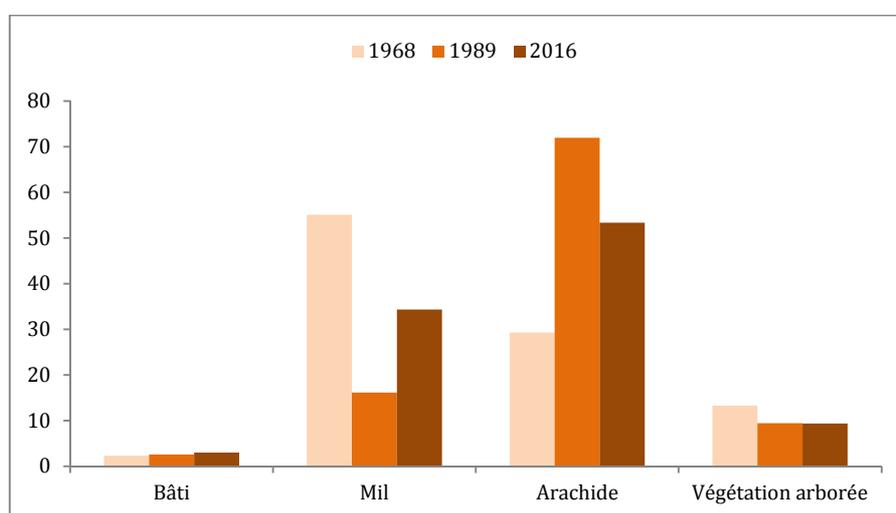


Figure 25 : Etat des classes d'occupation du sol à Bari Sine entre 1968 et 2016

4.1.2. Dynamique de l'occupation du sol à Bari Sine

Durant la période 1968-1989, on note une progression de la superficie des champs d'arachide (+145%) et du bâti dans une moindre mesure (+9,60%). Cette hausse se fait au détriment des classes mil (-70,74%) et végétation arborée (-29,02%), où l'on enregistre une baisse.

Au courant de la dernière période, 1989-2016, la culture de l'arachide et la végétation arborée ont connu une baisse de -25,85% et -0,56% respectivement. Les champs de mil et le bâti enregistrent une hausse de +112,98% et +17,01% respectivement.

4.2. Analyse de l'occupation du sol a Diohine entre 1968 et 2016

4.2.1. Etat de l'occupation du sol à Diohine

Dans le terroir de Diohine en 1968, les champs d'arachide occupent une superficie plus importante (47,15%), suivi des champs de mil (26,75%) et de la végétation arborée (7,55%). Les mares temporaires et le bâti occupent respectivement 4,93% et 1,11% de la surface du terroir.

En 1989, les champs d'arachide et de mil occupent respectivement 52,28% et 27,54% de la surface. L'importance de la jachère était de 10,37%, la végétation arborée avec 7,17% et le bâti avec 1,44%. Les mares temporaires et les bas-fonds occupent chacun environ 0,50%.

Aujourd'hui, en 2016, les champs de mil dominant sur l'étendue du terroir de Diohine avec 52,28%, puis viennent les champs d'arachide avec 22,02%. La superficie occupée par la classe jachère est de 9,21% et 5,54% pour la classe végétation. Les mares temporaires et le bâti occupent dans cet ordre, 1,84% et 1,69%. Le maraîchage occupe environ 1% de la zone d'étude, tandis que les bas-fonds occupent actuellement 0,54%.

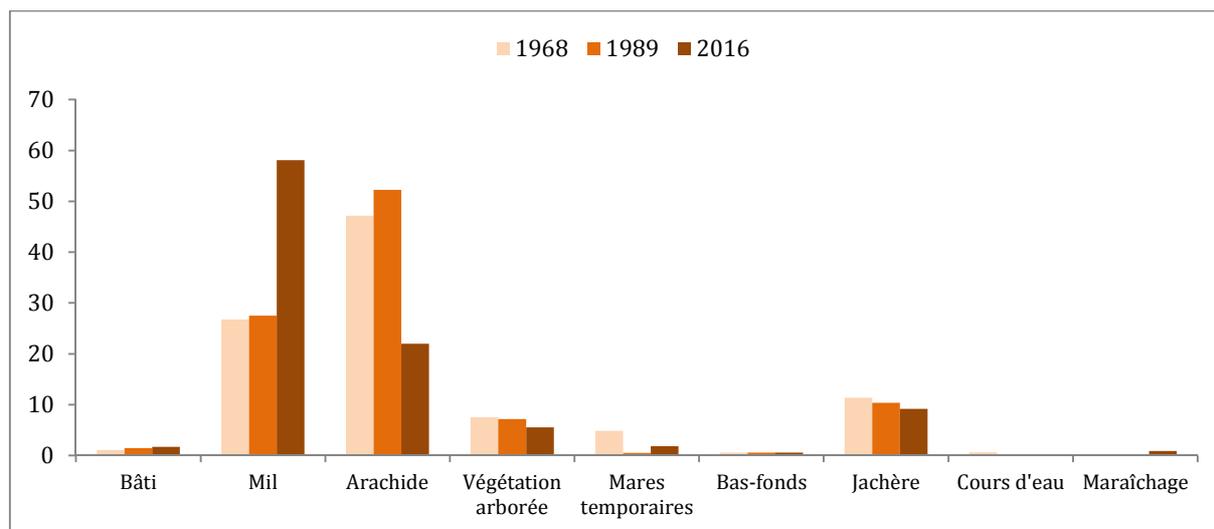


Figure 26 : Etat des classes d'occupation du sol à Diohine entre 1968 et 2016

4.2.2. Dynamique de l'occupation du sol à Diohine

Entre 1968 et 1989, on note une régression de la superficie occupée par les mares temporaires avec -89,16%, du cours d'eau avec -86,89%, de la jachère avec -18,52% et de la végétation arborée avec -13,17%. Mais on note une progression du côté de la superficie occupée par le bâti de +30,06%, des champs d'arachide de +10,89% et des champs de mil de +2,85%.

Durant la dernière période correspondant à la fourchette 1989-2016, une baisse considérable est enregistrée du côté des champs d'arachide avec -57,88%, de la

végétation arborée avec -22,81% et des zones de jachère avec -11,24%. Une hausse importante de la superficie des mares temporaires est notée dans le terroir de Diohine au courant de cette période avec +251,51%, qui sera suivie de celle enregistrée par les champs de mil avec environ +111%. Le bâti de la zone a aussi augmenté de +16,86% et les cours d'eau avec +3,13%.

4.3. Analyse de l'occupation du sol à Diohine entre 1968 et 2016

4.3.1. Etat de l'occupation du sol à Sob

En 1968, la superficie des classes d'occupation du sol dans le terroir de Sob était essentiellement dominée par les champs d'arachide avec 80,55%, suivie de la végétation avec 62,87% et les champs de mil avec 30,60%. Les classes mares temporaires, bas-fond et bâti sont faiblement représentée, avec respectivement 1,71%, 1,20% et 0,96%.

En 1989, le terroir reste dominé par les champs d'arachide avec cette fois-ci 67,13%, puis arrivent les champs de mil occupant ainsi 18,31%, les bas-fonds avec 7,27% et la végétation avec 5,73%. Le bâti occupe 1,11% et les mares temporaires 0,45%.

En 2016, les champs de mil occupent une proportion relativement importante qui est de 54,77%, contre 26,27% pour les champs d'arachide. Le couvert végétal et les bas-fonds occupent respectivement 8,72% et 7,28%. Le bâti occupe 1,77% et 1,18% pour les mares temporaires.

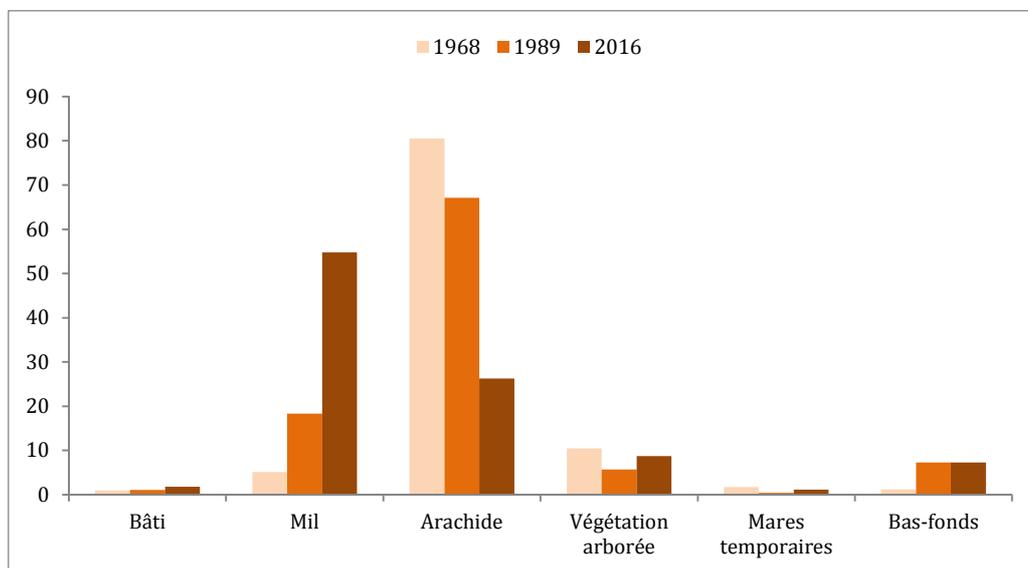


Figure 27 : Etat des classes d'occupation du sol à Sob entre 1968 et 2016

4.3.2. Dynamique de l'occupation du sol à Sob

Entre 1968 et 1989, une progression est notée autour des classes bas-fonds, mil et Bâti avec des progressions de +507,70%, +258,95% et +15,01% respectivement. Une

régression est notée du côté des mares temporaires de -73,42%, de la végétation -45,31% et des champs d'arachide avec -16,66%.

Enfin, entre 1989 et 2016, la superficie occupée par les champs de mil est considérablement augmenté d'environ +200%. Les mares temporaires enregistrent également une hausse de +160%, le bâti de +60% et la végétation arborée +52,11%.

Conclusion

Le suivi de la dynamique de l'occupation du sol est essentiel pour comprendre l'évolution des systèmes et des territoires agricoles. Il peut être réalisé en utilisant divers moyens d'observation de la surface terrestre, allant des capteurs aériens aux capteurs spatiaux. Cette étude illustre, comment partant de données de nature et de sources très différentes, il est possible d'étudier la dynamique de l'occupation du sol sur le temps long (5 décennies). L'étude de cas s'intéresse à la zone couverte par l'observatoire IRD « démographie, santé, environnement » de Niakhar, situé au cœur du bassin arachidier et plus particulièrement à trois terroirs villageois de l'observatoire retenus plus particulièrement pour la diversité de leurs trajectoires agricoles.

A l'échelle globale de l'observatoire de Niakhar (30 terroirs), il ressort de cette étude une tendance globale à la progression des classes « mil » et « bâti » (respectivement +19,85% et +74,38% sur la période 1968-1989 et +11,71% et +20% sur la période 1989-2016) et « maraîchage » plus récemment (+14 85% entre 1989 et 2016). A l'inverse une tendance à la baisse des superficies occupées par les classes « arachide », « jachère » et « bas-fonds » est décrite sur la période récente (1989-2016) avec des baisses de superficie de -18,12, -22,08 et -42,05% respectivement. La régression de la végétation arborée semble ancienne (-19,89% sur la période 1968-1989) et semble se reconstituer ces 20 dernières années (+11,71% sur la période 1989-2016).

A l'échelle des trois terroirs villageois, les tendances notées varient d'un village à l'autre. Dans le village de Bari Sine, qui ne compte que quatre classe, on constate une progression de la classe « arachide » et « bâti » au détriment des classes « mil » et « végétation arborée ». A Diohine et Sob, les tendances observées sont quasi similaires aux tendances observées à l'échelle globale de l'observatoire, à savoir un essor des classes, « mil », « bâti », et « maraîchage » et une régression de la classe « arachide ».

Ces tendances sont cohérentes avec les dynamiques agricoles observées sur le terrain dans les ménages agricoles à savoir un abandon progressif de l'arachide suite à l'effondrement du marché de l'arachide à partir des années 1970 et une régression de l'élevage mobile du fait d'une régression du parc arboré et des zones de pâturage (mise en culture des jachères et des bas-fonds). En réaction les agriculteurs remplacent l'arachide par du mil et développent des activités de rente alternatives moins demandeuses d'espace telles que l'élevage de type embouche à la concession et le maraichage dans les bas-fonds. Les cartes produites dans cette étude pourraient servir

de support de discussion avec les personnes âgées du village pour décrire de façon plus précise la dynamique des systèmes agricoles dans chacun des villages de l'observatoire.

Références

- Benz U., C., Hofmann P., Willhauck G., Lingenfelder I. & Heynen M. (2004), Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remotesensing*, vol. 58, p. 239-258.
- Bonn F. Rochon G. (1992). *Précis de Télédétection - Volume 1, Principes et Méthodes*, Sainte-Foy, PUQ / AUPELF, 485 p
- Bouziani M., Goita K., He D-C. (2010). Automatic change detection of buildings in urban environment from very high spatial resolution images using existing geodatabase and prior knowledge, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65 143-153
- Caloz R., & Collet C. (2001). *Traitement numérique d'image de télédétection*, , Précis de Télédétection-Vol. 3, Presse Universitaire du Québec, 381 pages
- Celestin D. C. (1995). *L'aménagement des bas-fonds rizières*, Ecole Inter-Etats des Techniciens supérieurs de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural, 66 pages
- Cetin M. (2009). A satellite based assessment of the impact of urban expansion around a lagoon, *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 6 (4), 579-590, Autumn 2009 ISSN: 1735-1472
- Delaunay V., Lalou R., (2012). *Culture de la pastèque, du sanio et pratique de l'embouche bovine dans la zone d'étude de Niakhar. Enquête légère juin 2012, rapport d'analyse*. IRD, Dakar, Sénégal, 12 p.
- Delaunay V., Douillot, L., Diallo, A., Dione, D., Trape, J.-F., Medianikov, O., Raoult, D., Sokhna, C. (2013). Profile: the Niakhar Health and Demographic Surveillance System. *International journal of epidemiology* 42, 1002-1011.
- Dieye E., B., Diaw A., T., Sane T., Ndour N. (2008), Evolution spatiale de la mangrove de l'estuaire du Saloum (Sénégal), entre 1972 et 1999 : approche méthodologique par télédétection, *Journal des Sciences et Technologies*, Vol. 6 N°1, Faculté des sciences et Techniques, UCAD, Dakar, 36-48
- Diop A. T. (1991), Les jachères dans l'alimentation des animaux domestiques : importance et mode d'utilisation, Communication présentée au séminaire sur «la jachère en Afrique de l'Ouest» - 3 au 5 décembre 1991- Montpellier
- Hoang K. H., Bernier M. & Villeneuve J-P. (2009). Les changements de l'occupation du sol dans le bassin versant de la rivière Càu (Viêt-Nam). *Essai sur une approche diachronique*, *Revue Télédétection*, 2008, vol. 8, n° 4, p. 227-236
- Ickowicz A., Wispeleare G., De Forgiarini G., Touré I. (1999). Conséquence pour l'élevage de l'évolution de l'emprise des jachères depuis 1970 sur cinq terroirs de Haute-Casamance, Sénégal, 12 p.
- Justine M. (2012). *Caractérisation de la dynamique d'occupation du sol de la ville de Kisangani (R.D. Congo) et sa périphérie entre 2002 et 2010*, Master en Bioingénieur en gestion des forêts et des espaces naturels, Université de Liège, 99 pages
- Karsenty A., Antunes A F. B., Centeno J. S. (2007). Classification orientée objet de la perméabilité des sols en zone urbaine à l'aide d'imagerie très haute résolution et de données laser scanner à Curitiba (Brésil), *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 565-572.
- Landis J. T. & Koch G. G. (1977). The Measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159-174
- Lericollais, A. (1999). *Paysans sereer: dynamiques agraires et mobilités au Sénégal*. IRD Editions, Paris, France.
- Lu D., Mausel P., Brondizio E., Moran E. (2004). Change detection techniques, *International Journal of RemoteSensing*, 25:12, 2365-2401

- Malingreau J., P., Bartholome E., Barisona E. (1987). Surveillance de la production agricole en Afrique de l'Ouest. Nécessité d'une intégration de différentes plates-formes satellitaires, Colloque SPOT-1, utilisation des images, Bilan, résultats, Paris 23-27 Novembre 1987, 18 pages
- Manlay R.J., Ickowicz A., Masse D., Feller C., Richard D. (2004). Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of the West African savanna - II. Element flows and functioning of a mixed-farming system. *Agricultural Systems* 79, 83-107.
- Mas J.F. (2000). Une revue des techniques et méthodes de télédétection du changement, *Canadian Journal of Remote Sensing / Journal Canadien de télédétection* Vol. 26(4), pp. 349-369. 3 tables, 5 figures
- Muller F., & DE Bethune S. (2000). La fusion, d'images, *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 38, 2000/1, 79-94.
- Paradis G., Lorenzoni-Pietri C., Pozzo Di Borgo M-L., Sorba L. (2009). La végétation des mares temporaires méditerranéennes de la Corse, *Bulletin de la Société des sciences historiques et naturelles de la Corse* N° 728-729
- Raunet M. (1985), Bas-fonds et riziculture en Afrique Approche structurale comparative, *L'agronomie Tropicale*, 40- 3
- Ressources Naturelles Canada. Rehaussement des images, <http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/geomatique/imagerie-satellitaire-photos-aeriennes/imagerie-satellitaire-produits/ressources-educatives/9390>
- Sparfel L., Gourmelon F. Le Berre I. (2008), Approche orientée-objet de l'occupation des sols en zone côtière, *Revue Télédétection*, vol. 8, n° 4, p. 237-256
- Tappan, G.G., Hadj, A., Wood, E.C., Lietzow, R.W. (2000). Use of Argon, Corona, and Landsat imagery to assess 30 years of land resource changes in west-central Senegal. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 66, 727-736.
- Tappan, G.G., Sall, M., Wood, E.C., Cushing, M., (2004). Ecoregions and land cover trends in Senegal. *Journal of Arid Environments* 59, 427-462.
- Thomas C., (2006). Fusion d'images de résolutions spatiales différentes, Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Ecole des Mines de Paris, Spécialité "Informatique et Temps Réel, Robotique, Automatique", 196 pages
- Tschakert, P., Tappan, G. (2004). The social context of carbon sequestration: considerations from a multi-scale environmental history of the Old Peanut Basin of Senegal. *Journal of Arid Environments* 59, 535-564.
- Vayssières J., Blanchard M., Vigne M., Masse D., Albrecht A., Vall E., Pocard-Chapuis R., Corniaux C., Lecomte P. (2015). The risk of declines in soil fertility and crop productivity due to decreased livestock presence in agropastoral zones of West Africa. In: 5th Farming System Design Conference, Montpellier, France, 7-10 September, 2 pp.
- Yoon G. W., Cho S. I., Jeong S., Park J. H. (2010), Object oriented classification using Landsat images, p. 1 -3

Annexes

Confusion Matrix: F:\CIRAD\A évaluer\Classification 1968\Classification 1968.dat

Overall Accuracy = (175/230) 76.0870%
Kappa Coefficient = 0.7239

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Bâti	0.00	22.22	0/14	4/18
Cours d'eau	0.00	20.00	0/16	4/20
Jachère	28.57	44.44	2/7	4/9
Route princip	22.22	30.00	2/9	3/10
Mares tempora	10.34	23.53	3/29	8/34
Végétation	14.29	16.67	5/35	6/36
Mil	36.59	23.53	15/41	8/34
Arachide	48.89	32.35	22/45	11/34
Bas fonds	17.65	20.00	6/34	7/35

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Bâti	77.78	100.00	14/18	14/14
Cours d'eau	80.00	100.00	16/20	16/16
Jachère	55.56	71.43	5/9	5/7
Route princip	70.00	77.78	7/10	7/9
Mares tempora	76.47	89.66	26/34	26/29
Végétation	83.33	85.71	30/36	30/35
Mil	76.47	63.41	26/34	26/41
Arachide	67.65	51.11	23/34	23/45
Bas fonds	80.00	82.35	28/35	28/34

Annexe 1 : Matrice de confusion de la classification de 1968 (Corona)

Confusion Matrix: F:\CIRAD\A évaluer\Classification 1989\Classification 1989.dat

Overall Accuracy = (215/269) 79.9257%
Kappa Coefficient = 0.7691

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Bâti	0.00	11.36	0/39	5/44
Maraîchage	0.00	16.67	0/5	1/6
Cours d'eau	0.00	4.17	0/23	1/24
Jachère	50.00	25.00	6/12	2/8
Route princip	0.00	27.27	0/8	3/11
Mares tempora	0.00	20.83	0/19	5/24
Végétation	5.00	22.45	2/40	11/49
Mil	38.46	17.95	20/52	7/39
Arachide	38.46	20.00	20/52	8/40
Bas fonds	31.58	45.83	6/19	11/24

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Bâti	88.64	100.00	39/44	39/39
Maraîchage	83.33	100.00	5/6	5/5
Cours d'eau	95.83	100.00	23/24	23/23
Jachère	75.00	50.00	6/8	6/12
Route princip	72.73	100.00	8/11	8/8
Mares tempora	79.17	100.00	19/24	19/19
Végétation	77.55	95.00	38/49	38/40
Mil	82.05	61.54	32/39	32/52
Arachide	80.00	61.54	32/40	32/52
Bas fonds	54.17	68.42	13/24	13/19

Annexe 2 : Matrice de confusion de la classification de 1989 (JICA)

Confusion Matrix: F:\CIRAD\A évaluer\Classification 2016\Classification 2016.dat

Overall Accuracy = (356/383) 92.9504%

Kappa Coefficient = 0.9212

Class	Ground Truth (Percent)					
	Bâti	Maraichage	Cours d'eau	Jachère	Mares tempora	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bâti	96.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maraichage	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cours d'eau	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00
Jachère	0.00	0.00	0.00	88.89	0.00	0.00
Mares tempora	0.00	0.00	0.00	0.00	94.44	0.00
Végétation	3.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mil	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	0.00
Arachide	0.00	0.00	0.00	7.41	0.00	0.00
Bas fonds	0.00	0.00	0.00	0.00	5.56	0.00
Route princip	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Class	Ground Truth (Percent)					
	Végétation	Champs de mil	Champs d'arac	Bas-fonds	Route princip	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bâti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maraichage	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cours d'eau	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jachère	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mares tempora	0.00	0.00	0.00	4.44	0.00	0.00
Végétation	94.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mil	5.56	84.62	10.20	0.00	0.00	0.00
Arachide	0.00	15.38	89.80	0.00	14.29	0.00
Bas fonds	0.00	0.00	0.00	95.56	0.00	0.00
Route princip	0.00	0.00	0.00	0.00	85.71	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Annexe 3 : Matrice de confusion de la classification de 2016 (Spot7)