

Recent landscape dynamic in the anthropized Sahel zone's: from degradation to greening, case study of Aguié and Ibohamane municipalities

SAIDOU Salifou¹, AMBOUTA Jean-Marie Karimou²

¹(Ecole Doctorale de Sciences de la Vie et de la Terre, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey/Niger),

²(Département Sciences des Sols, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey/Niger).

Abstract : Back ground: This study was conducted in an high density population area of the Sahel, which undergone the perverse effects of climate change and variability. The main objective is to explore, analyze and quantify the recent landscape dynamics of this area.

Material and methods: The methods of landscape ecology analysis associated with remote sensing and GIS technologies were applied to the landscape units of the municipalities of Aguié and Ibohamane. The two areas were chosen according to their high demographic density, the level of the geomorphological contrast which is monotonous (sandy plateau dune) for the first and well contrasted (vast sandstone plateaus cut by deep valleys) for the second and their latitudinal North-South gradient position 's.

Results: The lands cover change maps drawn up in ten-year intervals, coupled with correlation tests have concluded that there has been a trend in the improvement of wood cover in the two municipalities over the past four decades compared to that of 1975, the state of reference. In addition, this trend was guided by four ecological processes which include the fragmentation of large areas of bare soil by the creation of wooded areas units, their enlargement and their aggregation at the expense of degraded areas. In Aguié, this trend is much more pronounced in the northern part where the concentration of villages is highest. On the other hand, in the commune of Ibohamane the densification of the woody cover is more recorded in the valleys which shelter the main part of the human settlements and important agricultural potentialities. In overall, the structure of the woody cover is expressed on the dune plateau of Aguié compared to the landscape of Ibohamane where the geomorphology is much more contrasted.

Conclusion: The anthropogenic action has been decisive on this dynamic since the greening classes express a significant level of correlation with the class of human settlements. These results can serve as a tool for evaluating the agroforestry resources offered by the landscape and as such feed the basis of knowledge for better formulation of landscape management of anthropized areas.

Keywords: dynamics, landscape, structure, map, fragmentation, anthropized areas.

Date of Submission: 05-12-2020

Date of Acceptance: 22-12-2020

I. Introduction

Le Sahel a toujours été une région originale où se composent deux dynamiques majeures, celle des changements et variabilité climatiques et celle liées à sa démographie. Ces dynamiques définissent des paysages exceptionnels qui offrent schématiquement à la vue une mosaïque de formations végétales naturelles à côté des formations anthropisées. Cependant, les crises écologiques des années 70 et 80 ont montré les limites des systèmes agraires sahéliens à conjuguer avec les effets des extrêmes climatiques [19], [12]. De plus, l'anthropisation de cet espace se traduit inéluctablement par une augmentation exponentielle des superficies cultivées ou pâturées à la suite d'une saturation foncière et ce au détriment des formations naturelles [17], [11]. La destruction des formations ligneuses accroît la vulnérabilité du paysage aux phénomènes érosifs. C'est de cette façon que la désertification a sévi sur les paysages du Sahel à l'échelle régionale [7]. Toutefois, un certain nombre d'études récentes conduites à petite échelle sur la base des techniques de télédétection et SIG ont conclu à un reverdissement de certaines zones du Sahel à partir de la décennie 1980 [18]. De plus, cette amélioration de la couverture ligneuse est particulièrement observée dans les zones de forte densité démographique [8].

Il est évident que la dynamique du reverdissement du Sahel est assez bien documentée en particulier sur ses aspects spatio-temporels aux échelles régionales. Il reste toutefois à établir de façon précise à l'échelle locale comment s'est opérée cette métamorphose paysagère. L'objectif de ce travail est de décrire la traçabilité de la dynamique paysagère qui explique le reverdissement du paysage en mettant en exergue l'évolution du couvert ligneux au cours de ces quarante dernières années. L'étude est circonscrite aux zones de densité démographique élevée en proie à une forte instabilité climatique.

II. Matériel et Méthodes

Cadre de l'étude

La zone d'étude est circonscrite à deux communes, celle d'Aguié (centre-Sud Niger) et celle d'Ibohamane (plateau de l'Ader-Doutchi-Maggia centre-Nord du Niger). Le choix de ces deux communes repose sur une combinaison de trois (3) critères à savoir :

- la base démographique exprimée par une densité de plus de 100 habitants par km²,
- la position climatique latitudinale suivant le gradient d'aridité Nord-Sud typique du Sahel,
- la nature du modelé au point de vue physiographique qui a permis de discriminer une zone de fort contraste géomorphologique (Ibohamane) avec une zone où la forme du relief est relativement monotone (Aguié).

La Commune d'Aguié est située dans le département d'Aguié. Elle est délimitée par les coordonnées 07°56- 07°85 de Longitude Est et 13°23 - 13°74 de latitude Nord et couvre une superficie d'environ 1110 km² avec une densité moyenne de 137,64 habitants/km². En ce qui concerne la commune d'Ibohamane, elle est située entre 5°50' et 6°00' de longitude Est, 14°40' et 14°50' de latitude Nord. Elle est localisée à 18 km de Keita (chef-lieu de département) et à 90 km de Tahoua (chef-lieu de Région). La population de la Commune Rurale d'Ibohamane établie par le RDGP/H 2012 s'élève à 88.724 habitants avec un taux d'accroissement inter censitaire annuel de 3.8%.

Données

Les tendances récentes du paysage ont été établies grâce à une cartographie de la couverture ligneuse par télédétection et technologies SIG. Sur chacune des deux communes, 5 images satellitaires de type multispectral ont été téléchargées sur le portail USGG. Il s'agit des scènes landsat OLI8 de mars 2019 et février 2010, landsat ETM7 février 2000, landsat 3-5 décembre 1990 et mars 1975. La délimitation des polygones d'intérêt est centrée sur les indications de Path-Row suivantes : 19050 pour la commune d'Ibohamane et 189051 pour la commune d'Aguié. Le choix des scènes des mois de février-mars vise un double objectif. Il fallait réduire l'effet de la strate herbacée afin d'obtenir une meilleure visibilité de la couverture ligneuse et également obtenir des images au moment où les ligneux expriment de façon optimale leur potentiel végétatif.

Méthode de cartographie

La digitalisation des images en cartes d'occupation des sols a été réalisée sous ArcMap 10.3. Une série d'opérations ont été nécessaires pour produire 5 cartes d'occupations des sols et 4 cartes de changements dans chaque commune. La classification supervisée a été faite au moyen du classificateur Maximum Likelihood. La photo-interprétation a été réalisée sous la base de leurs caractéristiques spectrales par un croisement entre le rapport de la mission vérité terrain, organisée 21 Mars au 04 Avril 2019, et les images correspondantes fournies par le logiciel Google EarthPro. Les cartes de changements d'occupation des sols ont été déduites à partir d'une superposition d'union de deux vecteurs consécutifs. L'évaluation du niveau de validité du travail cartographique a été faite à travers des matrices de confusion, la précision globale générée par l'algorithme gestionnaire des échantillons de ArcMap et le coefficient Kappa qui mesure la concordance des polygones d'entraînement avec les types de classes.

La définition des classes thématiques devrait parvenir à une meilleure stratification du paysage qui puisse permettre d'établir l'évolution de la structuration du couvert ligneux. À cet effet une catégorisation en trois classes de recouvrement a été utilisée tenant compte du niveau du recouvrement et des espèces indicatrices dominantes (Tableau 1).

Tableau 1: Description des classes de recouvrement de la couverture ligneuse

Niveau	Recouvrement	Espèces indicatrices ou dominantes
Fort	> 25	Strate arborée : <i>Faidherbia albida</i> et <i>Combretum glutinosum</i> Strate arbustive : <i>Guiera senegalensis</i> , <i>Piliostigma reticulatum</i> /Acacia senegal, <i>Acacia seyalet</i> Acacia raddiana
Moyen	15-25	Strate arbustive : <i>Ziziphus mauritiana</i> , <i>Salvadora persica</i> .
Faible	<15	Strate arbustive : <i>Boscia senegalensis</i> associée avec des arbrisseaux comme <i>Pergularia tomentosa</i>

Le recouvrement fort est assimilable aux parcs arborés, aux enclaves et parcours pastoraux et aux cordons ripicoles. Le couvert moyen s'apparente au parc à *Faidherbia albida* et *Prosopis africana* décrit par Moussa et Larwanou[23] dans la commune d'Aguié. Il offre à la vue une distribution éparse, isolée des arbres et d'arbustes. En revanche la classe des surfaces à recouvrement faible est celle d'un peuplement ligneux dominé par d'arbustes et d'arbrisseaux rabougris coriace et soumis à une coupe répétitive pour le besoin alimentaire de

bétail. Le croisement de ces classes de recouvrement avec les caractéristiques physiographiques du terrain a abouti à la définition des classes d'occupation des sols

Analyse de la dynamique de la structure spatiale

Sur le plan cartographique, la dynamique de la structure spatiale a été évaluée au moyen d'une analyse diachronique des cartes de changement d'occupation des sols dans les deux communes. Chaque carte traduit les changements opérés au cours d'une décennie. Ces cartes ont offert l'avantage de déterminer à l'échelle du paysage la nature, l'ampleur et la localisation des changements d'occupation des sols.

La statistique spatiale a été analysée à travers les indices spatiométriques (Landscape metrics) qui garantissent une interprétation plus aisée de la dynamique paysagère. Ces indices ont été générés à partir du format réel extension TIFF des cartes d'occupations des sols exportées sur logiciel Fragstats 4.2 [21]⁹ à partir des cartes préétablies sur ArcMap. Ils ont servi des paramètres d'entrée à l'arbre de décision de Bogaert et al.[5] pour la définition des processus écologiques qui soutiennent les mutations du paysage. Les indices concernés sont le nombre total, la diversité et l'agrégation des taches par classe d'occupation des sols. À l'échelle des classes, on a déterminé la dominance et l'aire totale. La mise en évidence de l'anthropisation sur la dynamique paysagère a été déterminée par l'indice de la dimension fractale.

Méthode de quantification du changement

La détermination de la nature des changements par classes d'occupation des sols a été faite à partir des matrices de transition. De cette façon il a été plus aisé de mettre en évidence la tendance au reverdissement. Les taux de changement globaux et les taux de changement annuels calculés sur tableur Excel donnent la mesure de l'ampleur de la tendance selon qu'ils s'agissent d'une amélioration (tendance progressive), d'une stabilité (inertie) ou d'une dégradation (tendance régressive).

Le taux de changement global de l'aire d'une classe *i* est donné par l'équation :

$$TCG = \frac{S_2 - S_1}{S_2} * 100 \text{ (Equation 1)}$$

Le taux de changement annuel exprime la cinétique du changement. Il est déterminé au moyen de l'équation proposé par Noyola-Medrano [24]¹¹ :

$$TCA = \frac{1}{T_2 - T_1} \ln \left(\frac{S_2}{S_1} \right) \text{ (Équation 2)}$$

Dans cette équation T_1 est l'année *i* et T_2 l'année *i*+10. S_1 et S_2 sont les superficies correspondantes pour une classe d'occupation des sols données.

III. Résultats

Niveau de précision cartographique

Le coefficient Kappa et l'indice de précision globale donne une mesure du niveau de fiabilité de ces cartes. Le tableau 2 donne le niveau de fiabilité des cartes d'occupation des sols élaborées dans les deux communes

Tableau 2: Évaluation du niveau de validité du travail cartographique

Zone	Aguié					Ibohamane				
	1975	1990	2000	2010	2019	1975	1990	2000	2010	2019
Précision Globale(%)	71,02	54,99	70,97	63,08	87,36	60,14	71,08	73,25	88,31	90,05
Coefficient de Kappa(%)	66,52	58,31	72,46	69,14	86,23	55,10	73,45	70,34	76,62	89,30

Globalement, les cartes affichent un niveau de précision statistiquement acceptable supérieur à 50%. Les critères utilisés pour choisir les scènes des images satellitaires et la démarche utilisée dans la production des cartes peuvent servir de base à l'analyse de la dynamique paysagère.

Dynamique de la structure spatiale du paysage

La dynamique globale à l'échelle du paysage dans les deux communes est matérialisée par les cartes des changements d'occupation des sols sur quatre (4) décennies comme illustrées dans les Figures 8-11. La gamme de teinte violette met en évidence la nature et le degré des changements. Les couleurs vertes reflètent la stabilité des classes d'occupation des sols.

Au niveau de la commune d'Aguié la dynamique a surtout intéressé la végétation ligneuse du vaste plateau dunaire. La décennie 1975-1990 est caractérisée par une reconstitution des surfaces à recouvrement faible à partir des reliques dégradées des formations naturelles (forêts de Dan Kada Dodo, Dan Gado et Bakabé). Le changement le plus important se décline en termes de reconversion des sols nus dégradés en surface à recouvrement faible qui représente du paysage en 1990. La tendance est beaucoup plus accentuée au nord de la commune où la densité des villages est plus élevée (Figure 1).

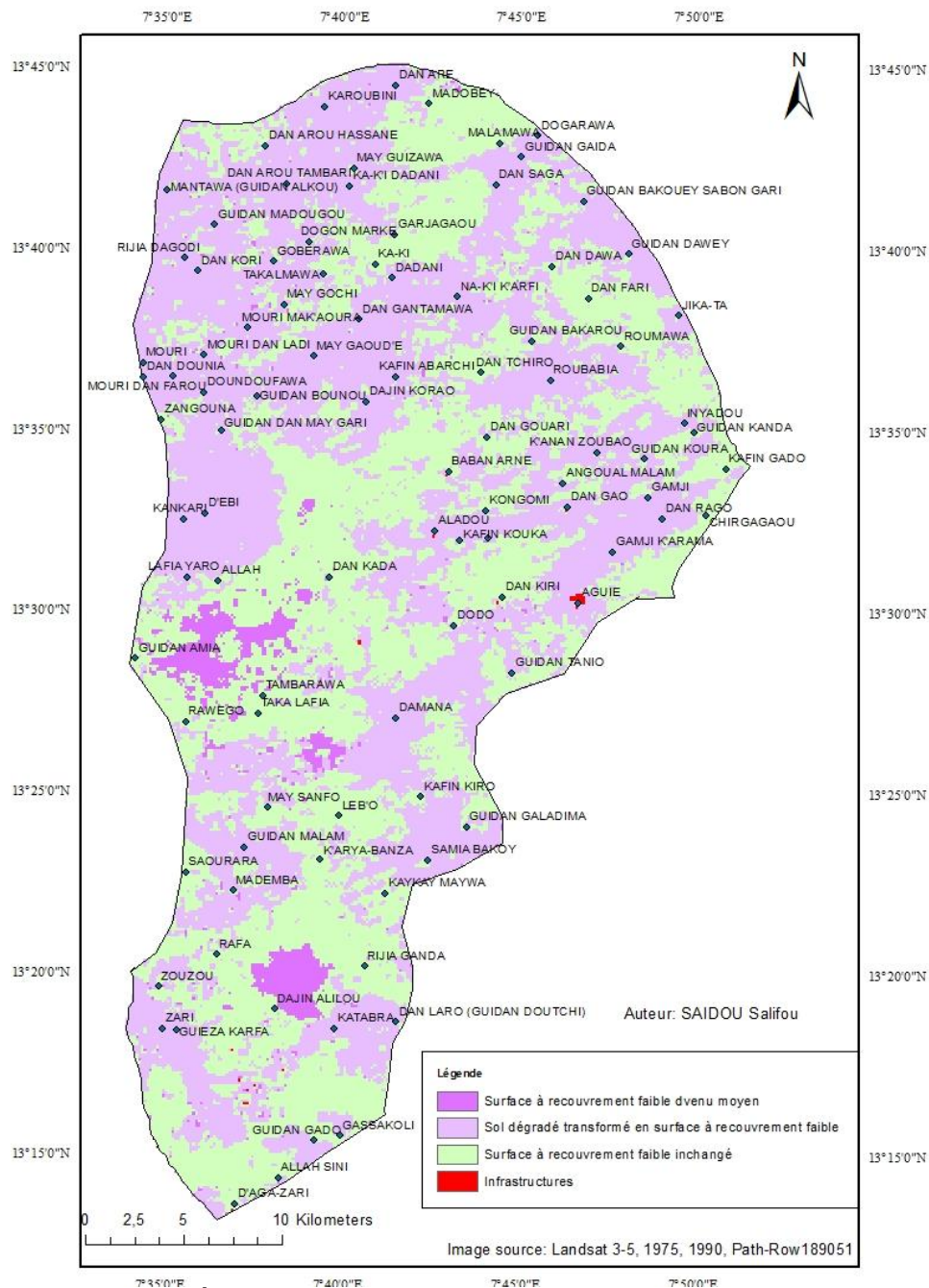


Figure 1: États de changement d'occupation des sols à Aguié 1975-1990.

La décennie 1990-2000 montre une relative stabilité pour les classes des superficies à recouvrement faible et moyen comme en témoigne la persistance de la gamme de couleurs vertes sur les cartes de changements d'occupation des sols. La reconstitution des formations naturelles protégées se consolide davantage en particulier au niveau des forêts de Dan Kada Dodo et celle de Bakabé beaucoup plus au Sud (Figure 2).

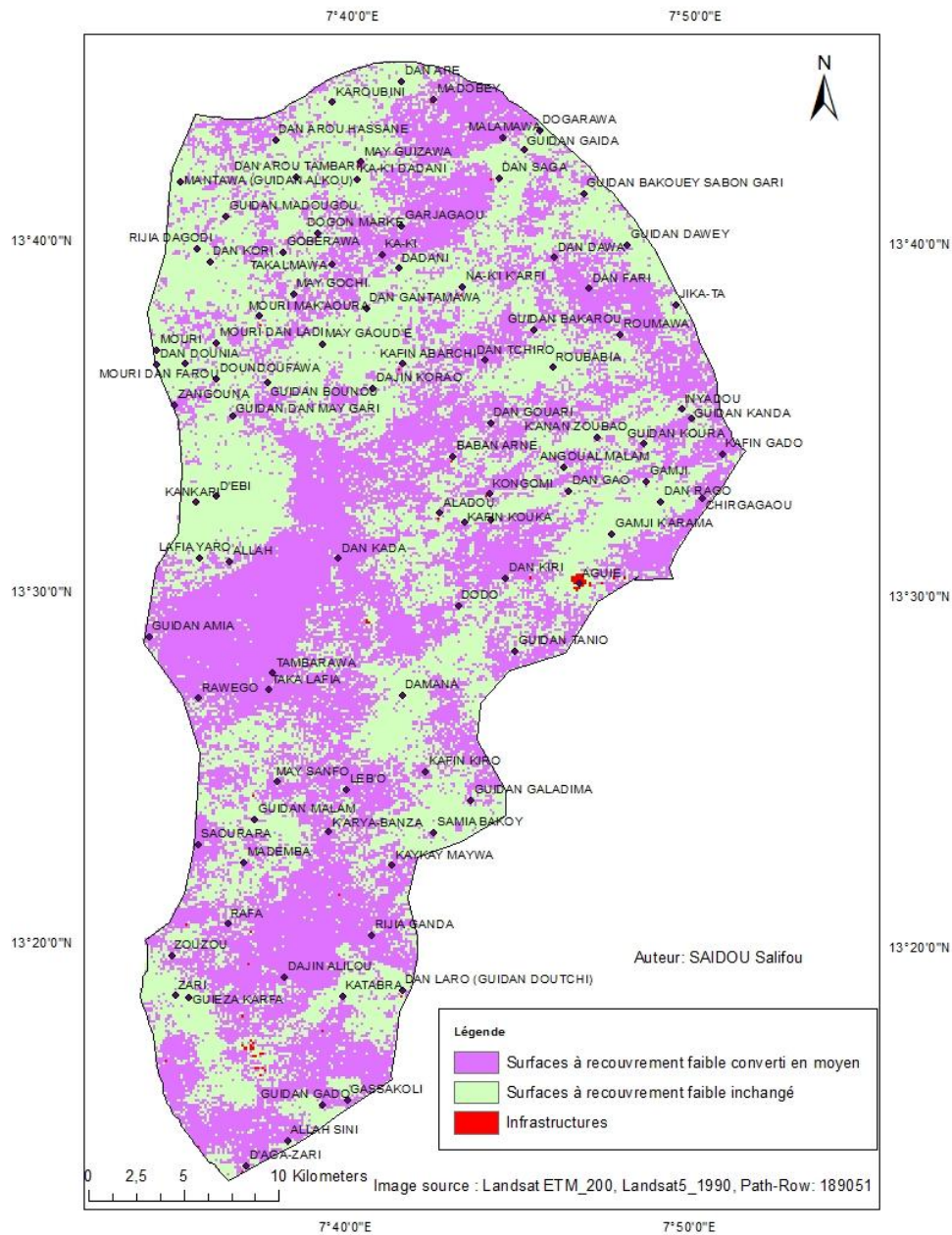


Figure 2: États de changement d'occupation des sols à Aguié 1990-2000.

Au cours de la décennie 2000-2010 on a enregistré un début d'uniformisation de la couverture ligneuse avec une tendance au recouvrement moyen qui occupe 76,51% de la superficie totale du paysage. La tendance est notablement tempérée sur les formations naturelles. Il n'est donc pas exclu que cette amélioration modérée soit le fait de l'influence de la politique de mise sous contrat de culture de ces espaces pour renforcer la sécurité alimentaire (Figure 3).

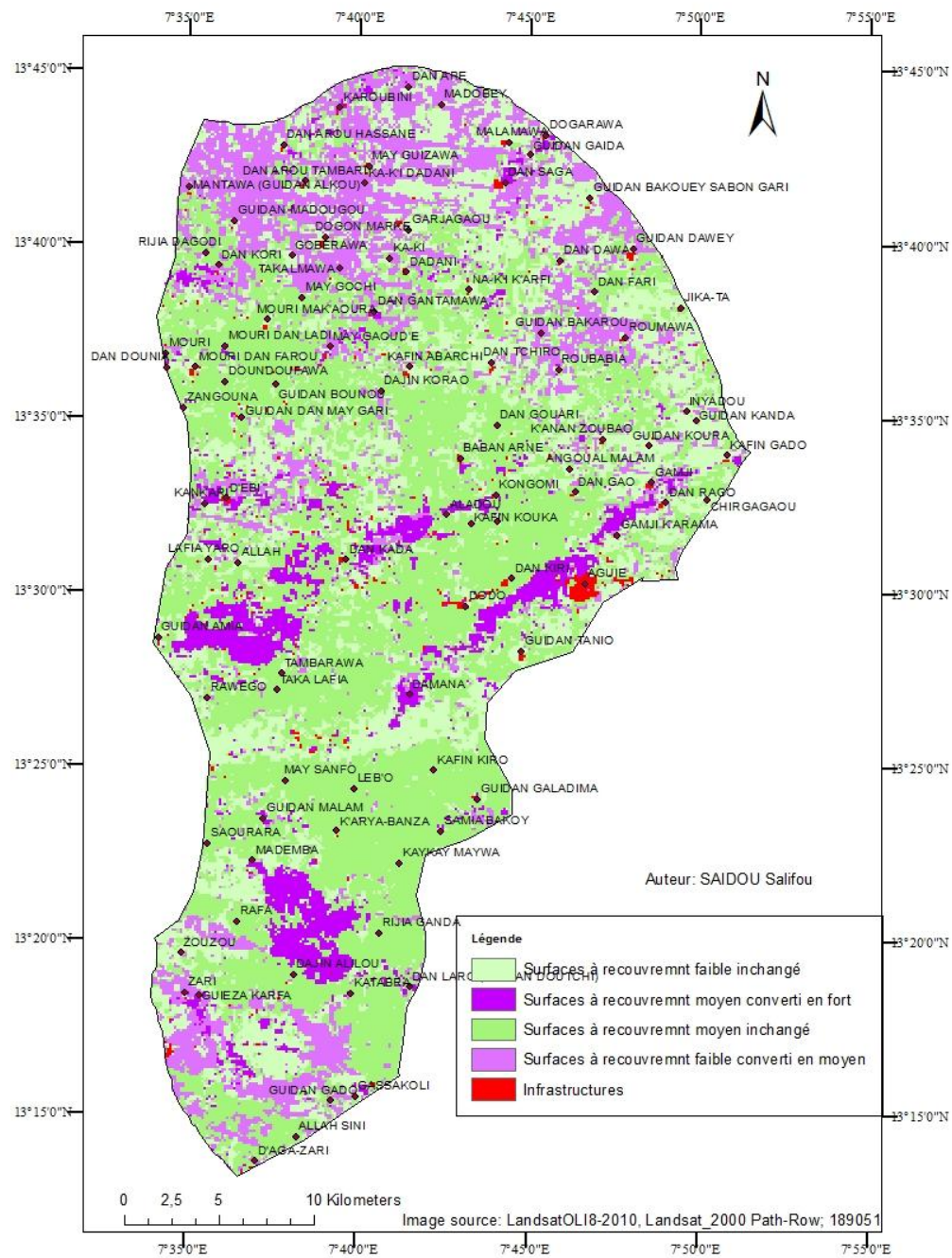


Figure 3: États de changement d'occupation des sols à Aguié 2000-2010.

La décennie 2010-2019, est caractérisée par une tendance à l'uniformisation des bandes boisées. Cette tendance est beaucoup plus confirmée dans la partie Nord de la commune, qui abrite une forte densité d'installation humaine (Figure 4).

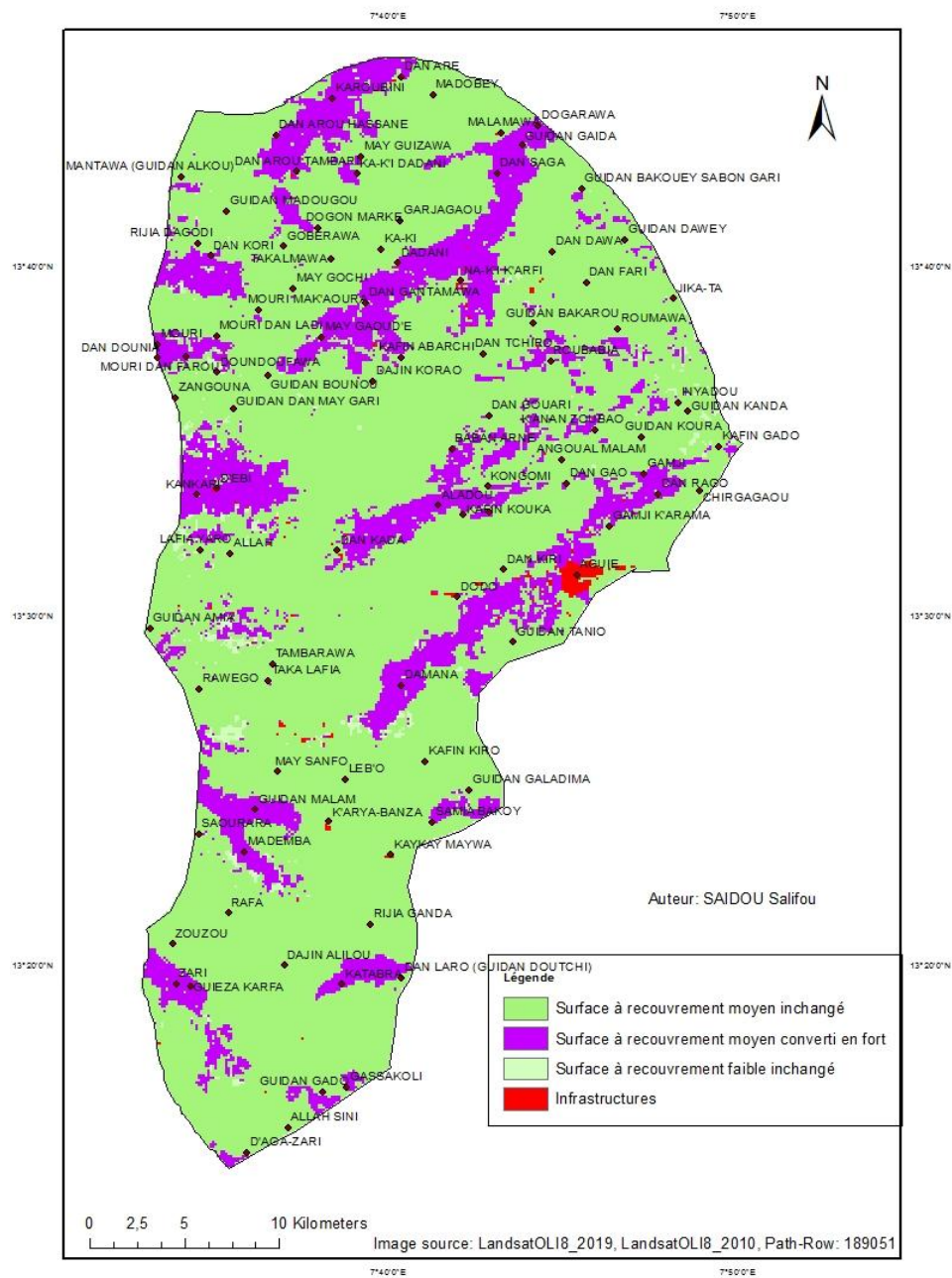


Figure 4: États de changement d'occupation des sols à Aguié 2010-2019.

Dans la commune rurale d'Ibohamane, la dynamique affecte surtout les vallées qui concentrent l'essentiel des zones d'habitations et qui regorgent d'importantes potentialités agricoles. La dynamique a été plus vive au cours de la décennie 1975-1990 (Figure 5). Elle se manifeste de façon graduelle autour des ilots où on observe une conversion en plage de la matrice des sols nus dégradés en surfaces à recouvrement faible. En 1975, les sols nus dégradés représentaient 85,87% de l'aire totale du paysage, occupant la quasi-totalité des plateaux gréseux et les vallées (Figure 5).

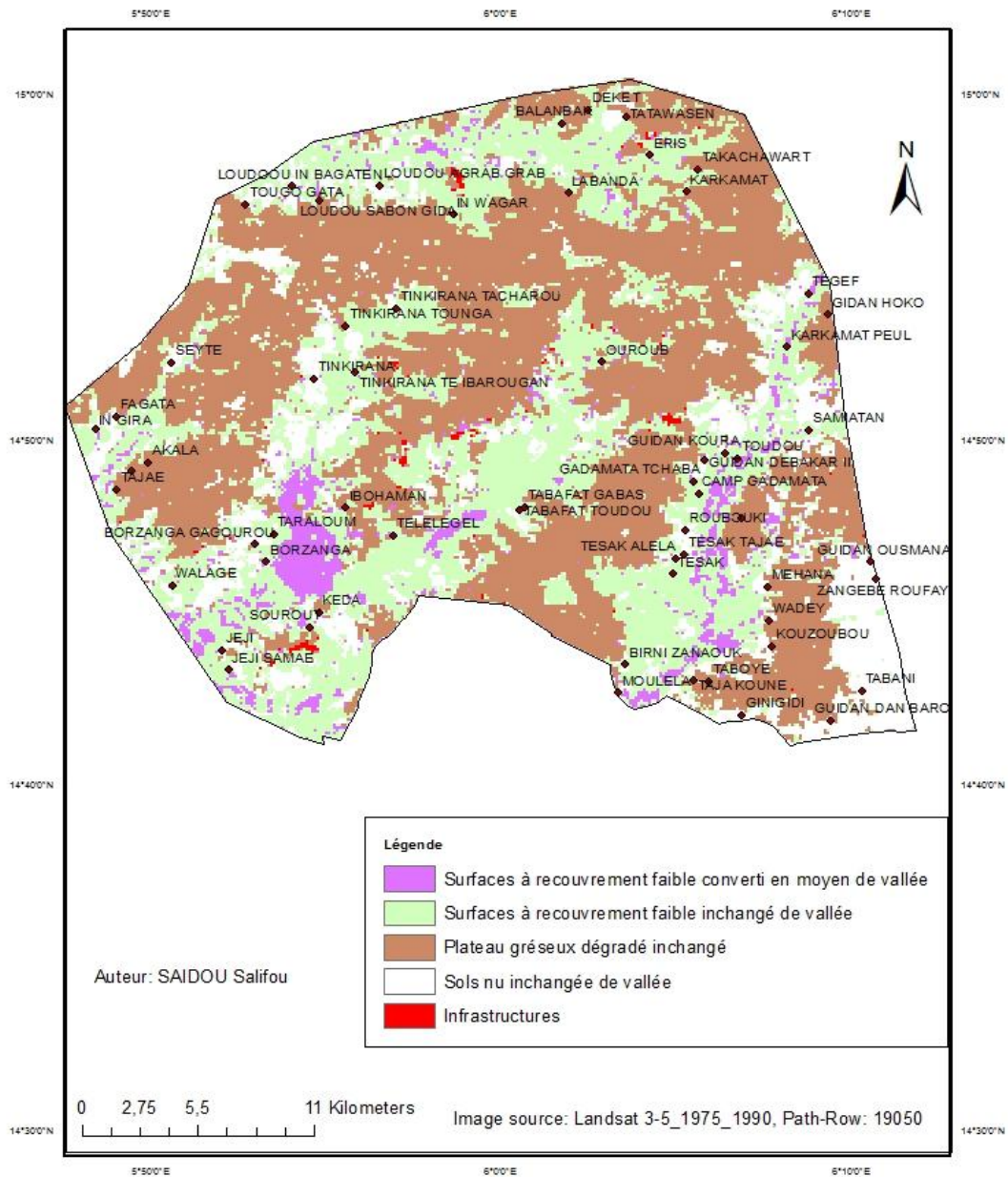


Figure 5: États de changement d'occupation des sols à Ibohamane 1975-1990.

Au cours de la décennie 1990-2000, le changement est nettement plus perceptible avec l'apparition et le développement des gaines végétalisées dans les lits des principaux koris. Au niveau des zones de cultures, persistent les surfaces à recouvrement faible à moyen totalisant 31,55% de la commune (Figure 6).

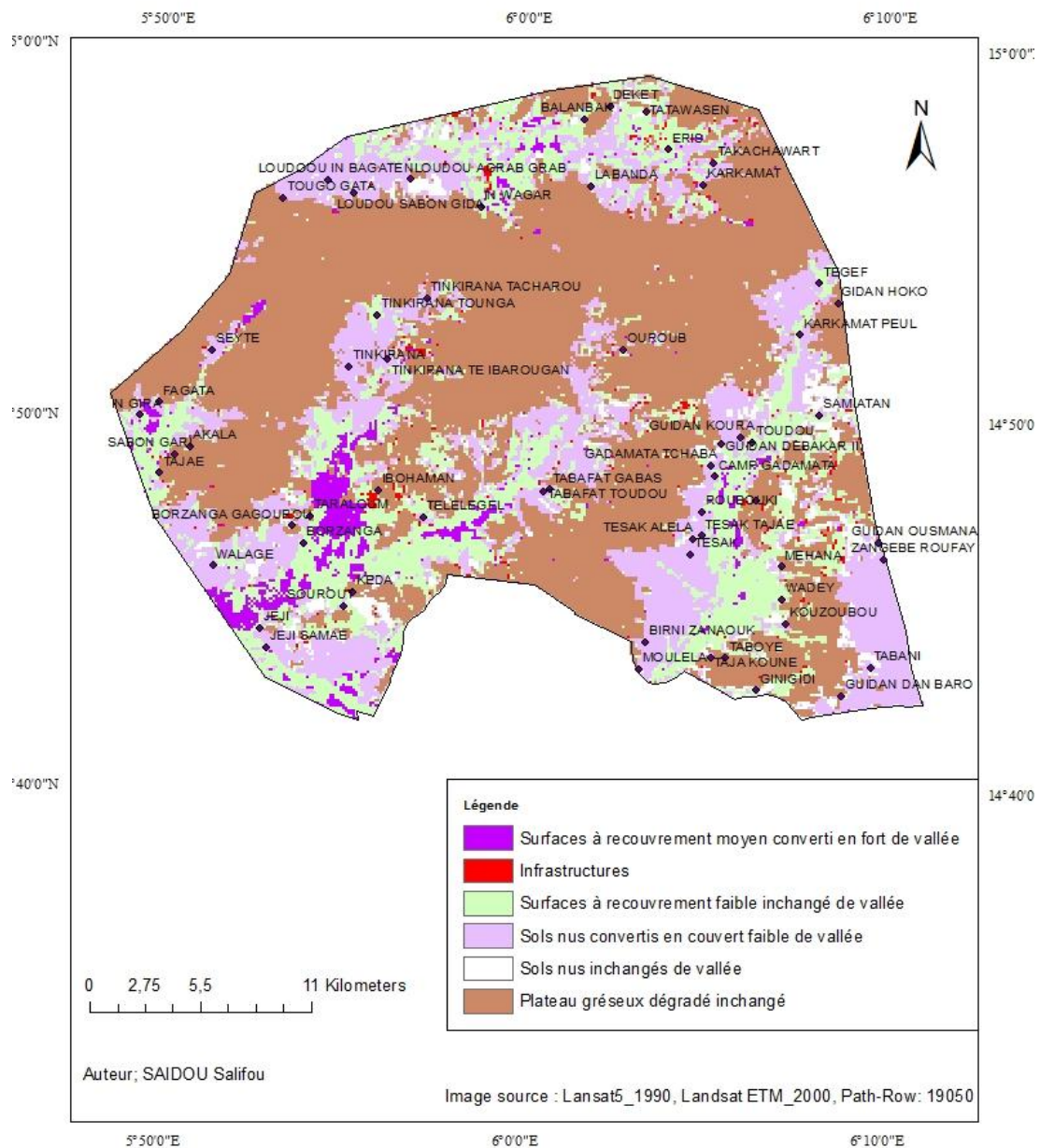


Figure 6: États de changement d'occupation des sols à Ibohamane 1990-2000.

La décennie 2000-2010 est marquée par une tendance à la stabilité des classes d'occupation des sols en particulier les surfaces à recouvrement moyen. Les plateaux gréseux nus sont ponctués par des arbres isolés (Figure 7).

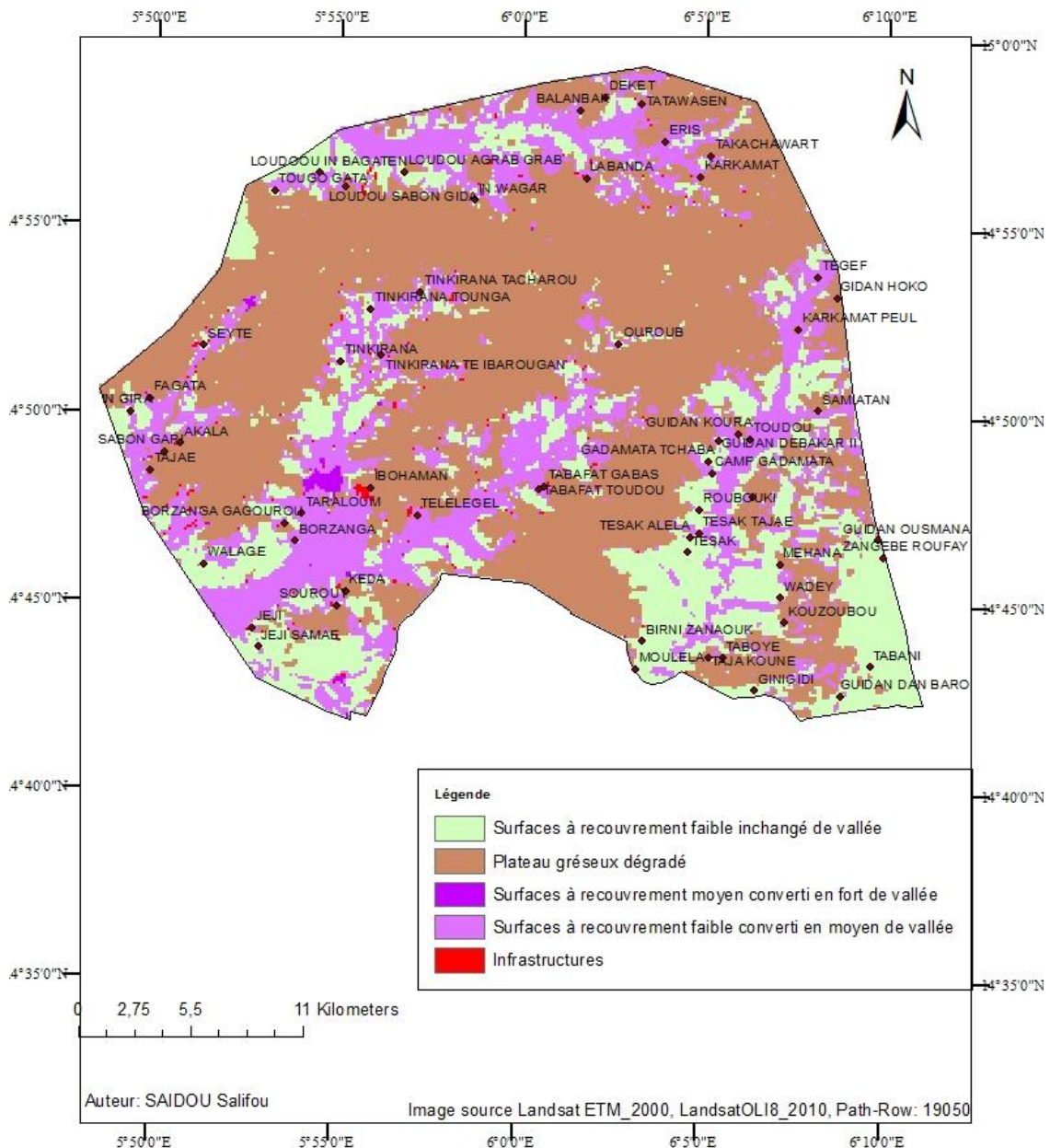


Figure 7: États de changement d'occupation des sols à Ibohamane 2000-2010.

De 2010 à 2019 la dynamique prend de l'importance sur la partie sommitale des plateaux et principalement aux niveaux des zones de dépression où le recouvrement s'intensifie en atteignant 45,53% de l'emprise de la commune. Au niveau des vallées, les surfaces à recouvrement faible se convertissent en surfaces à recouvrement moyen au niveau de la commune. Cela explique la tendance générale à l'uniformisation de la couverture ligneuse des vallées (Figure 8).

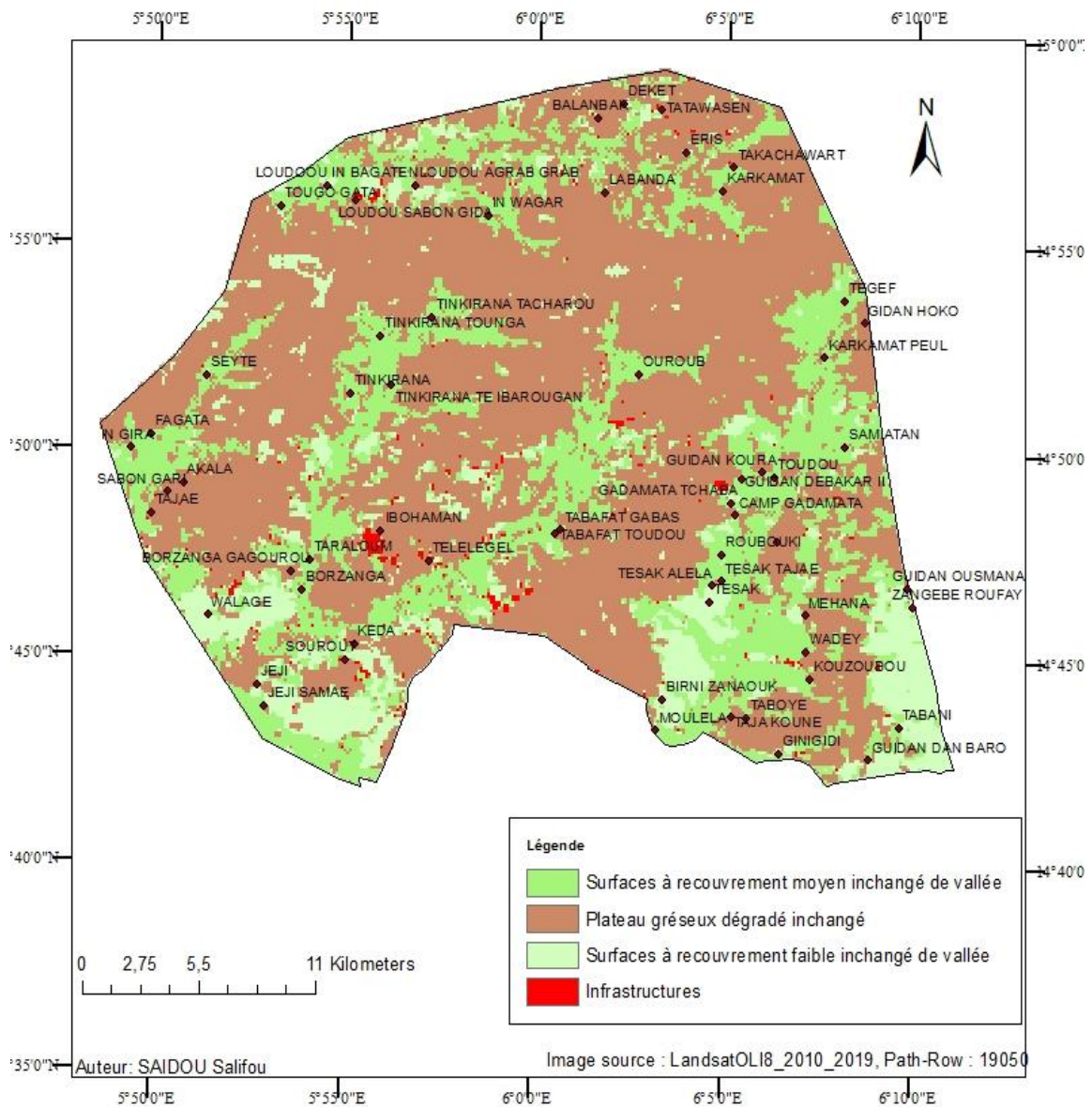


Figure 8: États de changement d'occupation des sols à Ibohamane 2010-2019.

Dominance des classes d'occupation des sols

La configuration du paysage est assujettie à l'arrangement des classes d'occupation des sols et donc des taches qui les constituent. L'examen plus détaillé des classes d'occupation des sols permet de mettre en exergue la nature des tendances du paysage. À cet effet, l'aire totale de classes d'occupation des sols, associée à la dominance constituent des outils privilégiés. Le tableau 4 donne la répartition de l'aire totale et de la dominance relative des classes d'occupation des sols pour les situations des années 1975, 1990, 2000, 2010 et 2019 dans les deux communes.

Tableau 3: Aire totale et dominance par classe d'occupation des sols dans les deux communes

Zone	Aguié		Ibohamane	
	aire totale (km ²)	Pi (%)	aire totale (km ²)	Pi (%)
Paramètres				
Classes 1975				
recouvrement fort	0,00	0,00	0,00	0,00
recouvrement moyen	0,00	0,00	0,00	0,00
recouvrement faible	832,23	34,67	511,69	1,09
Sol nu	280,67	65,18	376,08	98,32
infrastructures	1,64	0,15	4,33	0,60
Total	1114,54	100,00	892,10	100,00
Classes 1990				
recouvrement fort	0,00	0,00	11,31	0,15
recouvrement moyen	440,24	3,61	353,92	7,17
recouvrement faible	456,35	31,98	199,48	33,57
Sol nu	214,66	64,14	323,12	58,64
infrastructures	3,29	0,26	4,27	0,48
Total	1114,54	100,00	892,10	100,00
Classes 2000				
recouvrement fort	366,56	15,05	14,53	3,87
recouvrement moyen	457,19	32,28	392,39	19,32
recouvrement faible	147,14	49,44	109,40	32,35
Sol nu	123,27	1,38	364,58	53,20
infrastructures	20,39	1,84	11,20	1,26
Total	1114,54	100,00	892,10	100,00
Classes 2010				
recouvrement fort	407,84	18,62	18,54	0,39
recouvrement moyen	484,53	43,49	611,93	22,64
Rec_faible	182,86	7,44	103,24	14,94
Sol nu	13,91	1,25	144,08	51,09
infrastructures	25,40	29,21	14,31	0,93
Total	1114,54	100,00	892,10	100,00
Classes 2019				
recouvrement fort	416,90	11,04	20,07	2,25
recouvrement moyen	546,67	75,99	607,22	53,41
Rec_faible	113,50	9,16	118,16	16,59
Sol nu	10,52	3,28	107,24	43,41
infrastructures	26,95	0,53	19,41	2,18
Total	1114,54	100,00	872,10	100,00

La situation de référence de 1975 indique que les deux paysages étaient dans un état de dégradation considérable. Dans les deux cas la matrice englobante est représentée par les sols nus. Au niveau de la commune d'Ibohamane, l'ampleur de la dégradation est davantage plus importante avec une nette dominance des sols nus dégradés sur 98,32% de la commune. À partir de 1990, on voit apparaître des zones à recouvrement moyen sur respectivement de 3,61% et 7,17% de la superficie totale à Aguié et Ibohamane. Au cours de l'année 2000 la tendance au reverdissement se prononce davantage avec plus de vivacité puisqu'elle se manifeste par une apparition des plages à recouvrement fort sur 15,05% et 3,87% de l'aire totale et un agrandissement des taches pour les classes de surfaces à recouvrement moyen atteignant respectivement 32,28% et 19,32% de l'aire totale respectivement à Aguié et Ibohamane.

Sur la situation de l'année 2010 la dynamique adopte une cadence relativement différente sur les deux paysages. Au niveau de la commune d'Aguié, l'emprise graduelle des surfaces à recouvrement fort (18,62% de l'aire totale) et celle des surfaces à recouvrement moyen (43,19% de la commune) s'est maintenue. En revanche, dans la commune d'Ibohamane, la tendance est moins importante, passant de 19,32 à 22,64% de l'aire totale de la commune. L'importance des plateaux gréseux encroutés et fossilisés a probablement tempéré la vivacité des changements. La partie sommitale de ces plateaux représente 61,09% de la superficie totale de la commune en 2010. Ce sont donc les vallées qui constituent les zones privilégiées de la dynamique.

En 2019, la matrice englobante est représentée par les surfaces à recouvrement moyen qui couvrent 546,67km² et 607,22 km² respectivement sur la commune d'Aguié et celle d'Ibohamane soit 75,99% et 43,41% de l'aire totale. Les surfaces nues dégradées n'occupent que 3,28% de l'aire totale à Aguié. Mais sur 43,41% de la commune d'Ibohamane se dressent les plateaux gréseux si bien que dans cette zone, la problématique de la restauration des espaces pastoraux reste une préoccupation majeure.

:

3.2.6 Analyse quantitative des changements d'occupation des sols

Dans les deux cas de figure, l'enjeu apparaît sous l'angle économique. Dans cette perspective il est difficile de percevoir avec plus de clarté la magnitude du reverdissement du paysage sur la base de l'importance de reconversion entre les classes d'occupation des sols. Il est donc apparu nécessaire de compléter cette analyse en se focalisant sur la dynamique de chacune des classes prise individuellement. Le Taux de Changement Global (TCG) et le Taux de Changement Annuel (TCA) constituent des outils appropriés pour suivre et quantifier les modifications subies par une classe d'occupation des sols à l'échelle de temps. Les tableaux 4 et 5 présentent la répartition des valeurs de TCG et TCA par décennie pour chacune des deux communes.

Tableau 4: Ampleur du changement global

Zone	TCG_Aguié (%)				TCG_Ibohamane (%)			
	1975-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2019	1975-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2019
Rc_fort	0,00	100,00	11,26	2,22	100,00	28,52	27,62	8,22
Rc_moyen	100,00	3,85	5,98	12,83	100,00	10,87	55,95	-0,77
Rc_faible	-45,17	-67,76	24,27	-37,93	-61,01	-45,16	-5,63	14,45
Sol nu	-23,52	-42,57	-88,72	-24,37	-14,08	12,83	-60,48	-25,57
Infrast	100,89	518,81	24,60	6,08	-1,35	162,21	27,70	35,67

Légende : TCG : Taux de Changement Global, Rc_fort : recouvrement fort, Rc_moyen : recouvrement moyen, Rc_faible : recouvrement faible, Infrast : infrastructures.

Tableau 5: Ampleur du changement annuel

Zone	TCA_Aguié (%)				TCA_Ibohamane (%)			
	1975-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2019	1975-1990	1990-2000	2000-2010	2010-2019
Rc_fort	0,000	1,000	0,011	0,002	1,000	0,025	0,024	0,009
Rc_moyen	1,000	0,004	0,006	0,013	1,000	0,010	0,044	-0,001
Rc_faible	-0,040	-0,113	0,022	-0,053	-0,063	-0,060	-0,006	0,015
Sol nu	-0,018	-0,055	-0,218	-0,031	-0,010	0,012	-0,093	-0,033
Infrast	0,047	0,182	0,022	0,007	-0,001	0,096	0,024	0,034

Légende : TCA : Taux de Changement Annuel, Rc_fort : recouvrement fort, Rc_moyen : recouvrement moyen, Rc_faible : recouvrement faible, Infrast : infrastructures.

L'examen des valeurs du TCG montre des grandes fluctuations pour les deux communes. Les valeurs positives indiquent une progression. La tendance est régressive lorsqu'elles sont négatives. Elles s'approchent de zéro si la classe est relativement stable. Les classes de surfaces à recouvrement faible et les sols nus accusent une tendance régressive sur toutes les décennies dans les deux paysages. Pour les sols nus, cette régression va de -23,5 à -88,72% à Aguié puis de -14,08 à -60,49% à Ibohamane pour la période 1975-1990. Le niveau de réduction des surfaces à recouvrement faibles quant à lui varie de -37,93 à -67,76% à Aguié et de -5,63 à -61,01% à Ibohamane. Concomitamment on enregistre une nette progression des surfaces à recouvrement fort et à recouvrement moyen dans les deux paysages. Dans la commune d'Aguié, ces deux classes progressent de 100% de la situation initiale entre 1975 et 1990 pour les surfaces à recouvrement moyen et le même niveau est atteint entre 1990 et 2000 par les surfaces à recouvrement fort. Au niveau de la commune d'Ibohamane, les surfaces à recouvrement fort et celles à recouvrement moyen ont toutes les deux progressé de 100% dès la première décennie (Figure 9).

Avec le TCA, on obtient une description beaucoup plus détaillée puisqu'il donne une mesure de la cinétique annuelle des changements par classe d'occupation des sols. Si sa valeur tend vers 1, l'augmentation annuelle de la superficie de la classe considérée est forte. Au voisinage de zéro, la classe est dite en état stationnaire et lorsqu'elle est négative, la tendance est alors régressive. De façon schématique, le tableau 10 montre que l'évolution des valeurs de TCA pour les quatre décennies et dans les deux paysages épouse assez nettement celle du TCG.

Il est donc nécessaire de vérifier cette évolution sur l'angle global en mettant l'emphase sur les valeurs cumulées des TCG et TCA, puisqu'elles garantissent une plus grande visibilité sur les tendances globales dans les deux paysages. Sur la Figure 9 il se dégage une nette tendance à l'anthropisation beaucoup plus élevée au niveau de la commune d'Aguié comparée à celle d'Ibohamane. De plus la tendance régressive des surfaces à recouvrement faible et des sols nus s'en trouve confirmée. Globalement, le couvert ligneux montre une forme d'uniformisation tranchée à tendance recouvrement moyen.

Lorsqu'on examine l'évolution annuelle de chaque classe à travers les valeurs cumulées du TCA (Figure 10), les surfaces à recouvrement fort et celles à recouvrement moyen accusent une nette dominance à des proportions sensiblement égales entre les deux paysages. Le niveau de densification anthropique annuel des deux paysages est relativement modéré. En revanche, la tendance régressive des surfaces à recouvrement faible

et les sols nus se confirme. L'amenuisement des sols nus au profit des classes plus reverdies est plus accentué à Aguié comparativement à Ibohamane.

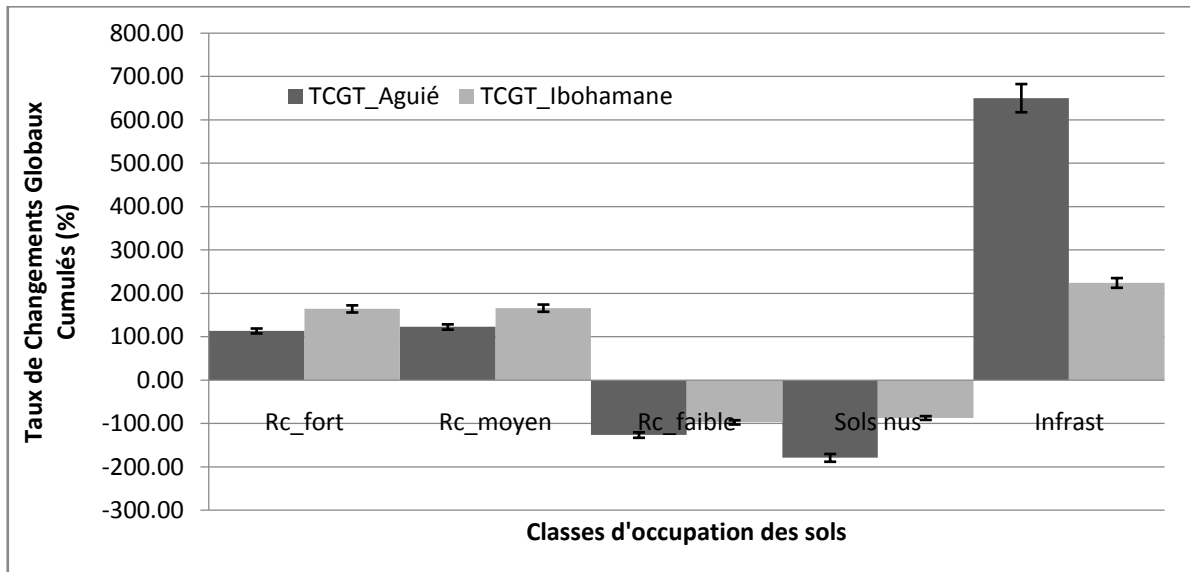


Figure 9: Taux des Changements Globaux cumulés.

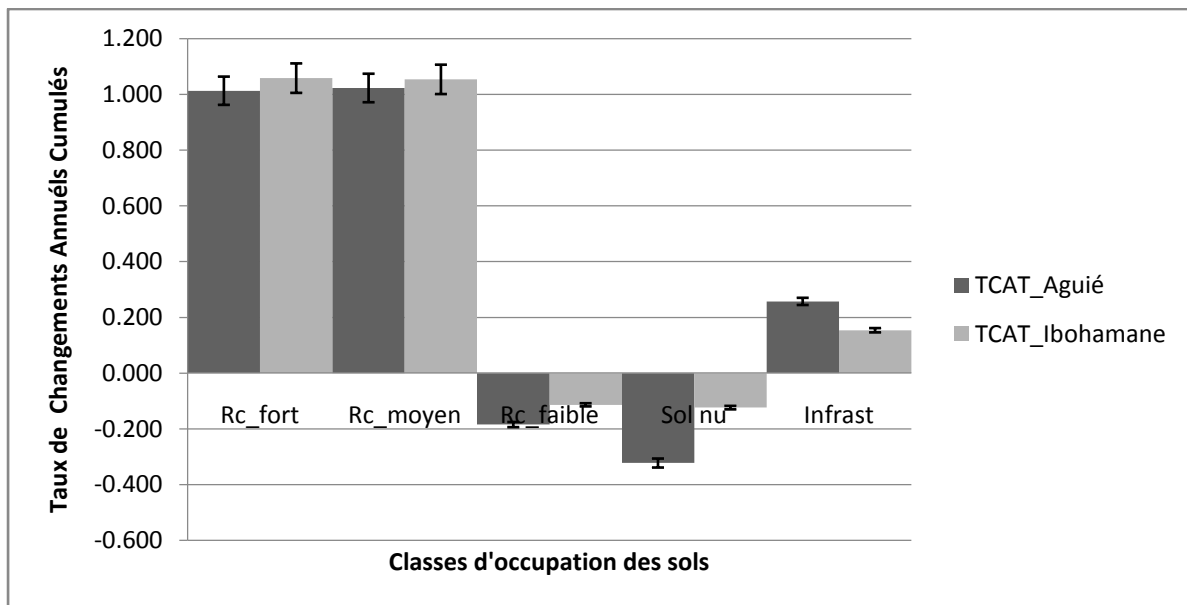
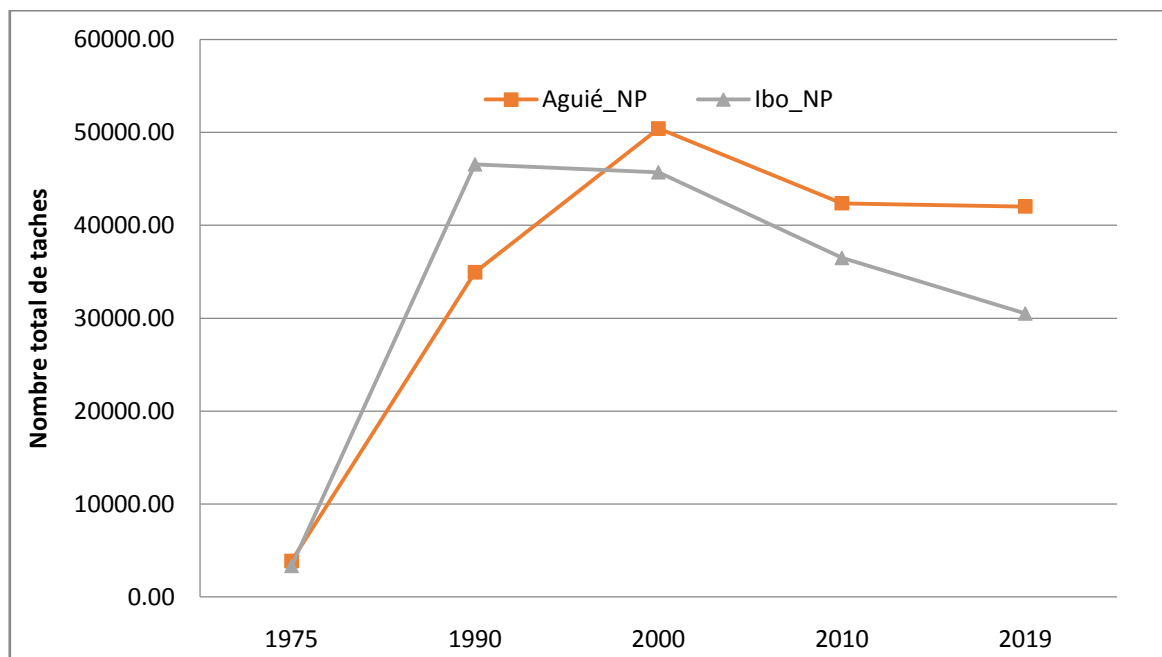


Figure 10: Taux des Changements Annuels Cumulés.

Processus écologiques associés à la dynamique paysagère à l'échelle du paysage

La Figure 11 donne l'évolution du nombre total des taches d'occupation des sols de 1975 à 2019 dans les deux paysages. Les deux courbes adoptent la même allure suggérant ainsi une structuration sensiblement similaire des deux paysages. Elle montre une phase de croissance exponentielle au cours de la période 1975-2000 suivie d'une phase de relative constance, voire une très légère diminution, au cours de la décennie 2010. Sur le plan écologique quatre processus majeurs peuvent être associés à cette dynamique spatiale. La première phase de croissance exponentielle du nombre de taches est consécutive à un processus de création des nouvelles classes et de fragmentation de la matrice globale des sols nus. À partir de l'année 2010 le nombre de taches varient faiblement. Cela traduit l'entrée en jeu de deux processus, l'agrandissement et l'agrégation des taches des surfaces à recouvrement fort et à recouvrement moyen aux dépens des sols nus et des surfaces à recouvrement faible. Ces résultats se reflètent assez clairement sur la cartographie des ces deux communes qui montraient une quasi stabilité dans les gammes des classes d'occupation des sols à la suite de l'amenuisement complet des sols nus sur les plateaux dunaires de la commune d'Aguié et sur les vallées de la commune d'Ibohamane.



Légende: NP: Nombre de taches

Figure 11 : Évolution du nombre total de taches d'occupations des sols à l'échelle du paysage des communes.

Diversité des taches des classes d'occupation des sols

La variabilité de la dynamique spatio-temporelle donne une mesure des mutations qui ont affecté le paysage de 1975 à 2019. La richesse des taches (PRD), l'indice de Shannon-Weaver (SHDI) et l'indice d'agrégation (AI), peuvent permettre d'apprécier qualitativement les processus écologiques à la base de cette amélioration de la couverture ligneuse. Le Tableau 6 donne la répartition des valeurs de ces trois indices.

Tableau 6: Indices de diversité et niveau d'agrégation de la structure spatiale

Zone	Aguié			Ibohamane		
	PRD	SHDI	AI	PRD	SHDI	AI
1975	0,0027	0,58	92,47	0,0045	1,45	88,40
1990	0,0036	0,79	79,77	0,0067	1,55	74,86
2000	0,0045	1,13	71,08	0,0067	1,56	77,18
2010	0,0045	1,28	65,77	0,0067	1,24	81,92
2019	0,0045	0,71	86,73	0,0067	1,33	81,58

Légende : PRD : Percentage of Richness Density, SHDI : Shannon Density Index, AI : Aggregation Index.

Pour les deux paysages, les valeurs de PRD ont augmenté légèrement entre 1975 et 1990 avant de se stabiliser à partir de 1990. Cela reflète la fragmentation des sols nus avec le début des actions de révégétalisation du milieu. Les valeurs du SHDI sont faibles à Aguié comparativement à Ibohamane, les taches sont beaucoup plus diversifiées à Ibohamane compte tenu de la nature du relief assez contrasté. Mais l'indice d'agrégation des taches est légèrement plus élevé sur la situation d'Aguié par rapport à celle d'Ibohamane. En fait le plateau dunaire de la commune d'Aguié se prête favorablement à la pratique de RNA qui exprime le meilleur potentiel.

Influence de l'anthropisation sur la tendance au reverdissement

L'influence anthropique sur les mutations du paysage a été évaluée à travers le niveau de corrélation entre les classes d'occupation des sols. L'indice de dimension fractale de l'aire et périmètre PAFRAC (Perimeter Area Fractal Dimension) mesure la magnitude des différences morphologiques entre les taches constituant le paysage. Lorsque les valeurs de cet indice avoisinent le nombre 2, les taches présentent alors des formes géométriques simples, associées à l'action humaine sur le paysage. Au cours des 4 dernières décennies, les valeurs du PAFRAC ont augmenté de façon modérée sur les deux paysages (Figure 12). Il varie de 1,43% en 1975 à 1,61% en 2010 au niveau du paysage d'Aguié. En revanche, la valeur du PAFRAC passe de 0,76 en 1975 à 1,51 en 2019 dans le cas du paysage d'Ibohamane. Ces résultats permettent de déduire que le peuplement

humain est beaucoup plus important au niveau du paysage d'Aguié par rapport à celui d'Ibohamane. La nature du sol et celle du relief offrant des conditions agricoles plus propices sur les plateaux dunaires d'Aguié militent en faveur de l'anthropisation de cette zone.

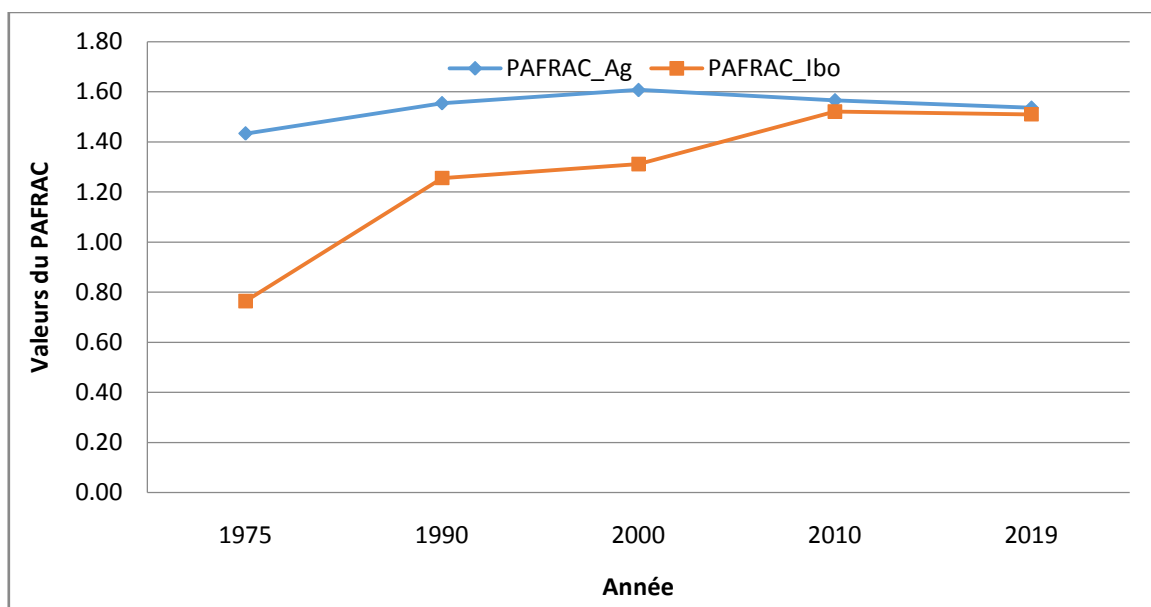


Figure 12: Évolution des dimensions fractales (PAFRAC) à l'échelle du paysage.

L'analyse spatiale a conclu à une anthropisation plus ou moins graduelle du paysage dans les deux communes. Il s'agit cette fois-ci de nuancer les liens qui existent entre cette forte densification anthropique du paysage et la tendance au reverdissement exprimée par les surfaces à recouvrement fort et celles à recouvrement moyen. Ceci a été fait au moyen des tests de corrélation sur les variations décennales de l'aire par classe d'occupation des sols. Le Tableau 7 donne les valeurs du coefficient de corrélation R^2 issue de ces tests.

Tableau 7: Valeurs de R^2 et p-values au seuil de 5% de corrélation entre classes d'occupation des sols croisées avec celle des infrastructures.

Localité	Aguié		Ibohamane	
	Valeurs de R^2	p-values :	Valeurs de R^2	p-values :
Recouvrement ligneux fort	0,98	0,001	0,71	0,073
Recouvrement ligneux moyen	0,54	0,158	0,69	0,084
Recouvrement ligneux faible	0,81	0,037	0,46	0,207
Sol nu	0,94	0,006	0,72	0,067
Infrastructures	1,00	0,00	1,00	0,00

De l'analyse des résultats contenus dans le Tableau 7 il ressort une corrélation de 0,98, significative au seuil de 5% entre la classe à recouvrement fort et celle des infrastructures dans le cas du paysage d'Aguié. Dans cette commune, le niveau de corrélation est nettement moyen entre la classe infrastructure et les surfaces à recouvrement moyen. Il est tout de même important de relever que dans cette zone, la valeur de R^2 de 0,94 entre la classe des sols nus et celle des infrastructures pose la problématique du mode d'utilisation des terres défavorable au reverdissement. En revanche, dans le paysage d'Ibohamane les surfaces à recouvrement fort et celles à recouvrement moyen avec respectivement 0,71 et 0,69 donnent une bonne corrélation avec la classe infrastructure dans des proportions sensiblement égales. Il faut également remarquer que dans ce cas particulier la valeur élevée de R^2 entre les sols nus et la classe des infrastructures évoque l'influence des parties sommitales des plateaux gréseux difficilement colonisables par le couvert ligneux.

IV. Discussion

Évaluation de la précision cartographique

Il est connu que l'information cartographique est influencée par trois facteurs : la définition des classes thématiques, l'échelle et l'interprétation des données terrain. Cette dernière est celle qui influence le plus le produit cartographique. En général, une précision supérieure à 50% est de rigueur. C'est dire que mis à part les sources d'erreur cartographique précédemment décrite, la précision globale de 87,36 et 90,05% obtenue dans la

cartographie et celle de coefficient Kappa respectivement dans le cas de la commune d'Aguié et celle d'Ibohamane obtenus dans cette étude sont statistiquement acceptables dans l'analyse de la dynamique spatiale. Ces valeurs s'approchent de celles obtenues par Sadda et al.[25] qui ont trouvé une précision globale allant de 77 à 91% et du coefficient Kappa de 67 à 82% dans une étude cartographique portant sur la dynamique paysagère dans la commune de Tibiri région de Maradi, zone sensiblement proche du cadre de cette étude.

Lepers et al. ont souligné que les modes d'utilisation des terres en zones arides constituent une des difficultés majeures lors de l'interprétation des données satellitaires[17]. Il est donc probable que la précision cartographique du paysage d'Ibohamane soit sous-appréciée par suite de la non prise en compte du couvert ligneux sur les versants des plateaux qui constitue le gage des actions de végétalisation issues des aménagements réalisés au début des années 80. Les espèces utilisées dans les plantations sur les ouvrages de CES/DRS sont essentiellement des légumineuses. Ces essences seraient au stade de défeuillaison aux dates de prises des images utilisées dans cette étude. En zone soudanienne par exemple, il a été relevé par Soulama et al.[26], que les feux de brousse peuvent altérer la qualité des images puisque la chaleur retransmet dans l'infrarouge. Cette source d'erreur serait moins importante en zone sahélienne.

Mis à part ces difficultés, ces résultats suggèrent qu'il est possible d'établir une cartographie avec un niveau de précision relativement acceptable des zones dunaires et celles à contrastes géomorphologiques marqués du Sahel. De plus les images satellitaires de moyenne résolution (30 m) de type landsat peuvent garantir cette précision si les points de contrôle sont judicieusement choisis et si la phase d'interprétation met à profit d'autres sources de données comme celles provenant de Google EarthPro.

Dynamique de la structure spatiale du paysage des deux communes

Les cartes de changements d'occupation des sols ont donné une description plus ou moins complète de la physionomie du paysage dans les deux communes concernées par cette étude. Elle indique une structuration orientée vers une augmentation du recouvrement à partir des sols nus dégradés. Sur le plan de la distribution spatiale, le schéma suivant lequel s'est établie cette tendance à l'amélioration du couvert ligneux est variable selon la nature du relief. Sur les ondulations sableuses du paysage d'Aguié, la tendance à l'augmentation du recouvrement est beaucoup plus uniforme mais plus accentuée dans la partie nord où la densité des habitations est importante. Elle représente une augmentation globale de 72,65% entre 1975 et 2019. Au niveau du paysage au relief accidenté d'Ibohamane, la tendance à l'amélioration du couvert ligneux est circonscrite aux vallées. Elle représente 66,05% au cours de 1975-2019. En somme, l'importance de la couverture ligneuse exprime une corrélation positive avec le niveau de concentration humaine. Pour ainsi dire, le reverdissement est plus prononcé dans les zones de concentration anthropique. A la faveur des travaux d'aménagement incluant les actions de CES/DRS couplées à des plantations d'arbres, le paysage de cette commune a subi une forte métamorphose au cours de la décennie 1975-1990. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Bagnian[2] dans la partie nord de la commune d'Aguié, terroir de Dan Saga qui a obtenu au moyen d'une analyse diachronique de l'occupation des sols entre 1975 et 2011 une augmentation de 2,07% des cultures pluviales sous parcs arborés. Mortimore et al.[22] ont obtenu des résultats analogues dans la province de Machakos au Kenya. En fait sur une durée de quinze ans, la couverture végétale est rythmée par une cyclicité de restauration et de dégradation sous l'effet du facteur anthropique [3]. En revanche dans la partie Ouest nigérienne Biga et al.[4] avaient montré que les zones de cultures et de bâtis ont accru du simple au double au détriment des zones naturelles et jachère. On voit bien que dans l'anthropisation influe faiblement sur l'amélioration de la couverture ligneuse.

Dominance de l'occupation des sols dans les deux communes

La classe des sols nus domine nettement sur la situation de référence de 1975 avec respectivement : 65,18 et 98,32% de l'aire totale sur le paysage d'Aguié et celui d'Ibohamane. Il s'est produit graduellement une amélioration de la couverture ligneuse au détriment de sols nus si bien que la situation de 2019 montre une nette dominance des surfaces à recouvrement moyen sur une emprise de 75,99 et 53,41% de l'aire totale respectivement à Aguié et Ibohamane. Ces résultats sont en harmonie avec ceux des travaux de plusieurs auteurs parmi lesquels ceux de Dardel et al.[9], de Larwanou & Saadou[16] et de Botoni et al.[6]. Des résultats similaires ont été obtenus par Koffi et al.[13] qui ont enregistré une densification de la végétation ligneuse passant de 7,56 à 39,21% entre 2000 et 2015 dans la province de Yoto au Sud-Est du Togo. Dans la plupart des cas, cette amélioration de la couverture ligneuse provient de l'utilisation des pratiques agroforestières. Cela confirme la tendance lente mais inexorable du reverdissement des zones fortement anthropisées du Sahel.

Processus écologiques associés à la dynamique spatiale du paysage des deux communes

Trois processus écologiques sont associés à cette dynamique. L'augmentation des nombres des taches démontre une fragmentation de la matrice de la classe des sols et une création de nouvelles classes à partir de celles de la référence de 1975. Des taches des surfaces à recouvrements fort et moyen ont été créées au

détriment de sols nus au cours de la décennie 1975-1990. Ultérieurement il s'est produit un agrandissement suivi d'une agrégation des surfaces à recouvrement fort et celles à recouvrement moyen. Les mêmes tendances ont été enregistrées par Mama et al.[20] sur la dynamique d'une zone de transition savanes-forêt au Bénin. Dans le cas du paysage d'Aguié, ces deux processus font suite à l'utilisation à grande échelle des pratiques agroforestières comme la Régénération Naturelle Assistée (RNA). Au niveau du paysage d'Ibohamane, on attribue à ces deux processus, la réalisation des travaux d'aménagement et de plantation des espèces notamment légumineuses comme *Acacia senegal*, *Acacia seyal*, *Acacia ehrenbergiana* sur les bassins versants, entrepris par les projets de reboisement. Cela laisse supposer que le processus de fragmentation du paysage serait une des empreintes majeures de l'action de l'Homme.

Influence anthropique sur la dynamique spatiale du paysage des deux communes

Sur la base de la dynamique spatio-temporelle, l'influence de l'action anthropique sur l'amélioration du couvert ligneux est mesurée au moyen de la dimension fractale représentée ici par l'indice PAFRAC [14]. Dans les deux paysages, les valeurs du PAFRAC oscillent en moyenne autour de 1,50. Les taches présentent donc des motifs à géométrie variable, caractéristiques des domaines naturalisés. Il est couramment admis que les valeurs du PAFRAC varient de façon inversement proportionnelle à l'indice de perturbation anthropique sur le milieu. Lorsqu'elles sont faibles c'est alors que la pression anthropique est élevée. Dans ce cas particulier c'est plutôt l'action humaine qui a favorisé le retour à des conditions écologiquement proches des domaines naturels[10] constataient que la dimension fractale peut décliner en dehors de tout effet anthropique ou topographique. Larwanou et al.[15] ont montré le rôle déterminant de l'action de l'homme sur l'amélioration de la phytodiversité ligneuse dans les régions de Maradi, Tahoua et Tillabery à travers les pratiques de récupération des terres dégradées à l'aide des techniques de lutte antiérosives par l'utilisation des mesures mécaniques couplées aux mesures biologiques. Mama et al.[20] ont obtenu des dimensions fractales faibles par suite de la mise en culture du coton qui, on le sait, favorise un éclaircissement du milieu. Alfred[1] constatait que la densité de population exprime une corrélation positive avec l'augmentation de la biomasse ligneuse dans certains pays de l'Afrique comme le Kenya. Et justement pour mieux nuancer ce paradoxe apparent des tests de corrélation ont été faits. Il en est ressorti que les surfaces à recouvrement fort expriment la meilleure corrélation ($R^2= 0,98$) significative (au seuil de 5%) avec la classe infrastructures dans le cas du paysage d'Aguié. Ces résultats confortent le lien étroit qui existe entre la densification anthropique du milieu et la tendance au reverdissement.

V. Conclusion

Sur la référence de l'état d'occupation des sols de 1975, les paysages des communes d'Aguié et d'Ibohamane sont largement dominés par des sols nus dégradés, reflétant les crises écologiques des années 1970-1980. Les quatre décennies qui ont suivi ces crises ont été marquées par un reverdissement graduel et soutenu du paysage. Cette tendance s'est traduite par une reconversion de sols nus à travers une augmentation du recouvrement de la végétation ligneuse. Ces résultats ont également conclu à une corrélation significative entre l'amélioration de la couverture ligneuse et l'anthropisation exprimée par le niveau d'installations humaines. La contribution des efforts humains a été donc déterminante dans la construction de cette mutation paysagère. De plus, les surfaces à recouvrement fort et moyen sont agencées selon un schéma différent selon la nature du modelé. Sur le plateau dunaire de la commune d'Aguié, le paysage adopte de plus en plus une tendance uniforme des surfaces boisées tandis que sur le paysage de la commune d'Ibohamane, la tendance est plus accentuée au niveau des vallées où se concentre l'essentiel des potentialités agricoles. Ces résultats peuvent servir à l'évaluation des ressources paysagères en vue de la formulation des schémas d'aménagement de ces paysages.

Références bibliographiques

- [1]. Alfred, E., 'Land Use Change in the Tropics and Its Effect on Soil Fertility', in *Soil Solutions for a Changing World* (presented at the 19th World Congress of Soil Science, Brisbane: Published on DVD, 2010)
- [2]. Bagnian, I., 'Résilience des agroécosystèmes au Sahel : analyse du reverdissement dans le centre Sud du Niger' (unpublished Doctorat unique, Abdou Moumouni de Niamey, 2014)
- [3]. Barima, Y. S. S., N. Barbier, I. Bamba, D. Traoré, J. Lejoly, and J. Bogaert, 'Dynamique Paysagère En Milieu de Transition Forêt-Savane Ivoirienne', *Bois et Forêts Des Tropiques*, 229.1 (2009), 11
- [4]. Biga, I., A. Amani, I. Soumana, M. Bachir, and A. Mahamane, 'Dynamique Spatio-Temporelle de l'occupation Des Sols Des Communes de Torodi, Gothèye et Tagazar de La Région de Tillabéry Au Niger', *Int J. Biol. Chem. Sci.*, 14.3 (2020), 949-65
- [5]. Bogaert, J., R. Ceulmans, and E. D. Salvador-Van, 'Decision Tree Algorithm for Detection of Spatial Processes in Landscape', *Environ. Manage.*, 33 (2004), 62-73
- [6]. Botoni, E., M. Larwanou, and C. Reij, *La Régénération Naturelle Assistée (RNA) : Une Opportunité Pour Reverdir Le Sahel et Réduire La Vulnérabilité Des Populations Rurales, Etude Sahélienne (Niamey/ Niger, 2005)*
- [7]. Brabant, P., *Activités Humaines et Dégradation Des Terres : Indicateurs et Indices.*, Géosciences Au Service de l'Humanité, IRD (France: Planète terre, 2008)
- [8]. Brandt, M., G. Trappan, A. A. Diouf, G. Beye, C. Mbow, and R. Fensholt, 'Woody Vegetation Die off and Regeneration in Responses to Rainfall Variability in the West African Sahel', *Remote Sens.*, 9.39 (2017), 1-21 <<https://doi.org/10.3390/rs9010039>>

- [9]. Dardel, C., L. Kergoat, P. Hiernaux, E. Mougin, M. Grippa, and C. J. Tucker, 'Re-Greening Sahel: 30 Years of Remote Sensing Data and Field Observations (Mali, Niger)', *Remote Sensing of Environment*, 140 (2014), 350–64
- [10]. Eric, J. G., and R. P. George, 'Relationship between Landcover Proportion and Indices of Landscape Spatial Pattern', *Landscape Ecology*, 7.2 (1992), 101–10
- [11]. Evequoz, M., and Y. Guero, *Durabilité Écologique Du Système de Production Agricole Nord-Sahélien*, Conservation et Gestion Des Eaux et Des Sols Au Niger (GTZ Allemagne, 2000)
- [12]. Guengant, J. P., and M. Banoïn, *Dynamique Des Populations, Disponibilités En Terres et Adaptation Des Régimes Fonciers : Le Cas Du Niger*, Mumpasi LUTUTALA (Francis GENDREAU, 2003)
- [13]. Koffi, D. K., B. Tchao, and T. Thiou, '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, 13, 2016, 138–56
- [14]. Krummel, J. R., R. H. Gardener, G. Sugihara, R. V. O'Neill, and P. R. Colemann, 'Landscape Patterns in a Disturbed Environments', *Oikos*, 48 (1987), 321–24
- [15]. Larwanou, M., I. Oumarou, L. Snook, I. Danguimbo, and O. Eyog-Matig, 'Pratiques Sylvicoles et Culturelles Dans Les Parcs Agroforestiers Suivant Un Gradient Pluviométriques Nord-Sud Dans La Région de Maradi Au Niger', *Tropicicultura*, 28.2 (2010), 115–22
- [16]. Larwanou M., and Saadou M., 'Influence Du Régime de Coupe Sur La Régénération de l'espèce *Acacia Nilotica* (L.) Wild Dans Une Formation Des Bas-Fonds (Forêts de Korop) Au Niger', *Etudes et Recherches Sahéliennes*, 2006, pp. 34–40
- [17]. Lepers, E., E. F. Lambin, A. C. Janetos, R. L. Ayena, F. Achard, N. Ramankutty, and others, 'A Synthesis of Information on Rapid Land-Cover Change for the Period 1981-2000', *BioScience*, 55 (2005), 115–24
- [18]. Leproux, L., A. Bégué, D. Loseen, A. Jolivet, and F. Kayitakire, 'Driving Forces of Recent Vegetation Change in the Sahel: Lessons Learned from Regional and Local Level Analyses', *Remote Sensing of Environment*, 191 (2017), 38–54 <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01014>>
- [19]. Liniger, H. P., M. Douglas, and G. Schwilch, *Towards Sustainable Land Management: Common Sense and Some Other Key Missing Elements (the WOCAT Experience)*, Conservation Soil and Water for Society Sharing Solutions, 13th International Soil Conservation Organization Conference Brisbane (Brisbane: ISCO, 2004)
- [20]. Mama, A., B. Sinsin, C. Cannière, and J. Bogaert, 'Anthropisation et Dynamique Des Paysages En Zone Soudanienne Au Nord Benin', *Tropicicultura*, 31.1 (2013), 78–88
- [21]. McKevin, G., and E. Eduard, *A Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps Fragstats 4.2 1.603 Software*, version 4.2 1.603, 2013
- [22]. Mortimore, M., M. Tiffen, Y. Boubacar, and J. Nelson, *Synthesis of Long-Term Change in Maradi Department, Niger, 1960-2000*, Drylands Research, 39, Somerset (Royaume-Uni, 2001)
- [23]. Moussa, M., and M. Larwanou, 'Caractérisation Des Peuplements Ligneux Des Parcs à *Faidherbia Albida* (Del) A. Chev. Et à *Prosopis Africana* (Guill., Perrot et Rich.) Taub. Du Centre-Sud Nigérien', *J. Appl. Biosci.*, 94 (2015), 8890–8906 <<http://dx.doi.org.10.4314/jab.v94i1.6>>
- [24]. Noyola-Medrano, C., C. Mering, and B. A. Rojas, *Evaluation Du Changement de l'occupation Du Sol à l'aide Ds Images Landsat et Spot: Champ Volcanique de La Siera Chichinautzin (Mexique)*, 24th International Cartography Conference (Mexique: The World's Geo-Spatial Solutions, 2009), p. 12
- [25]. Satta, A-S., A. Diouf, S. Lawali, M. Ouedrago, J. Bogaert, and A. Mahamane, 'Pression Anthropique et Dynamique Paysagère En Zone Rurale Semi-Aride : Cas de La Commune de Tibiri, Région de Maradi (Niger)', *Tropicicultura*, 34.2 (2016), 127–39
- [26]. Soulama, S., A. Kadeba, B. Nacoulma, S. Traoré, Y. Bachmann, and A. Thiombiano, 'Impact Des Activités Anthropiques Sur La Dynamique de La Végétation de La Réserve Partielle de Faune de Pama et Ses Périphéries (Sud-Est Du Burkina Faso) Dans Un Contexte de Variabilité Climatique', *J. Biosciences*, 87 (2015), 8047–64

SAIDOU Salifou, et. al. "Recent landscape dynamic in the anthropized Sahel zone's : from degradation to greening, case study of Aguié and Ibohamane municipalities" *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JAVS)*, 13(12), 2020, pp. 08-26.