



HAL
open science

Dynamique spatiale et structure du paysage dans la commune de Zè, Bénin

Oreste Tente, Joseph Oloukoi, Inoussa Toko

► **To cite this version:**

Oreste Tente, Joseph Oloukoi, Inoussa Toko. Dynamique spatiale et structure du paysage dans la commune de Zè, Bénin. Conférence OSFACO: Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Mar 2019, Cotonou, Bénin. hal-02189544

HAL Id: hal-02189544

<https://hal.science/hal-02189544v1>

Submitted on 19 Jul 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dynamique spatiale et structure du paysage dans la commune de Zè, Bénin

TENTE V. Oreste ^(1,2, *), OLOUKOI Joseph ⁽¹⁾, TOKO M. Inoussa ⁽¹⁾

⁽¹⁾ AFRIGIST, Obafemi Awolowo University Campus. Ilé-Ifè. Osun State, Nigéria

⁽²⁾ Laboratoire de Biogéographie et d'Expertise Environnementale (LABEE), Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

(*) Auteur correspondant : TENTE V. Oreste, oreste.tente@gmail.com

Résumé

Au Bénin, l'altération du couvert végétal par les actions anthropiques entraîne des modifications au sein de la configuration du paysage. Le présent travail a pour objectif d'évaluer les liaisons entre les éléments du paysage, leurs influences réciproques et les principales transformations observées dans le temps et dans l'espace pour une gestion rationnelle et durable de la commune de Zè au Bénin. Il a été possible à travers la combinaison des techniques de la télédétection, des SIG et de l'écologie du paysage. Ainsi, les images satellitaires TM (1986), ETM+ (2000) et OLI - TIRS (2018) de Landsat ont été utilisées et traitées par la méthode de classification supervisée avec l'algorithme de Maximum de vraisemblance avec Envi 5.2. Des indices qui intègrent la mesure de la composition et de la configuration paysagère ont été sélectionnés pour l'analyse quantitative du paysage à l'aide du logiciel Fragstats 4.2. Il a été observé des changements spatio-temporels dans le paysage. Les mosaïques de champs et jachères qui occupaient 27,59 % en 1986 ont progressé en 2018 avec 43,80 % tandis que les forêts dégradées au cours de ces mêmes dates ont régressé respectivement de 19,34 % à 0,65 %. Cela a entraîné la diminution de 37 % du nombre total de taches et celles de l'indice de Shannon qui est passé de 1,77 bits à 1,50 bits respectivement de 1986 à 2018. De ce fait, il faut retenir une tendance d'homogénéisation et de fragmentation du paysage naturel qui s'est transformé en paysage artificiel par agrégation. Cette tendance sera maintenue si aucune mesure n'est prise.

Mots clés : Dynamique, paysage, structure spatiale, commune de Zè.

Abstract

In Benin, the alteration of the vegetation cover by anthropogenic actions leads to modifications within the landscape configuration. The present work aims to assess the links between the elements of the landscape, their mutual influences and the main transformations observed in time and space for a rational and sustainable management of the municipality of Zè in Benin. It has been possible through the combination of remote sensing techniques, GIS and landscape ecology. Landsat satellite images TM (1986), ETM + (2000) and OLI - TIRS (2018) were used and processed by the supervised classification method with the Maximum Likelihood algorithm. Indices that integrate the composition and landscape configuration measurement were selected for quantitative landscape analysis using the Fragstats 4.2 software. Spatio-temporal changes in the landscape are observed. Field mosaics and fallow land, which occupied 27.59% in 1986, increased in 2018 with 43.80% while the degraded forests during these same dates decreased respectively from 19.34% to 0.65%. This resulted in a 37% decrease in the total number of spots and a decrease in the Shannon index from 1.77 bits to 1.50 bits, respectively, from 1986 to 2018. As a result, there is a trend towards Homogenization and fragmentation of the natural landscape that has turned into an artificial landscape by aggregation. This trend will be continuous if no action is taken.

Keywords: Dynamics, landscape, spatial structure, commune of Zè.

1. INTRODUCTION

Les milieux naturels sont instables, dynamiques et évoluent à se mettre en équilibre. En effet, le paysage est vu comme une partie de la surface de la terre qui est formée d'un complexe d'interaction entre les roches, les eaux, l'air, les plantes, les animaux et les hommes, qui, dans son apparence extérieure forme un tout perceptible (Houndagba, 2014). Cette perception change sous l'influence de ces grands facteurs qui le composent. Par conséquent, la maîtrise du paysage et des facteurs influençant son équilibre, s'avère impérieuse pour une compréhension de l'évolution des unités d'un paysage.

Au Bénin, ces changements peuvent être considérés comme l'un des éléments importants influant sur l'équilibre écologique au niveau du paysage.

La compréhension du fonctionnement des systèmes environnementaux, de leur évolution dans le temps et de la réponse de leur structure aux processus de perturbation, est nécessaire pour définir des lignes d'action et de gestion futures au Bénin en général et en particulier dans la commune de Zè.

Pour évaluer qualitativement et quantitativement les changements au niveau du paysage et les relations entre ses composantes physique, écologique et sociale, l'écologie du paysage est une approche idéale (Forman, 1995 ; Burel et Baudry, 2003 ; Casado, 2007).

Plusieurs études ont montré l'évaluation des changements à partir des transformations enregistrées au niveau du paysage, dans l'analyse du paysage. (Feranec *et al.*, 2000 ; Fujihara et Kikuchi, 2005 ; Lasanta *et al.*, 2006 ; Haase *et al.*, 2007 ; Houndagba, 2014).

Les activités humaines associées à bien d'autres facteurs biophysiques peuvent contribuer au maintien de la diversité biologique ou à la destruction d'habitats, la banalisation des milieux et à la disparition d'espèces (Allagbé, 2011). L'agriculture constitue le principal facteur de dégradation de ces écosystèmes. Ainsi, les agriculteurs agissent sur la répartition spatiale et sur la composition floristique (Sounon Bouko *et al.*, 2007). Ils diminuent de manière significative la richesse spécifique de la flore ligneuse et désorganisent la structure naturelle des peuplements. Le couvert forestier est alors fortement altéré par les actions anthropiques (Tenté, 2015). Cela modifie profondément la configuration du paysage. Ainsi, si l'on s'intéresse à la sauvegarde des espèces qui dépendent de cette forme d'habitat, la fragmentation du couvert forestier est la principale variable à considérer (Bamba *et al.*, 2010).

La présente étude intègre la reconstruction de la structure du paysage et l'analyse de sa dynamique avec des indices de structure spatiale dans la commune de Zè.

2. DONNÉES ET MÉTHODES

2.1. Cadre d'étude

La commune de Zè, est située au nord-est du département de l'Atlantique. Elle est comprise entre 6°32' et 6°58' latitude nord d'une part et entre 2°12' et 2° 26' longitude est d'autre part. Avec une superficie de 653km². Elle est limitée au nord par les communes de Zogbodomey et de Toffo, à l'est par les Communes d'Adjohoun et de Bonou, au sud par les Communes d'Abomey-Calavi et de Tori-bossito et à l'ouest par la Commune d'Allada (figure 1).

Le relief de la Commune de Zè est un élément du vaste plateau d'Allada, d'une altitude moyenne de 100 m qui s'incline légèrement vers la côte et, surplombe au nord la dépression de la Lama. La Commune est dominée par les sols faiblement ferrallitiques communément appelés terre de barre. Elles sont de teinte rouge et servent de support à toutes les cultures pluviales. Les sols hydromorphes à horizon superficiel gris assez riches jouxtent des plans d'eau et bas-fonds. Le réseau hydrographique traversant ce plateau n'est pas dense et est très localisé. En effet, seule la zone du nord est drainée par un affluent du fleuve Ouémé, la Sô (ONAB, 2005).

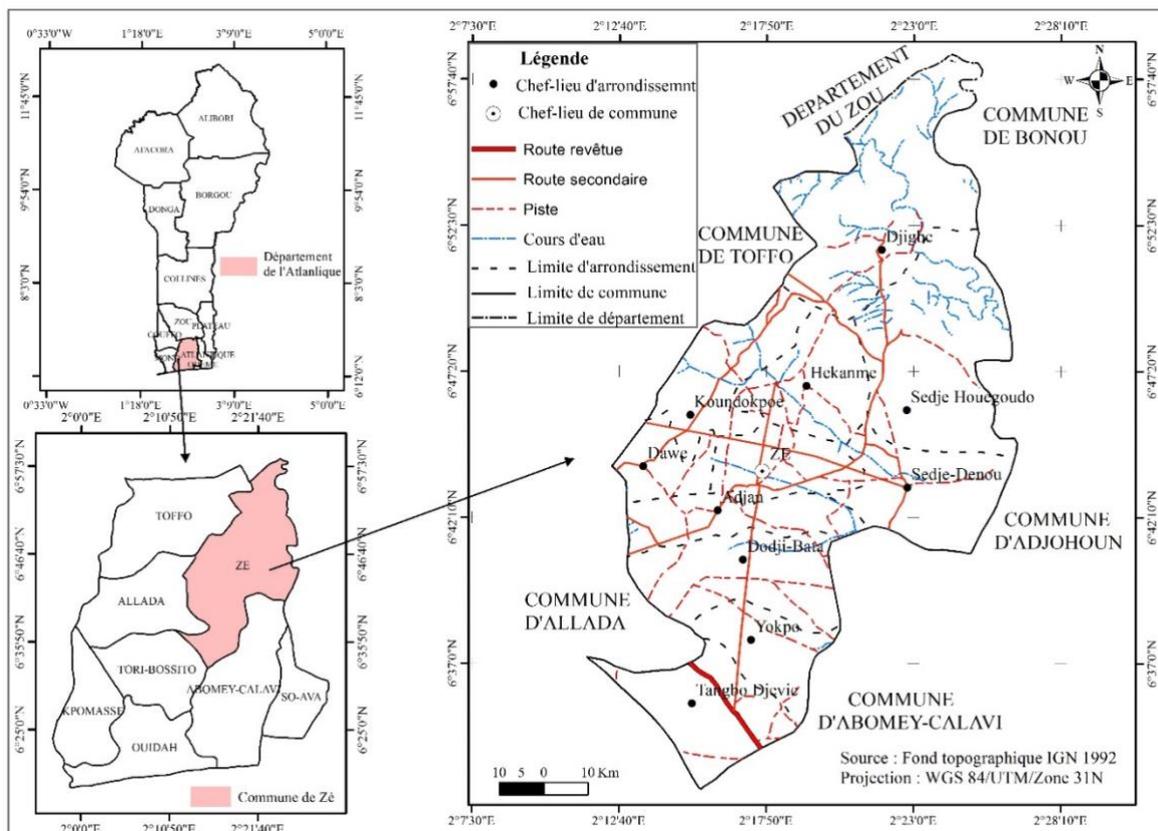


Figure 1 : Situation géographique de la commune de Zè

2.2. Données utilisées

Les données utilisées sont présentées dans le tableau 1 avec leurs caractéristiques respectives.

Tableau 1 : Caractéristiques des données

Données	Format	Echelle ou resolution	Source	Utilité
Fichiers de formes	shape	1/200000	IGN Bénin	Extraction des limites de la zone d'étude
Landsat TM	Géotiff	30m	https://earthexplorer.usgs.gov	Cartographie de l'occupation du sol
Landsat ETM+				
Landsat OLI-TIRS				

2.3. Méthode

2.3.1. Traitement numérique des images

Plusieurs opérations ont été faites pour voir la dynamique de spatio-temporelle dans la commune de Zè.

Prétraitement

Cette étape a permis de faire l'importation des images, les corrections géométriques et radiométriques et l'extraction du secteur d'étude. Cela a été fait à partir de Envi 5.2.

Composition colorée

C'est une combinaison de trois bandes spectrales d'une image multi-spectrale en procédant à leur affectation respective aux trois couleurs primaire (rouge, vert et bleu) pour une meilleure distinction de nuance. Elle permet l'interprétation de l'image à travers la signature spectrale de l'objet. Ainsi, la composition colorée fausse couleur standard de ETM+ est 432 tandis que celle de OLI-TIRS est 543 est utilisé dans le cadre de cette étude. Cette composition combine respectivement les bandes du proche infrarouge, du rouge et du vert du capteur au plan d'affichage rouge, vert et bleu de l'écran. Elle a permis d'obtenir 8 classes d'occupation du sol qui ont été validé par un contrôle terrain.

Classification supervisée

Cette opération consiste à choisir dans un premier temps, des parcelles d'entraînement (ROI) qui sont des regroupements de pixels purs caractéristiques d'une occupation du sol donnée en se basant sur la connaissance du terrain et sur la signature spectrale. Ensuite, l'algorithme Maximum de Vraisemblance a été utilisé pour classifier les images. Il estime la moyenne et la variance à partir des sites

d'entraînement de l'image. Cela consiste à choisir les pixels qui correspondent aux valeurs de la moyenne et de la variance. Cet algorithme offre une bonne capacité de généralisation.

Evaluation de la classification

Les résultats de la classification des trois dates ont été validés par la matrice de confusion, qui montre la précision de la classification. Cette matrice a été possible grâce à la comparaison de l'image classifiée aux 33 points de contrôle terrain. Ces points sont des zones confuses mais qui ont été vérifiées sur le terrain. Ainsi, l'indice cartographique de validation (ICV), l'indice de pureté des classes (IPC) l'indice statistique de validation (ISV), l'indice de précision total (IPT) ou Précision globale les erreurs d'omission et les erreurs de commission ont été calculées.

L'indice de pureté des classes (IPC) est le rapport du nombre total des pixels d'un thème bien classés dans une classe C_i par le nombre total des pixels de la classe C_i . Il est aussi appelé exactitude du producteur.

IPC = Nombre de pixels bien classés dans une classe C_i / Nombre total de pixels de la classe C_i

Il permet de calculer les erreurs d'omission dont les pixels de référence terrain sont attribués à une autre classe.

Erreur d'omission = 1 - IPC ou Exactitude du producteur

L'Indice Cartographique de Validation (ICV) est le rapport du nombre total des pixels d'un thème bien classés dans sa classe C_i par le nombre total des pixels du même thème T_i sur le terrain. Il est appelé aussi précision cartographique des usagers.

ICV = Nombre total des pixels d'un thème bien classés dans sa classe C_i / Nombre total des pixels du thème T_i sur le terrain.

Il permet de calculer les erreurs de commission dont les pixels d'une classe lui sont attribués par erreur.

Erreur de commission = 1 - ICV ou Précision cartographique des usagers

L'Indice de Précision Total (IPT) ou Précision globale

IPT = Somme des pixels correctement classés / (divisé) Total des pixels de la matrice

Cet indice permet de valider la classification supervisée.

Vectorisation

A partir du logiciel Envi 5.2, les images classifiées ont été vectorisées, transformées en shapefile et exportées dans ArcGIS 10.5, pour la visualisation cartographique de l'occupation du sol.

Détection de changements

Les matrices de transition ont permis de mettre en évidence les différentes formes de conversion qu'ont subies les unités paysagères entre 1986-2000 et entre 2000-2018. Elles ont permis de quantifier les changements en utilisant les superficies. Les superficies de ces différentes classes d'occupation du sol ont été générées dans le logiciel ArcGIS 10.5.

2.3.2. Calcul des indices de structures spatiales

Les cartes d'occupation du sol ont été les données de base pour calculer les indices de structures spatiales (métriques) propres de l'écologie du paysage. Le logiciel Fragstat 4.2 a permis de calculer ces métriques. Cela a conduit à la quantification de la structure du paysage à l'échelle globale du paysage et à l'échelle de chaque classe. Pour y parvenir, les cartes d'occupation du sol des trois dates ont été converties en raster sous format img, ce qui a amené à sélectionner et de calculer ceux qui sont adaptés à la présente étude.

Le calcul de ces métriques a donné une idée sur la présence et l'abondance de taches (composition du paysage) et la distribution et arrangement spatial des taches (configuration paysagère). Dans le cadre de cette étude, les indices calculés sont :

Nombre de taches (NP)

Il mesure le nombre de taches d'une occupation du sol. Cet indice renseigne sur la fragmentation d'une classe entre deux périodes. L'augmentation du nombre de taches d'une classe peut être due à la fragmentation de cette classe (Davidson, 1998).

$$\mathbf{NP} = n_i$$

Surface occupée (CA)

Elle mesure la surface (hectare) occupée pour chaque classe d'occupation du sol.

$$\mathbf{CA} = \sum_{j=1}^{n_i} a_{ij} \left(\frac{1}{10\,000} \right)$$

Proportion du paysage (PLAND)

Le PLAND mesure la proportion du paysage (%) occupée par des types d'occupation du sol. Il donne une idée de dominance des classes d'occupation.

$$\mathbf{PLAND} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} a_{ij}}{A} (100)$$

Pourcentage total du paysage (LPI)

LPI mesure la surface (%) de la tâche la plus grande pour chaque classe d'occupation du sol. Les grandes valeurs de LPI indiquent une forte dominance d'une tâche unique.

$$\mathbf{LPI} = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$$

Nombre de classes (PR)

PR mesure le nombre de classe d'occupation du sol présent dans le paysage. Si PR s'augmente alors le paysage s'accroît en hétérogénéité.

$$\mathbf{PR} = m$$

Indice de Shannon (SHDI)

SHDI mesure l'hétérogénéité du paysage (bits) combinant la richesse et la régularité. Une valeur de cet indice égale à 0 indique un paysage homogène.

$$\mathbf{SHDI} = \sum_{i=1}^m (P_i * \ln P_i)$$

Taille moyenne des taches (MPS)

MPS mesure la surface moyenne des taches (hectares) de chaque classe. Cette valeur diminue en tant le paysage se présente de plus en plus fragmenté.

$$\mathbf{MPS} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}}{n_i}$$

Variabilité de la taille moyenne des taches (SD, CV)

SD et CV mesurent la variabilité de la taille des taches par rapport à la moyenne. Petites valeurs de variabilité indiquent des paysages uniformes. Ces mesures servent à comparer les variations dans le temps.

$$\mathbf{SD} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n_i} [X_{ij} - (\frac{\sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}}{n_i})]^2}$$

$$\mathbf{CV} = \frac{SD}{MNS} (100)$$

Densité des contours (ED)

ED mesure la densité des contours (mètre par hectare) des taches de chaque de classe d'occupation du sol. Les valeurs élevées de ED accompagnées par des faibles valeurs de surface indiquent une haute fragmentation du paysage en plusieurs petites taches.

$$\mathbf{ED} = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10\ 000)$$

Indice de compacité des taches (AI)

AI mesure l'arrangement spatial des taches (%) correspondantes aux types d'occupation du sol. Une valeur AI élevée indique des unités adjacentes et donc des taches agrégées.

$$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max - g_{ii}} \right] (100)$$

Indice de distribution de l'adjacence (IJI)

IJI mesure l'adjacence entre types d'occupation du sol différents. Une valeur IJI égale à 100 indique une classe adjacente avec toutes les autres classes.

$$IJI = \frac{-\sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m-1)} (100)$$

Indice de contagion (CONTAG)

CONTAG mesure l'agrégation des taches au niveau du paysage. Hauts indices de contagion conduisent à la colonisation et à la diffusion potentielle des perturbations.

$$CONTAG = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[(P_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right] \cdot \left[\ln (P_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] (100)$$

3. RESULTATS

3.1. Dynamique spatio-temporelle du paysage dans la commune de Zè

L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol passe par la description des différents états du paysage en 1986, 2000 et 2018 puis l'évaluation des changements intervenus. La validation des résultats obtenus des classifications a été faite par les matrices de confusion, les indices de pureté de classe, les indices de validation cartographique (tableaux 2, 3 et 4). Les croisements de ces cartes d'occupation du sol ont donné les statistiques de changement et les matrices traduisant les conversions des différentes unités.

Le tableau 2 présente la matrice de confusion (en Pixel) et les calculs d'erreurs (en %) de l'image Landsat TM de 1986. Les classes les plus confuses sont les agglomérations et les forêts dégradées tandis que les moins confuses sont les mosaïques de champs et jachères et les plans d'eau. Une précision globale de 85,50 % est notées, ce qui justifie la validité de cette classification.

Tableau 2 : Matrice de confusion de 1986

Classes	PE	PT	MCJ	MCJP	PM	AGG	SAA	FD	Total	IPC	EC
PE	476	0	0	0	0	0	0	0	476	1	0
PT	1	861	0	15	0	0	0	1	878	0.98	1.94
MCJ	0	0	407	0	0	0	0	0	407	1	0
MCJP	0	43	0	905	6	0	0	40	994	0.91	8.95
PM	1	0	0	24	714	45	5	19	808	0.88	11.63
AGG	0	0	0	0	100	610	225	17	952	0.64	35.92
SAA	0	0	0	0	2	137	536	19	694	0.77	22.77
FD	1	3	0	18	48	27	11	254	362	0.70	29.83
Total	479	907	407	962	870	819	777	350	5571		
EO	0.63	5.07	0	5.93	17.93	25.52	31.02	27.43			
IVC	0.99	0.95	1.00	0.94	0.82	0.74	0.69	0.73			
Précision globale	85.50%										

Légende : PE : Plan d'eau, PT : Plantation, MCJ : Mosaique de champs et jachères, MCJP : Mosaique de champs et jachères sous palmier, PM : Prairie marécageuse, AGG : Agglomération, SAA : Savane arborée et arbustive, FD : Forêt dégradée, IPC : Indice de Pureté des Classes, IVC : Indice de Validité Cartographique, EC : Erreur de Commission, EO : Erreur d'Omission.

Tableau 3 : Matrice de confusion 2000

Classes	PE	PT	MCJ	MCJP	PM	AGG	SAA	FD	Total	IPC	EC
PE	651	0	0	0	0	0	0	0	651	1	0
PT	0	744	0	90	7	0	0	0	841	0.88	11.53
MCJ	8	0	441	8	0	5	0	0	464	0.95	4.96
MCJP	0	129	0	779	1	0	0	31	940	0.83	17.13
PM	2	11	0	1	664	1	0	0	679	0.98	2.21
AGG	0	0	4	0	0	842	89	2	937	0.90	10.14
SAA	0	0	3	0	0	186	626	0	815	0.77	23.19
FD	1	0	2	54	2	0	1	448	508	0.88	11.81
Total	662	884	450	932	674	1029	721	483	5835		
EO	1.66	15.84	2	16.42	1.48	18.17	13.18	7.25			
IVC	0.98	0.84	0.98	0.84	0.99	0.82	0.87	0.93			
Précision globale	89.03%										

Légende : PE : Plan d'eau, PT : Plantation, MCJ : Mosaique de champs et jachères, MCJP : Mosaique de champs et jachères sous palmier, PM : Prairie marécageuse, AGG : Agglomération, SAA : Savane arborée et arbustive, FD : Forêt dégradée, IPC : Indice de Pureté des Classes, IVC : Indice de Validité Cartographique, EC : Erreur de Commission, EO : Erreur d'Omission.

Le tableau 3 présente les classes les plus confuses qui sont les savanes arborées et arbustives et les Mosaïque de champs et jachères sous palmier tandis que les moins confuses sont les plans d'eau et les prairies marécageuses. La précision globale de cette classification est de 89,03 % qui est acceptable pour valider la classification de l'image de 2000.

Le tableau 4 indique les forêts dégradées, les savanes arborées et arbustives et les plantations sont plus confuses que les autres classes. Cette classification est validée car elle donne une précision globale de 98,72 %.

Tableau 4 : Matrice de confusion 2018

Classes	PE	PT	MCJ	MCJP	PM	AGG	SAA	FD	Total	IPC	EC
PE	586	0	0	0	0	0	0	0	586	1	0
PT	0	1057	0	0	0	0	32	1	1090	0.97	3.03
MCJ	0	0	999	0	0	0	0	0	999	1	0
MCJP	0	0	0	1036	0	0	0	0	1036	1	0
PM	0	0	0	0	899	0	0	0	899	1	0
AGG	5	0	6	0	0	794	0	0	805	0.99	1.37
SAA	0	24	0	0	0	0	489	0	513	0.95	4.68
FD	0	8	0	4	0	0	1	379	392	0.97	3.32
Total	591	1089	1005	1040	899	794	522	380	6320		
EO	0.85	2.94	0.6	0.38	0	0	6.32	0.26			
IVC	0.99	0.97	0.99	1	1	1	0.94	1			
Précision globale	98.72%										

Légende : PE : Plan d'eau, PT : Plantation, MCJ : Mosaïque de champs et jachères, MCJP : Mosaïque de champs et jachères sous palmier, PM : Prairie marécageuse, AGG : Agglomération, SAA : Savane arborée et arbustive, FD : Forêt dégradée, IPC : Indice de Pureté des Classes, IVC : Indice de Validité Cartographique, EC : Erreur de Commission, EO : Erreur d'Omission.

3.1.1. Occupation du sol en 1986

L'interprétation visuelle et la classification supervisée de l'image Landsat TM de 1986 a permis de faire la cartographie de l'occupation du sol de la commune de Zè (figure 2). Comme classes identifiées on a : Plan d'eau, Prairie marécageuse, Agglomération, Plantation, Mosaïque de champs et jachères, Mosaïque de champs et jachères sous palmiers, Savane arborée et arbustive et Forêt dégradée.

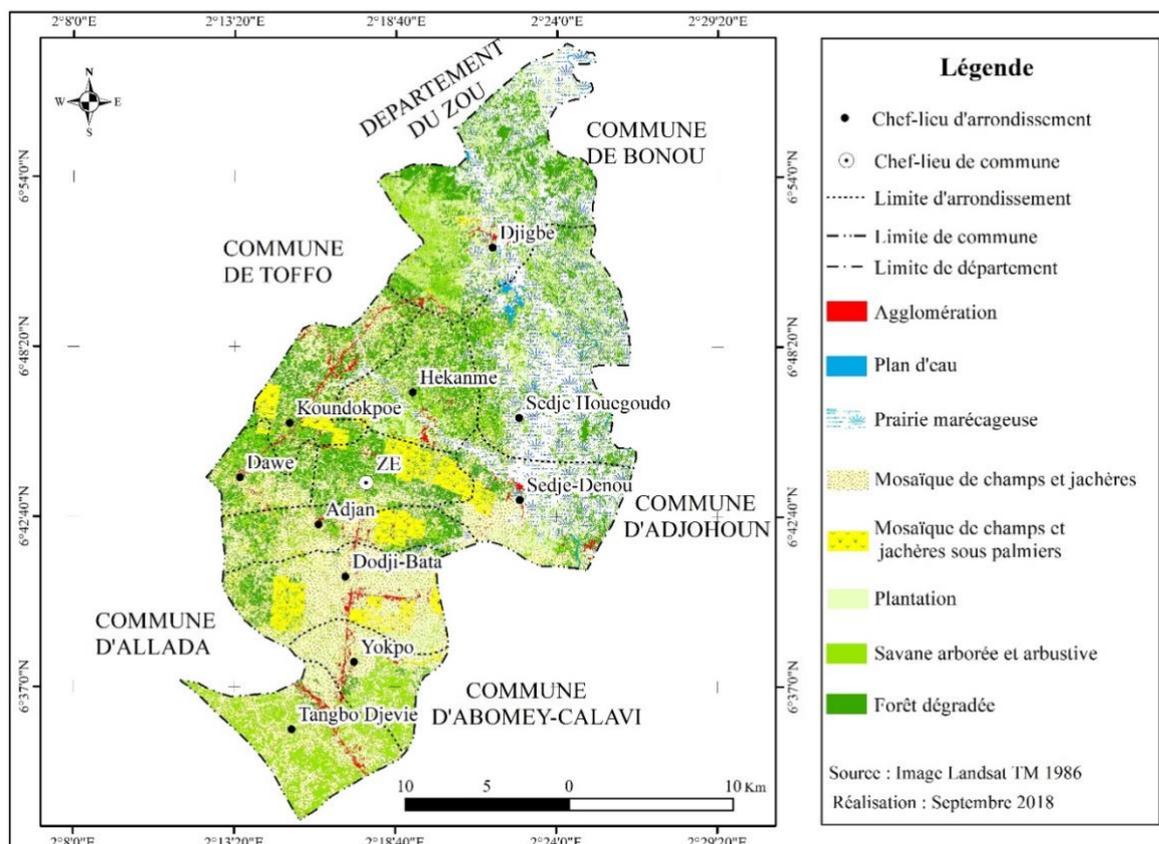


Figure 2 : Occupation du sol de la commune de Zè en 1986

La figure 2 présente les différentes classes d'occupation du sol de la commune de Zè en 1986 qui occupent différentes proportions de la superficie totale de la commune. Les mosaïques de champs et jachères ont la superficie la plus élevée (27,59 %) sont situées au sud et au centre de la commune ensuite viennent les prairies marécageuses (19,74 %), qui sont principalement au nord-est de la commune. Les forêts dégradées avec 19,34 % se trouvent au centre et au nord-ouest tandis que les savanes arborée et arbustive (13,44 %) sont au sud. Les plantations (11,58 %) et les agglomérations (1,48 %) quant à elles sont éparpillées alors que les mosaïques de champs et jachères sous palmiers (6,29 %) sont au centre et les plans d'eau (0,54 %) au nord-est.

3.1.2. Occupation du sol en 2000

La figure 3 montre en 2000 les mosaïques de champs et jachères situés dans toute la commune sauf au nord-est domine les autres unités avec 35,50 % de la superficie totale. Les prairies marécageuses qui ont progressé (22,18 %) sont toujours au nord-est ainsi que les mosaïques de champs et jachères sous palmiers (7,03 %) qui se sont aussi étendus au centre. Les forêts dégradées situées au nord-ouest ont régressé avec 13,10 % de même que les plantations (9,52 %). Les savanes arborée et arbustive et les agglomérations sont éparpillées et occupent respectivement 9,95 % et 2,08 %. Les plans d'eau présents au nord-est avec 0,64 %. La figure 3 montre les différentes classes d'occupation du sol en 2000.

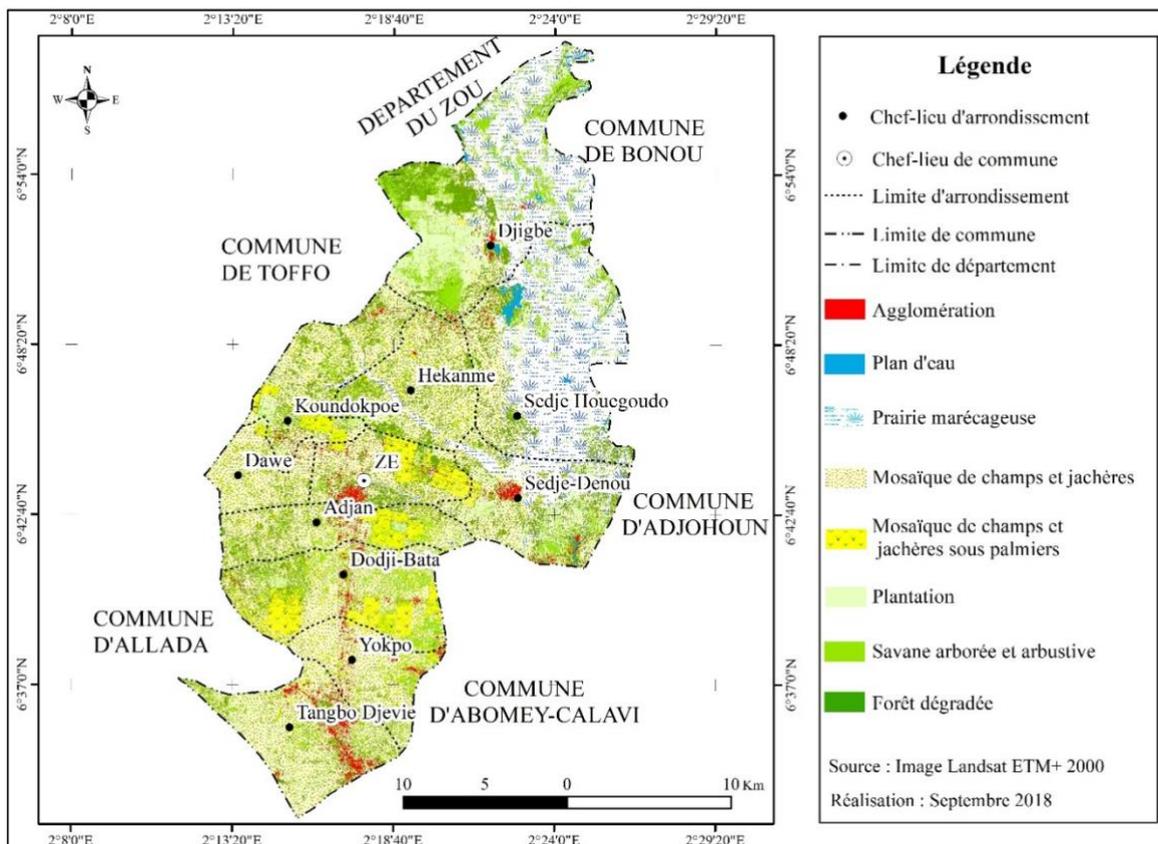


Figure 1 : Occupation du sol de la commune de Zè en 2000

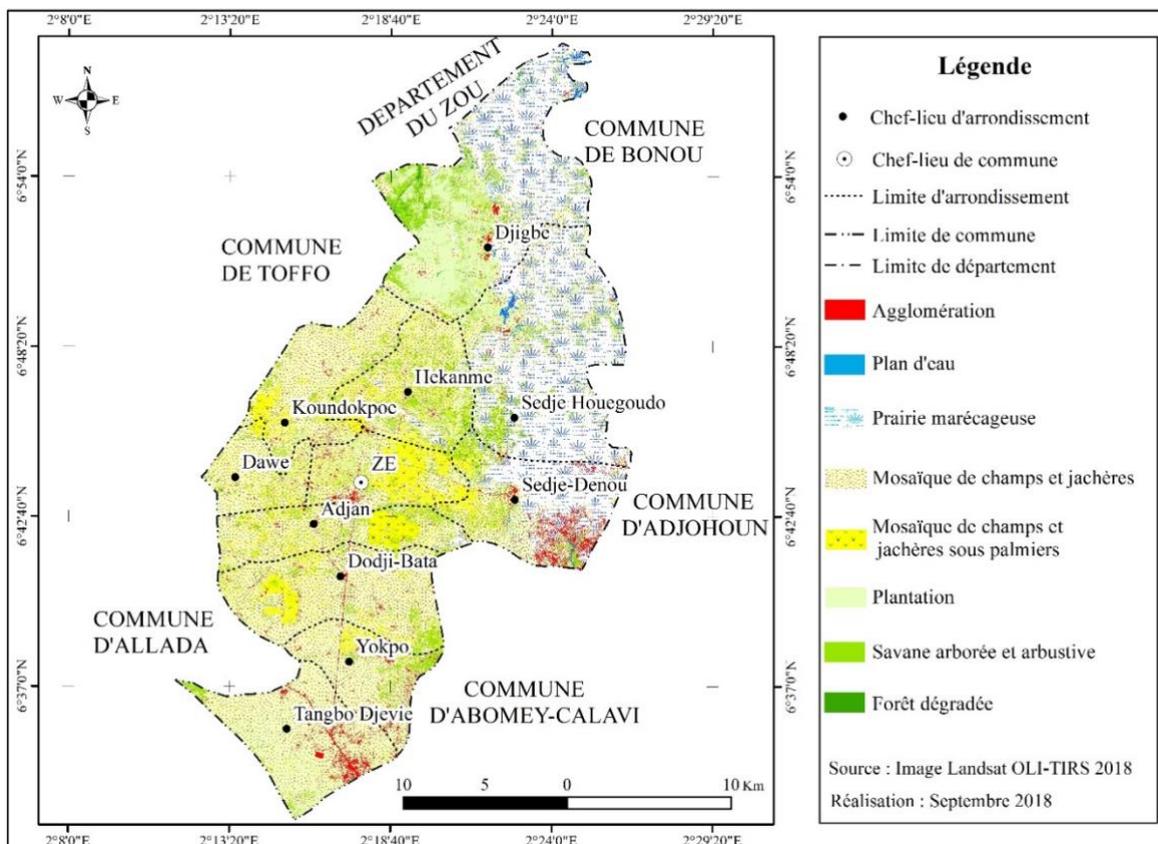


Figure 4 : Occupation du sol de la commune de Zè en 2018

3.1.3. Occupation du sol en 2018

La classification supervisée de l'image Landsat OLI-TIRS 2018 a permis d'obtenir la cartographie de l'occupation du sol (figure 4). Comme unités, on a les mosaïques de champs et jachères (43,80 %), les prairies marécageuses (26,39 %), les mosaïques de champs et jachères sous palmiers (9,32 %) et les agglomérations (2,73 %) ont augmenté. Les forêts dégradées (0,65 %), les savanes arborée et arbustive (7,70 %), les plantations (9,01 %) et les plans d'eau (0,40 %) ont diminué.

De la figure 4 on retient que les mêmes classes d'occupation qui étaient présentes en 1986 et 2000 sont aussi présentes en 2018. On constate une domination des champs et jachères par rapport aux autres classes.

La figure 5 montre la synthèse d'évolution des classes d'occupation du sol. La figure 5 montre que les formations naturelles ont fortement régressé sur l'ensemble du secteur d'étude au fil du temps tandis que la pression démographique qui se reflète sur l'augmentation de la superficie des mosaïques de champs et jachères, des agglomérations montre que les paysans ont étendu leurs champs au détriment des formations naturelles.

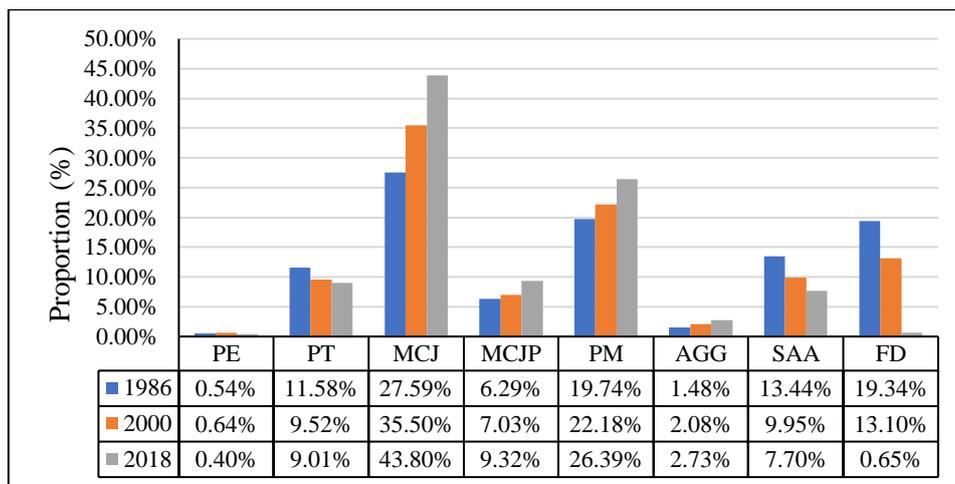


Figure 5 : Synthèse des unités d'occupation du sol de 1986, 2000 et 2018

Légende : PE : Plan d'eau, PT : Plantation, MCJ : Mosaïque de champs et jachères, MCJP : Mosaïque de champs et jachères sous palmiers, PM : Prairie marécageuse, AGG : Agglomération, SAA : Savane arborée et arbustive, FD : Forêt dégradée.

3.2. Changements d'occupation du sol de la commune de Zè entre 1986-2000 et 2000-2018

La dynamique des classes d'occupation du sol entre 1986 et 2000 et entre 2000 et 2018 est résumée par les tableaux V et VI de matrice de transition. Les conversions se font des colonnes vers les lignes. Les diagonales correspondent aux superficies des classes qui sont restées stables et les classes qui sont en dehors de la diagonale représentent les changements des unités d'occupation du sol.

L'examen de la matrice de transition (tableau 5) révèle que toutes les unités d'occupation du sol observées en 1986 sont également présentes en 2000. Mais, il faut remarquer que les forêts dégradées et les savanes arborées et arbustives sont les classes qui se sont beaucoup plus convertis d'autres classes comme les mosaïques de champs et jachères.

Tableau 5 : Matrice de transition de 1986 à 2000

		1986								
2000	Classes	PE	PT	MCJ	MCJP	PM	AGG	SAA	FD	Total (ha)
	PE	149	21	2	2	135	0	24	73	406
	PT	10	1233	1102	375	1111	93	1055	1071	6049
	MCJ	12	1651	9889	672	1343	429	4066	4502	22565
	MCJP	0	158	1302	1828	199	54	333	592	4467
	PM	103	2233	431	114	7757	21	729	2711	14097
	AGG	4	106	567	54	66	106	208	209	1321
	SAA	12	1050	2020	387	624	95	1036	1102	6326
	FD	54	906	2219	562	1313	140	1093	2036	8324
	Total (ha)	344	7358	17532	3995	12548	939	8543	12294	63553

Légende : PE : Plan d'eau, PT : Plantation, MCJ : Mosaïque de champs et jachères, MCJP : Mosaïque de champs et jachères sous palmiers, PM : Prairie marécageuse, AGG : Agglomération, SAA : Savane arborée et arbustive, FD : Forêt dégradée.

Tableau 6 : Matrice de transition de 2000 à 2018

		2000								
2018	Classes	PE	PT	MCJ	MCJP	PM	AGG	SAA	FD	Total (ha)
	PE	66	14	17	6	101	4	12	33	254
	PT	30	1426	1842	192	355	52	753	1081	5729
	MCJ	67	1797	14734	2423	1265	837	2958	3758	27838
	MCJP	16	438	2269	1282	321	64	592	939	5921
	PM	192	1516	1326	172	11006	41	1176	1344	16772
	AGG	9	233	572	72	139	259	205	245	1733
	SAA	25	572	1689	298	818	62	585	842	4891
	FD	2	53	116	21	93	2	45	82	415
	Total (ha)	406	6049	22565	4467	14097	1321	6326	8324	63553

Légende : PE : Plan d'eau, PT : Plantation, MCJ : Mosaïque de champs et jachères, MCJP : Mosaïque de champs et jachères sous palmiers, PM : Prairie marécageuse, AGG : Agglomération, SAA : Savane arborée et arbustive, FD : Forêt dégradée.

Le tableau 6 permet de voir les différents changements ou transformations opérées entre 2000 et 2018. Ces changements sont observés à trois niveaux : la stabilité ou non changement, la conversion. Les classes d'occupation du sol qui sont restées stables entre 2000 et 2018 sont en diagonale jaune. 2269 ha, 1842 ha et 1689 ha respectivement des mosaïques de champs et jachères sous palmiers, des plantations et des savanes arborées et arbustives se sont converties en les mosaïques de champs et jachères.

3.3. Indices de structures spatiales du paysage de la commune de Zè (1986 à 2018)

La caractérisation de la composition et de la configuration par les métriques ont permis d'analyser la structure du paysage de la commune de Zè. Ces métriques ont été calculés à partir des cartes d'occupation du sol.

3.3.1. Indices de composition

Les métriques de la composition paysagère à l'échelle du paysage indiquent des processus du paysage à partir de la comparaison du nombre, la richesse et la diversité des taches dans le temps (tableau 7).

Tableau 7 : Indices de composition du paysage

Année	NP	PR	SHDI (bits)
1986	7177	8	1.77
2000	7089	8	1.72
2018	5356	8	1.50

Légende : NP : Nombre de taches ; PR : Richesse spécifique ; SHDI : Indice de diversité de Shannon.

De l'analyse du tableau 7, il ressort que le nombre de taches (NP) s'est réduit de 1986 à 2018 de même que l'Indice de Diversité (SHDI) malgré la constance de la richesse (PR) qui est toujours représentée par huit classes. Cela montre une simplification de la structure du paysage à travers la réduction de l'hétérogénéité. Le Tableau 8 montre les métriques de la composition paysagère au niveau de chaque classe d'occupation du sol.

Il ressort de l'analyse du tableau 8 que les formations naturelles comme les forêts dégradées et les savanes arborées et arbustives ont vu leurs nombres tâches (NP), leurs superficie (CA) et leurs tailles (LPI) se réduire de 1986 à 2018 passant par 2000. Par contre, les formations anthropiques comme les mosaïques de champs et jachères et celles sous palmier ont augmenté respectivement la proportion de leur superficie (PLAND) de 27,75 % et 6,29 % en 1986 à 42,82 % et 11,33 % en 2018. Au niveau de la dominance des tâches (LPI) on constate que les mosaïques de champs et jachères ont la plus grande proportion (37,15 %) en 2018. Au niveau des agglomérations aussi on note une augmentation des différents indices.

Tableau 8 : Indices de composition des classes

Classe	NP			CA (ha)			PLAND (%)			LPI (%)		
	1986	2000	2018	1986	2000	2018	1986	2000	2018	1986	2000	2018
PE	116	145	181	321.86	427.13	404.14	0.51	0.67	0.64	0.09	0.19	0.09
PT	1763	1441	877	7321.71	6022.17	6052.42	11.52	9.48	9.52	0.48	2.48	5.27
MCJ	868	499	815	17634.54	22451.55	27209.27	27.75	35.32	42.82	18.42	29.82	37.15
MCJP	422	938	1335	4000.26	4541.13	7200.71	6.29	7.14	11.33	1.58	0.79	1.94
PM	404	336	220	12483.57	14187.25	17234.03	19.64	22.32	27.12	17.07	20.08	25.66
AGG	292	363	770	896.61	1341.89	2234.87	1.41	2.11	3.52	0.05	0.20	0.28
SAA	1775	1681	1045	8532.92	6284.74	3028.63	13.43	9.89	4.77	1.42	0.49	0.25
FD	1537	1686	113	12366.20	8301.81	186.34	19.46	13.06	0.29	2.52	0.67	0.02

Légende : PE : Plan d'eau, PT : Plantation, MCJ : Mosaïque de champs et jachères, MCJP : Mosaïque de champs et jachères sous palmiers, PM : Prairie marécageuse, AGG : Agglomération, SAA : Savane arborée et arbustive, FD : Forêt dégradée, NP : Nombre de taches, CA : Superficie de Classe, PLAND : Proportion Occupée, LPI : Dominance.

La planche 1 présente un espace naturel détruit en faveur d'une activité agricole. L'observation de la planche 1 montre des espaces défrichés qui seront préparés pour les activités agricoles, ce qui est le témoignage d'une destruction de l'espace naturel.



Planche 1 : Espace défriché pour les activités agricoles dans la commune de Zè

3.3.2. Indices de configuration

Les métriques de la configuration du paysage comme le processus de fragmentation, de fermeture, d'agrégation et de désagrégation sont aussi importants. Ils permettent de voir l'arrangement spatial des tâches qui composent le paysage.

3.3.3. Indices de fragmentation et de fermeture du paysage

Les indices de fragmentation et de fermeture du paysage sont calculés au niveau des classes d'occupation du sol (tableau 9). L'analyse de ces indices (NP, ED, MPS, et CV) a permis de voir l'état fragmentaire du paysage de la commune de Zè.

Tableau 9 : Indices de fragmentation et de fermeture du paysage

Classe	NP			ED (m/ha)			MPS (ha)			CV		
	1986	2000	2018	1986	2000	2018	1986	2000	2018	1986	2000	2018
PE	116	145	181	1.08	1.40	1.80	2.77	2.95	2.23	236.93	348.77	203.23
PT	1763	1441	877	28.50	20.98	16.42	4.15	4.18	6.90	360.64	1011.01	1639.65
MCJ	868	499	815	41.19	43.41	46.20	20.32	44.99	33.39	1962.24	1888.39	2475.51
MCJP	422	938	1335	8.00	13.03	24.17	9.48	4.84	5.39	701.59	707.88	769.36
PM	404	336	220	24.19	17.84	14.91	30.90	42.22	78.34	1744.03	1645.95	1400.04
AGG	292	363	770	3.81	5.23	9.30	3.07	3.70	2.90	135.85	304.40	325.47
SAA	1775	1681	1045	30.44	24.89	12.90	4.81	3.74	2.90	817.16	373.31	254.47
FD	1537	1686	113	41.94	30.57	0.96	8.05	4.92	1.65	728.03	361.26	94.17

Légende : PE : Plan d'eau, PT : Plantation, MCJ : Mosaïque de champs et jachères, MCJP : Mosaïque de champs et jachères sous palmiers, PM : Prairie marécageuse, AGG : Agglomération, SAA : Savane arborée et arbustive, FD : Forêt dégradée, NP : Nombre de taches, ED : Densité des contours, MPS : Surface moyenne des taches, CV : Coefficient de Variation.

L'analyse du tableau 9 montre la fragmentation des forêts dégradées et des savanes arborée et arbustive par la réduction et la segmentation de leurs surfaces au profit des zones anthropisées à travers la comparaison entre les différents indices. Cette forte fragmentation est notée par la réduction de la densité des contours (ED) et celle de des surfaces moyennes (MPS). Ce qui montre la diminution de la complexité du paysage de la commune de Zè. De 1986 à 2018, on assiste à la fermeture du paysage causée par l'augmentation des zones agricoles.

3.3.4. Indices d'agrégation et de désagrégation

Les indices d'agrégation et de désagrégation ont permis de mesurer la configuration de la structure du paysage sur les classes d'occupation du sol.

Le tableau 10 montre de façon générale l'agrégation du paysage de la commune de Zè.

Tableau 10 : Indices d'Agrégation / Désagrégation du paysage

Année	CONTAG	IJI (%)	AI (%)	ED (m/ha)
1986	23.82	77.57	50.44	89.57
2000	27.37	81.01	56.47	78.68
2018	38.63	72.02	64.90	63.33

Légende : CONTAG : Contagion, IJI : Indice d'adjacence, AI : Indice d'agrégation, ED : Densité des contours.

De 1986 à 2018, les valeurs de ED montre que le paysage n'est pas dominé par une seule classe ce qui réduit la contagion comme l'indique les valeurs de CONTAG. Il est aussi constaté que les taches compactes (AI) sont agrégées et sont adjacentes. Au niveau de chaque classe ces indices sont aussi calculés pour mieux expliquer l'état d'agrégation du paysage (tableau 11).

Tableau 11 : Indices d'Agrégation / Désagrégation des classes

Classe	ED (m/ha)			SHAPE			IJI (%)			AI (%)		
	1986	2000	2018	1986	2000	2018	1986	2000	2018	1986	2000	2018
PE	1.08	1.40	1.80	1.11	1.09	1.07	73.02	76.68	73.52	26.65	32.93	21.39
PT	28.50	20.98	16.42	1.18	1.14	1.17	77.54	78.74	64.73	31.61	38.84	52.42
MCJ	41.19	43.41	46.20	1.30	1.29	1.21	79.70	83.06	80.65	58.92	66.00	69.97
MCJP	8.00	13.03	24.17	1.13	1.09	1.19	65.89	72.41	54.25	65.74	50.22	41.55
PM	24.19	17.84	14.91	1.24	1.21	1.21	69.56	83.92	77.94	65.87	78.00	84.65
AGG	3.81	5.23	9.30	1.14	1.14	1.10	72.53	73.81	52.48	26.49	32.03	26.58
SAA	30.44	24.89	12.90	1.16	1.16	1.12	72.92	81.12	74.22	37.18	30.38	24.95
FD	41.94	30.57	0.96	1.28	1.23	1.04	80.82	76.05	83.30	40.50	35.00	9.89

Légende : PE : Plan d'eau, PT : Plantation, MCJ : Mosaïque de champs et jachères, MCJP : Mosaïque de champs et jachères sous palmiers, PM : Prairie marécageuse, AGG : Agglomération, SAA : Savane arborée et arbustive, FD : Forêt dégradée, ED : Densité des contours, SHAPE : Indice de forme, IJI : Indice d'adjacence, AI : Indice d'agrégation.

Les indices ED et SHAPE montrent le degré de fragmentation de compaction et de complexité des contours, ce qui augmente les processus de pénétration et de colonisation, tandis que les valeurs élevées de l'indice IJI renseignent une forte potentialité de perturbations entre les classes d'occupation du sol adjacentes. Les forêts dégradées, en 2018 sont la classe la plus agrégées car elles présentent l'indice IJI la plus élevée (83,30 %).

De l'ensemble des résultats obtenus, il faut retenir que la structure du paysage de 1986 à 2018 passants par 2000 a connu un grand changement car le nombre de tâches a diminué de 37 %. Cela conduit vers

une homogénéisation et la fragmentation du paysage naturel (forêts et savanes) s'est transformé en paysage artificiel (zones de cultures et agglomérations). Il en résulte une colonisation agricole du paysage.

4. DISCUSSION

4.1. Dynamique spatio-temporelle

Pour apprécier la dynamique spatio-temporelle de la commune de Zè, les méthodes de télédétection, et de cartographie ont été utilisées. Les images ayant une résolution spatiale inférieure ou égale de 30 mètres sont beaucoup utilisées pour les études multi-dates afin d'apprécier l'évolution de la couverture du sol dans un espace donné. Ces images proviennent des capteurs SPOT, Landsat TM, ETM+, OLI-TIRS, etc. Plusieurs auteurs ont utilisé ces données comme Enonzan, (2010) ; Toko, (2014) ; Kpedenou, (2016) ; etc. Dans le cadre de cette étude, les images Landsat 1986, 2000 et 2018 ont permis d'obtenir huit classes d'occupation du sol à savoir : plan d'eau, prairie marécageuse, agglomération, plantation, mosaïque de champs et jachère, mosaïque de champs et jachères sous palmiers, savane arborée et arbustive et forêt dégradée. Ceci a permis d'apprécier les différentes tendances évolutives de la couverture du sol au fil du temps. Cependant, il est noté que la dynamique du milieu naturel dans la commune de Zè est régressive entre les trois dates au profit des milieux anthropiques. Ces résultats sont conformes à ceux de Orékan *et al.*, (2013) ; Mama, (2013) ; Tente, (2015) qui montrent une régression des forêts et savanes au profit des champs et jachères et agglomérations. Ce processus de régression se traduit par la conversion des formations naturelles (forêts dégradée, savane arborée et arbustive) en formations anthropiques (agglomération, mosaïque de champs et jachères). Cela s'exprime par l'extension des terres agricoles l'explosion démographique. Ces résultats concordent avec les travaux de Djohy *et al.* (2016) dans le nord du Bénin qui ont montré que les activités agricoles constituent les causes majeures de dégradation du couvert végétal. Se trouvant dans la même position, Akobi *et al.*, (2018) dans le centre du Bénin ont constaté aussi des mutations spatiales qui ont pour principale cause l'explosion démographique.

4.2. Structure du paysage

Pour analyser quantitativement la structure du paysage, plusieurs indices ont été proposés à cet effet. Certaines de ces métriques sont utilisées dans la mesure de la composition du paysage (présence et abondance de taches ou de types de taches) pendant que quelques autres sont appliquées à la mesure de la configuration paysagère (distribution et arrangement spatial des taches) (Botequilha Leitão et Ahern, 2002 ; McGarigal *et al.*, 2002 ; Cassado, 2007). Ainsi, les indices adaptés à ce travail ont été sélectionnés et calculés. En effet, la fragmentation entraîne une réduction de l'aire totale et une augmentation du nombre de taches (Davidson, 1998). Elle suppose le morcellement et donc la diminution de la taille des taches vers de petites taches de tailles similaires (Bamba *et al.*, 2010). Les résultats obtenus montrent que de 1986 à 2018 on assiste à une fragmentation des formations naturelles suivi d'une colonisation

agricole de l'espace paysager de la commune de Zè. Ces résultats sont conformes à ceux de Tchibozo et Domingo (2014), qui dans les forêts classées de Dogo-Kétou au Bénin montrent l'effet différentiel des perturbations externes sur l'habitat naturel des formations végétales avec un niveau varié des fragmentations liées aux activités anthropiques et aux risques naturels de l'inondation. La réduction du nombre de tâches à 37 % entre 1986 et 2018 entraîne vers un processus d'homogénéisation du paysage qui est dû à la pression anthropique (colonisation agricole, augmentation de la population). Cela confirme les résultats obtenus suscités à partir de l'interprétation des images satellitaires. Ces résultats corroborent avec ceux obtenus par Bamba *et al.*, (2010) ; Toko *et al.*, (2012). Mais, selon les résultats obtenus par Cassado, (2007) dans le bassin versant de La Voireuze l'espace agricole a reculé sous la pression des broussailles, des friches et des bois, ce qui est contraire aux résultats obtenus dans la présente étude. Ce phénomène est dû par une déstructuration - restructuration du modèle économique et donc par des changements dans l'utilisation des terres. Ces changements des modes d'utilisation du sol enregistrés entre 1948 et 2000 ont mené à une revégétalisation étendue et est représentée par l'accroissement des terrains dégradés et par l'expansion de la forêt, ce qui a simplifié la structure du paysage considérablement dans ce bassin.

5. CONCLUSION

La présente étude effectuée sur la dynamique spatio-temporelle et la structure du paysage de la commune de Zè a permis de faire une analyse qualitative et quantitative de l'évolution du paysage à partir des cartes d'occupation du sol de 1986, 2000 et 2018.

Ainsi, l'analyse cartographique des changements spatio-temporels a montré les modifications enregistrées au niveau de la couverture du sol. Cela a montré que les mosaïques de champs et jachères et les agglomérations ont connu une augmentation de leurs superficies au profit des forêts dégradées et des savanes arborées et arbustives.

De même, l'écologie du paysage à partir des indices ont permis de détecter les changements de la structure spatiale de ce territoire en se basant sur les cartes d'occupation du sol des différentes dates. La structure du paysage de 1986 à 2018 a connu un grand changement car le nombre de tâches a diminué de 37 % sur l'ensemble du paysage. Les mosaïques de champs et jachères ont une forte valeur de dominance en 2018 qui s'élève 37,15 % contre 0,02 % des forêts dégradées. Cela montre tendance d'homogénéisation et de fragmentation du paysage naturel (forêts et savanes) qui s'est transformé en paysage artificiel (zones de cultures et agglomérations) par agrégation.

Face à ce processus de dégradation des espaces naturels, il est important qu'une bonne prise de décision en matière d'aménagement du territoire visant à protéger ces espaces soient prises par les autorités locales afin de les préserver les restes des espaces naturels pour un développement durable de la commune de Zè.

Références Bibliographiques

- Akobi K. I., Amoussou E., Yabi I. et Boko M., 2018. Historique de l'évolution anthropique et dynamique du couvert végétal dans la commune de Bantè au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(1): 180-194, February 2018 ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991- 8631 (Print), pp 180-194.
- Allagbé S. B. Y., 2011. Dynamique de la végétation dans la basse vallée de l'Ouémé : cas de Gbéko dans la Commune de Dangbo. Mémoire de maîtrise DGAT/FLASH/UAC, Bénin, 99 p.
- Bamba I., Barima Y. S. S. et Bogaert J., 2010. Influence de la densité de la population sur la structure spatiale d'un paysage forestier dans le bassin du Congo en R. D. Congo. *Mongabay.com Open Access Journal - Tropical Conservation Science* Vol. 3 (1) : 31-44.
- Bamba I., Yedmel M.S & Bogaert J., 2010. Effets des routes et des villes sur les forêts denses dans la province orientale de la République Démocratique du Congo. *European Journal of Scientific Research*, 43: 417-429.
- Bogaert J. & Mahamane A., 2005. Ecologie du paysage : cibler la configuration et l'échelle spatiale. *Annales des Sciences Agronomiques du Bénin*, 7: 39-68.
- Botequilha Leitão A. et Ahern J., 2002. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning, *Landscape and Urban Planning*, 59:65-93.
- Burel F. & Baudry J., 2003. Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications. Paris, France : Tec & Doc. 359 p.
- Casado A., 2007. Etude de la structure et de la dynamique des paysages de montagne. Exemple du bassin versant de La Voireuze, affluent de l'Alagnon entre 1948 et 2000. Mémoire de Master 2 Géoenvironnement, Département de Géographie, Université Blaise Pascal, 51 p.
- Davidson C., 1998. Issues in measuring landscape fragmentation. *Wildlife Society Bulletin*, 26, 32-37
- Djohy G. L., Totin H. S. Vodounon H. S. et Kinzo N. E., 2016. Dynamique de l'occupation du sol et évolution des terres agricoles dans la commune de sinendé au nord-Bénin. *Cahiers du CBRST*, N° 9 Juin 2016 Lettres, Sciences Humaines et Sociales ISSN : 1840-703X, Cotonou (Bénin), pp. 101-121.
- Enonzan F. B., 2010. Utilisation de la télédétection et des SIG dans la gestion durable des aires protégées : cas des forêts classées de Dogo-Kétou au Bénin. Mémoire de DESS en en Production et Gestion de l'Information Géographique, www.rectas.org, Campus universitaire Obafemi Owolowo, Ilé-Ife, Nigéria, pp.49-50,85p.
- Feranec J., Marcel Š., Ot'ahel J., Cebecauer T., Kolár J., Soukup T., Zdenková D., Waszmuth J., Vájdea V. et Nitika C., 2000. Inventory of major landscape changes in the Czech Republic, Hungary, Romania and Slovak Republic 1970s - 1990s, *JAG*, Volume 2.
- Forman R.T.T. & Godron M., 1986. *Landscape ecology*. John Wiley & sons, New York, USA. 640 p.

Fujihara M. et Kikuchi T., 2005. Changes in the landscape structure of the Nagara River Basin, central Japan, *Landscape and Urban Planning*, 70:271-281.

Haase D., Walz U., Neubert M. et Rosenberg M., 2007. Changes to Central European landscapes. Analysing historical maps to approach current environmental issues, examples from Saxony, Central Germany, *Land Use Policy*, 24:248-263.

Houndagba C. J., 2014. Dynamique des paysages naturels dans le centre du Bénin. Thèse d'état, EDP/FLASH/UAC, 350p.

Kpedenou K. D., BoukpeSSI T., Thiou Tanzidani K. Tchamie T. T. K., 2016. Quantification des changements de l'occupation du sol dans la préfecture de Yoto (sud Est Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat. *Rev. Sc. Env. Univ., Lomé (Togo)*, 2016, n° 13 pp.137-156

Lasanta T., González Hidalgo J., Vicente Serrano S. et Sferi E., 2006. Using landscape ecology to evaluate an alternative management scenario in abandoned Mediterranean mountain areas, *Landscape and Urban Planning*, 78:101-114.

Mcgarigal K., Cushman S., Neel M., Ene E., 2002. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. [Disponible en ligne] www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html University of Massachusetts

ONAB, 2005. Plan d'aménagement participatif des plantations forestières de Djigbé. Période 2004-2023, 56 p.

Orékan V., Abdoulaye D., Houndagba C. J. et Sinsin B., 2013. Dynamique prospective des écosystèmes forestiers classés au Bénin : quelles perspectives pour une utilisation durable. In : GSDI 14 & AfricaGIS 2013 : "Spatial Enablement in Support of Economic Development and Poverty Reduction", communication présentée à la conférence mondiale géospatiale de Global Spatial Data Infrastructure (GSDI 14) et AfricaGIS 2013, Addis Abeba, Ethiopie, du 4 au 8 novembre 2013, 27 p., URL : <http://www.gsdi.org/gsdiconf/gsdi14/papers/239>.

Sounon Bouko B., Sinsin B. et Goura Soulé B., 2007. Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes au Bénin : *Tropicultura*, 2007, 25, 4, pp 221-227

Tchibozo E. A., Domingo E., 2014. Occupation du sol et analyse de la structure spatiale des forêts classées : cas de Dogo-Kétou, dans le centre-est du Bénin. *Revue de géographie du laboratoire Leïdi* – ISSN 0851 – 2515 – N°12, 18 p.

Tenté V. O., 2015. Dynamique actuelle et processus d'évolution des écosystèmes de la forêt de Djigbé dans la commune de Zè. Mémoire de maîtrise, DGAT/FLASH/UAC, 63 p.

Toko M. I., Toko I. I., Sinsin, B. & Touré, F., 2012. Indices de structures spatiales des îlots de forêts denses dans la région des Monts Kouffé. [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, 12(3), 17 p.

Toko I. N., 2014. Cartographie et modélisation de la dynamique des parcours naturels des troupeaux transhumants dans les communes de Banikoara et de Karimama (Nord-Bénin). Mémoire de DEA / FLASH / UAC, Bénin, 101 p.