



**Journal of Applied Biosciences 160: 16536 - 16552**  
**ISSN 1997-5902**

## **Dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres en zones soudano-guinéennes au Tchad : cas du paysage écologique de Larmanaye**

Submitted on 3<sup>rd</sup> February 2021. Published online at [www.m.elewa.org/journals/](http://www.m.elewa.org/journals/) on 30th April 2021  
<https://doi.org/10.35759/JABs.160.9>

### **RÉSUMÉ**

*Objectif :* La zone écologique de Larmanaye regorge d'importantes ressources végétales et animales, associées à une diversité d'écosystèmes aux fonctions multiples, malheureusement peu connues et menacées. L'objectif étude était d'analyser la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres de la zone sur une période de 32 ans (1986-2018).

*Méthodologie et résultats :* Les images satellitaires TM (1986), ETM+ (2001) et OLI - TIRS (2018) de Landsat, couplées aux investigations terrain ont été utilisées et traitées par l'algorithme de Maximum de vraisemblance sur ENVI 5.3. Les résultats obtenus révèlent une dynamique régressive des formations savanicoles et galeries forestières au profit surtout des champs et jachères. Le taux annuel de déforestation est passé de 1,08 % au cours de la période 1986-2001 à 1,81 % entre 2001 et 2018. Ceci résulte de la forte pression humaine exercée sur les formations végétales.

*Conclusion et application des résultats :* L'analyse de la dynamique du paysage écologique de Larmanaye montre que l'ensemble des formations ligneuses naturelles font de plus en plus place aux formations anthropiques (champs-jachères, bâtis et sols nus). Ainsi, durant 32 ans, les unités d'occupation des terres ont subi des transformations spatiales de fragmentation et d'anthropisation conduisant inexorablement vers un déclin de la biodiversité. Toutes les informations générées au cours de ce travail présentent un intérêt majeur pour les décideurs et la communauté scientifique qui évaluent les décisions touchant à l'utilisation des ressources naturelles. En effet, ces résultats constituent donc une base d'informations environnementales indispensables pour des applications

allant de la planification de l'aménagement du territoire, du suivi de la couverture forestière et à la production de statistiques environnementales.

**Mots clés :** *Dynamiques, paysage écologique, occupation des terres, Larmanaye-Tchad.*

## **Spatio-temporal dynamics of land use in Sudano-Guinean areas in Chad : case of the ecological landscape of Larmanaye**

### **ABSTRACT**

*Objective:* The ecological zone of Larmanaye abounds in important plant and animal resources, associated with a diversity of ecosystems with multiple functions, unfortunately little known and threatened. The study aimed to analyse the spatio-temporal dynamics of land occupation in the area over a period of 32 years (1986-2018).

*Methodology and results:* Landsat TM (1986), ETM + (2001) and OLI - TIRS (2018) satellite images, coupled with field investigations were used and processed by the Maximum likelihood algorithm on ENVI 5.3. The results obtained reveal a regressive dynamic of savannah formations and forest galleries in favour especially of fields and fallows. The annual rate of deforestation fell from 1.08% during the period 1986-2001 to 1.81% between 2001 and 2018. This results from the strong human pressure exerted on plant formations.

*Conclusion and application of the results:* The analysis of the dynamics of the ecological landscape of Larmanaye shows that all the natural woody formations are increasingly giving way to anthropogenic formations (fallow fields, buildings and bare soils). Thus, for 32 years, land use units have undergone spatial transformations of fragmentation and anthropization leading inexorably to a decline in biodiversity. All the information generated during this work is of major interest to policy makers and the scientific community who assess decisions affecting the use of natural resources. Indeed, these results therefore constitute an essential environmental information base for applications ranging from land use planning, forest cover monitoring and the production of environmental statistics.

**Keywords:** Dynamics, ecological landscape, land use, Larmanaye-Chad.

### **INTRODUCTION**

Les conversions des paysages végétaux et les modifications dans les formes d'utilisation des terres ont été identifiées comme les facteurs majeurs des changements environnementaux à l'échelle mondiale (Sala *et al.*, 2000 ; Zoungrana *et al.*, 2018). La cause principale de ces facteurs est généralement l'intensification des activités anthropiques. Ainsi, ces conversions notamment le changement des domaines forestiers et/ou boisés en terres agricoles, sont généralement associés à des effets négatifs sur le climat, les réserves de carbone terrestres, la perte de la biodiversité (Brun *et al.*, 2018 ; FAO & PNUE, 2020). Dans d'autres cas, les conversions ont entraîné une augmentation de l'érosion des sols, des

températures à la surface des terres, une diminution des taux d'évaporation et des précipitations, ainsi qu'une modification des régimes de pluviométries (Bounoua *et al.*, 2002 ; Muller *et al.*, 2011 ; Akognongbe *et al.*, 2014). Ces observations sont d'autant plus vérifiées dans les zones à forte densité humaine et marquées par des conditions climatiques assez contrastées et une forte demande en terres cultivables et des espaces de pâturage. Ces caractéristiques correspondent à celles de la zone écologique de Larmanaye, situé à l'Extrême-Sud-Ouest du Tchad. Cette zone de transhumance transfrontalière (Tchad-Cameroun) regorge d'importantes ressources végétales et animales associées à une diversité

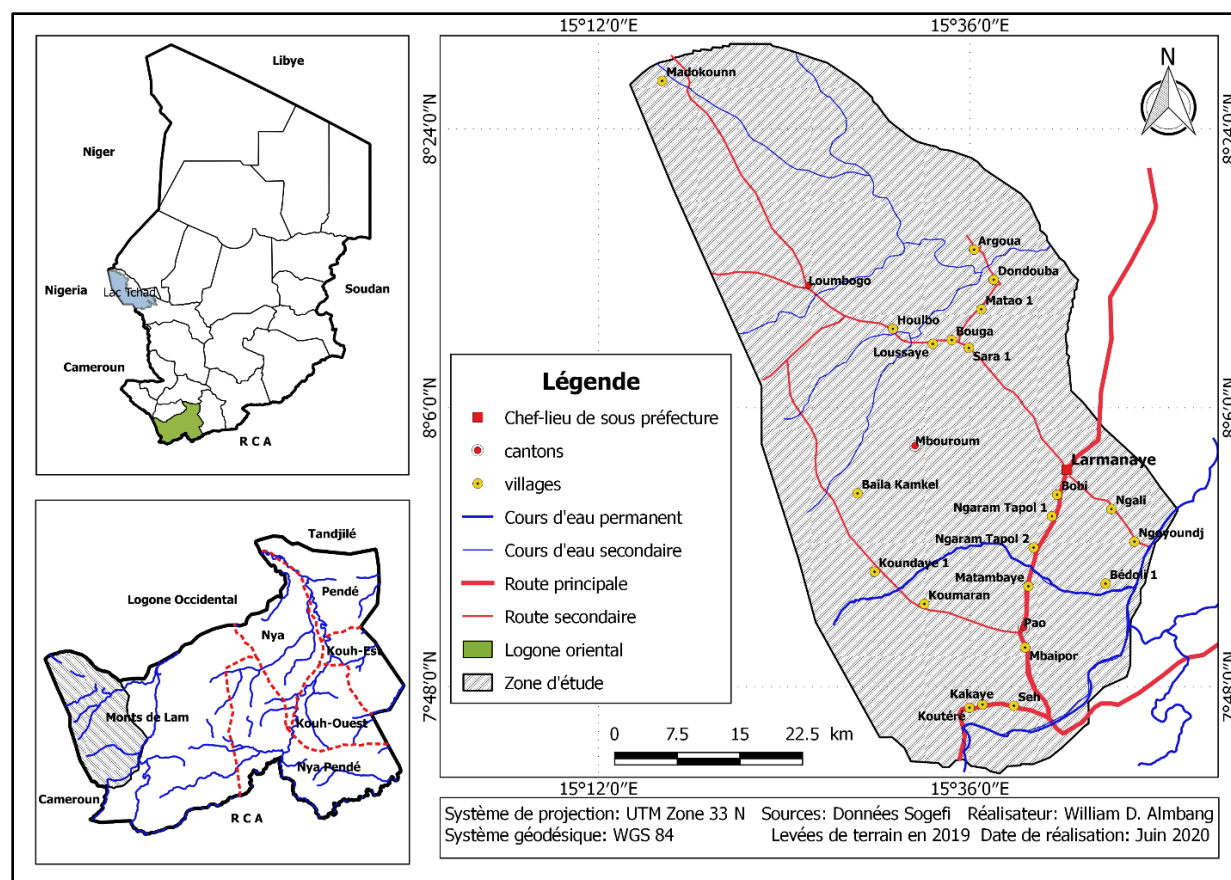
d'écosystèmes aux fonctions multiples (Brugière & Scholte, 2013). Ces écosystèmes représentent aujourd'hui, une des rares reliques de la forêt soudano-guinéenne qui recouvrait tout l'Extrême-sud du Tchad (FAO, 2012 ; Madjigoto *et al.*, 2015). Ils représentent des sites potentiels de pâturage et de prédilection pour la faune sauvage (Brugière & Scholte, 2013) et constituent également le fondement de l'existence des populations locales. Cependant, cette zone naturelle subit des changements rapides au niveau des écosystèmes naturels, mettant en exergue des paysages fragmentés et anthropisés (Madjigoto *et al.*, 2015). L'extension accrue des aires de cultures et des habitations engendre une réduction progressive de l'étendue des surfaces boisées et une déstabilisation de la structure des sols (Akognongbé *et al.*, 2014). Les changements générés par la dynamique de l'occupation du sol impactent négativement l'équilibre écologique du paysage (Arouna, 2016). La compréhension des observations sur

les mutations des paysages est cruciale en raison des interactions avec les activités humaines. Dans ce contexte, la télédétection et le système d'informations géographiques (SIG) constituent des atouts incontournables pour cette étude (Arouna *et al.*, 2016 ; Mamane *et al.*, 2018). Au Tchad études similaires abordant un certain nombre d'aspects y ont été réalisées (Madjigoto *et al.*, 2015). Cependant, ces études restent limitées à quelques zones agro-écologiques du pays. C'est dans ce contexte que cette étude qui est donc la première à s'intéresser à cette zone, a été entreprise. Elle se propose de quantifier et d'analyser les changements de l'occupation des terres dans le paysage écologique de Larmanaye à partir de l'imagerie satellitaire et des données de terrains pour une meilleure gestion de la diversité biologique. Elle veut aussi vérifier l'hypothèse selon laquelle, les formations naturelles ont régressé au profit des formations anthropiques que sont les cultures et jachères.

## MATERIEL ET METHODES

**Site d'étude :** L'étude a été menée dans la zone de Larmanaye, situé à l'Extrême-Sud-Ouest du Tchad dans le Département de Monts de Lam (Région du Logone Oriental). Cette zone est située entre 15°18'0'' et 15°36'0'' longitude Est et 7°48'0'' et 8°24'0'' latitude Nord (Figure 1). Elle est caractérisée par un climat de type soudano-guinéen à deux saisons de pluies avec une pluviométrie annuelle comprise entre 800 et 1300 mm et une température moyenne annuelle de 26°C (DREM, 2016). Les sols sont de type ferrallitique rouges (sols argilo-sableux) qui affleurent largement, les sols bruns grisâtres et les sols hydromorphes caractéristiques des sols du Sud (Pias, 1964 ; Atlas, 2012). La végétation est caractérisée par des savanes (arborées, arbustives et herbeuses), avec par endroit de rares forêts claires

et galeries forestières. Les légumineuses dominent le type floristique à l'instar des genres : *Burkea*, *Prosopis*, *Parkia*, *Pterocarpus*, *Isobertinia*, *Daniellia*, etc. Ils sont progressivement remplacés par les genres *Combretum*, *Terminalia*, *Anogeisus* et *Sclerocarya* (*Anacardiaceae*) (Baohoutou, 2007). La faune est plus diversifiée et composée des espèces caractéristiques de la savane à savoir les Mammifères, les Primates, les Rongeurs et des milliers d'espèces d'Oiseaux (Atlas, 2012). La population de la zone d'étude est essentiellement rurale avec comme activités principales l'agriculture (généralement extensive sur brûlis) et l'élevage (extensif dominé par la transhumance) (Reounodji, 2002 ; ONDR, 2014). La culture du coton, du maïs et du sésame est très développée et insufflé à la zone une dynamique socio-économique (Madjigoto *et al.*, 20015).



**Figure 1 :** Carte de la zone d'étude : zone de Larmanaye

**Méthodologie :** Une approche diachronique avec l'utilisation des données de télédétection a été adoptée. Il s'est agi de détecter et cartographier les changements du couvert végétal de la zone, ensuite d'analyser par les techniques SIG les images satellitaires obtenues. Pour ce faire, trois étapes essentielles ont été nécessaires à savoir : (1) l'acquisition des données, (2) le traitement numérique de ces données et (3) l'analyse des résultats.

**Acquisition des données :** Les images satellitaires multispectrales des capteurs Landsat 4 TM (10 novembre 1986), Landsat 7 ETM+ (19 novembre 2001) et Landsat 8 OLI-TIRS (13 novembre 2018) ont été utilisées et traitées à partir du logiciel Envi 5.3. La résolution spatiale de ces images est de 30 m, de projection UTM zone 33 N avec ellipsoïde de référence WGS 84. Les scènes ont été choisies en période post saison pluvieuse, étant favorable à

une bonne discrimination des unités d'occupation des terres dans la zone soudano-sahélienne (Zoungrana *et al.*, 2018). Des données cartographiques constituées d'une couche numérique géoréférencée du Tchad comprenant essentiellement les réseaux routiers et les entités administratives et les localités ont également été utilisées. Les données GPS (Global Positioning System) issues du terrain et Google Earth Pro ont été aussi utilisées pour compléter les informations.

**Traitement des données :** Les logiciels ENVI 5.3 et ArcGIS 10.5 ont respectivement permis la calibration, le traitement des images satellitaires et des analyses et restitutions cartographiques. Un GPS de marque Garmin 76csx a été utilisé au cours des différentes missions de terrains pour localiser la position des différents points de contrôle terrain. Plusieurs étapes ont été observées pour le traitement des images satellitaires.



- **Prétraitement des images :** Le prétraitement a consisté à rehausser les trois images Landsat (1986, 2001 et 2018) pour faciliter leur exploitation. Les scènes obtenues ont été soumises à des corrections géométriques, atmosphériques et radiométriques afin de rehausser la qualité des images et rendre les entités spatiales présentes sur les images proches du monde réel (Caloz & Collet, 2001). Une fois les corrections faites à l'aide du logiciel ENVI 5.3., il était nécessaire d'effectuer le mosaïquage qui a permis d'avoir un paysage continu du site d'étude puisque ce dernier chevauchait entre deux feuilles Landsat (183-054 et 183-055).
- **Composition colorée :** La composition colorée permet de produire des images en couleurs en tenant compte de la signature spectrale des objets. Elle sert aussi à distinguer les différents objets présents sur les images afin de faciliter leur interprétation. Ici les bandes radiométriques à même de fournir des informations sur le couvert végétal ont été superposées par synthèse additive des couleurs primaires. Ainsi, la composition colorée, en fausses couleurs avec la combinaison des bandes 5-4-3 pour les images TM/ETM+ et 6-5-3 pour l'image OLI-TIRS ont été utilisées.
- **Classification d'image :** Elle est basée sur les propriétés spectrales pour rassembler

les différents objets de l'image en classes thématiques. Pour ce faire, la classification supervisée a été adoptée avec l'algorithme maximum de vraisemblance qui a été utilisée pour les images de 1986, 2001 et 2018 à partir de la composition colorée choisie à cet effet.

- **Validation de la classification :** Pour évaluer la précision de la classification des différentes cartes d'occupation du sol, la matrice de confusion de pixels a été élaborée. Cette matrice permet de déterminer la précision globale des résultats obtenus (nombre total de pixels correctement classifiés, coefficient Kappa) et la précision de chaque catégorie classifiée, notamment la précision individuelle (Gao et Skillcorn, 1998). Le résultat de la classification est considéré comme acceptable si le nombre total de pixels correctement classifiés est supérieure à 85%. Les précisions individuelles des catégories sont du même ordre (Anderson *et al.*, 1971), et le coefficient Kappa devra être supérieur à 0,80 (Tso & Mather, 2001). La justesse de l'image de 2018 a été faite à partir des points de contrôle GPS collectés dans les différentes catégories d'occupations du sol lors des investigations de terrain. Le tableau ci-dessous montre que sur 29 890 pixels testés, 26 503 sont en corrélation parfaite avec les données de références. La précision globale est de 82,21% et le Coefficient de Kappa est de 0,82.

**Tableau 1 :** Matrice de confusion de pixels pour la classification de l'occupation des sols en 2018

2018	TOT	Points de contrôle GPS						
		GF	SA	SAH	CJ	BSN	Total	Précision (%)
Image classifiée	GF	130	215	82	285	0	712	95,59
	SA	2	5121	11	348	15	5497	85,35
	SAH	1	562	6487	559	26	7635	86,15
	CJ	1	101	934	14381	12	15429	91,09
	BSN	2	1	16	214	384	617	87,87
	Total	136	6000	7530	15787	437	29890	89,21

**Légende :** GF-Galerie forestière ; SA-Savane arborée ; SAH-Savanes arbustive et herbeuse ; CJ-Cultures et jachères

**Changements dans le couvert végétal :** Pour décrire les changements intervenus entre les périodes (1986-2001 et 2001-2018), la matrice de transition a été utilisée. Elle a permis de mettre en évidence les différentes formes de conversion subites par les unités d'occupation du sol, tout en décrivant les changements intervenus. Cette dynamique a été évaluée par la formule ci-dessous qui permet de mesurer la croissance des agrégats macroéconomiques entre deux périodes (Berner, 1992). Il s'agit de

déterminer le taux d'évolution moyen annuel de chaque classe d'occupation des terres en termes d'expansion et de régression entre deux périodes.

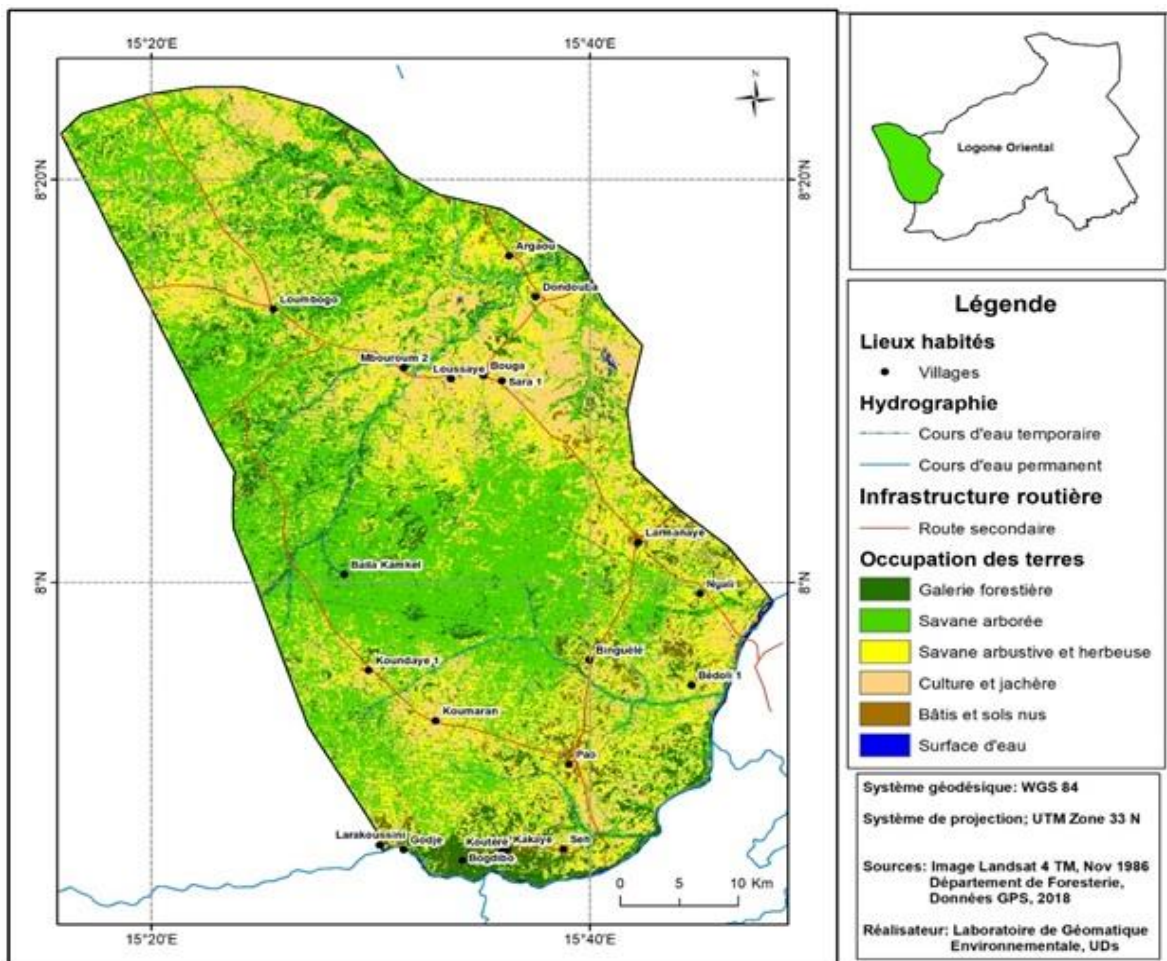
$$T = [(lnS_2 - lnS_1) / ((t_2 - t_1) \times lne)] \times 100$$

$S_1$  et  $S_2$  : Superficie d'une unité paysagère à la date  $t_1$  et  $t_2$  respectivement ;  $t_2 - t_1$  : Nombre d'années d'évolution ;  $ln$  : Logarithme népérien ;  $e$  : Base du logarithme népérien ( $e = 2,71828$ ).

## RESULTATS

**Dynamique des changements spatio-temporels de l'occupation des terres :** Trois cartes ont été produites décrivant l'occupation des terres en 1986, 2001 et 2018.

**Occupation des terres en 1986 :** En 1986, le paysage écologique de Larmanaye était dominé par les formations savaniques savanes avec un aspect plus ou moins continu sur l'ensemble du paysage écologique (Figure 2).



**Figure 2 :** Occupation des terres de la zone de Larmanaye en 1986

Les statistiques descriptives sur les superficies de différents types d'occupation des terres (TOT) obtenus à partir du traitement de

l'image Landsat de 1986 présente la répartition des unités d'occupation sur l'étendue de la zone d'étude comme suit (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Types d'occupation des terres et leurs superficies en 1986

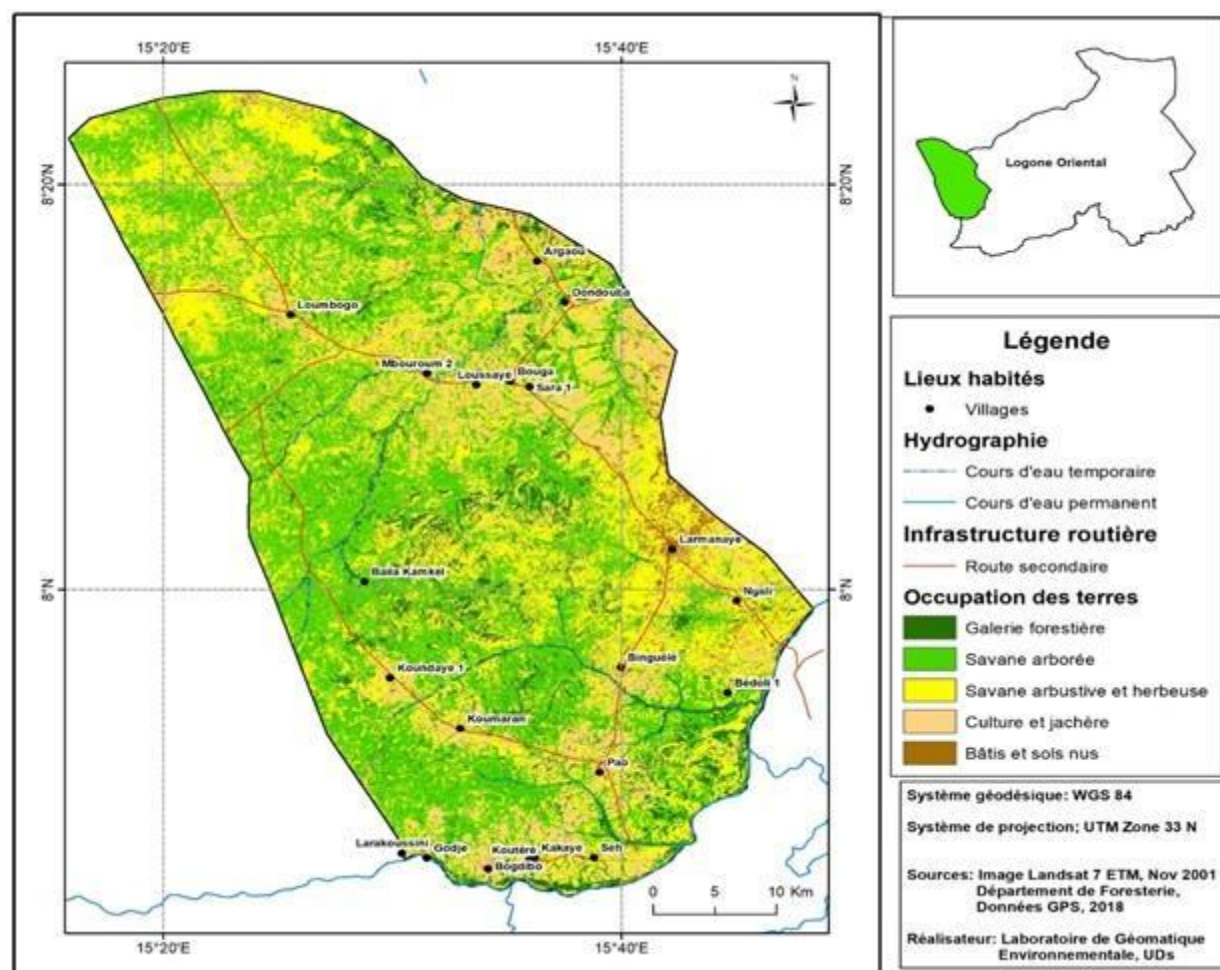
Types d'occupation des terres (TOT)	Superficie (ha) 1986	Taux (%)
Galerie forestière	28706,4	11,88
Savane arborée	99916,92	41,35
Savanes arbustive et herbeuse	67945,68	28,12
Cultures et jachères	39218,4	16,23
Bâtis et sols nus	5304,6	2,20
Surface d'eau	525,78	0,22
<b>Total</b>	<b>241617,78</b>	<b>100</b>

*Source : Interprétation et traitement d'image Landsat 4 TM de 1986*

L'examen de la figure 2 et du tableau 2 permet de comprendre que la physionomie de ce milieu en 1986 est largement dominée par les savanes arborées avec 99916,92 ha (41, 35 %), les savanes arbustive et herbeuse avec 67945,68 ha (28,12 %), soit 69,47 % de la superficie totale de la zone d'étude. Les galeries forestières occupent une superficie de 28706,40 ha (11, 88 %). Les autres unités de formation, les mosaïques de cultures et jachères occupent une superficie de 39218, 4 ha (présentant 16, 23 % de toute la zone d'étude).

Ensuite, les bâtis et sols nus occupaient une superficie de 5304,6 ha, soit 2, 20 % de toute la zone étudiée. La surface d'eau venait en dernière position avec une superficie de 525,78 ha (0,22%).

**Occupation des terres en 2001 :** La physionomie du paysage végétal du secteur d'étude en 2001 ne diffère pas de celui de 1986. Cependant, l'occupation des terres est sensiblement différente de celle en 1986 du point de vue quantitatif. La figure 3 présente les unités d'occupation des terres en 2001.



**Figures 3 :** Occupation des terres de la zone de Larmanaye en 2001

Le Tableau 3 représente les superficies des différents types d'occupation des terres ;

**Tableau 3 :** Types d'occupation des terres et leurs superficies en 2001

TOT	Superficie (ha) 2001	%
Galerie forestière	22128,48	9,16
Savane arborée	88758,54	36,74
Savanes arbustives et herbeuses	89769,24	37,15
Cultures et jachères	35138,97	14,54
Bâti et sols nus	5822,55	2,41
Surface d'eau	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>241617,78</b>	<b>100</b>

*Source : Interprétation et traitement d'image Landsat 7 ETM+ de 2001*

De la lecture de la figure 3, la domination du paysage par les savanes n'a pas tellement changé puisqu'elles occupent 73,89 % de l'espace et se développent un peu partout dans le secteur d'étude. En effet la zone d'étude était dominée par les savanes arbustive et herbeuse

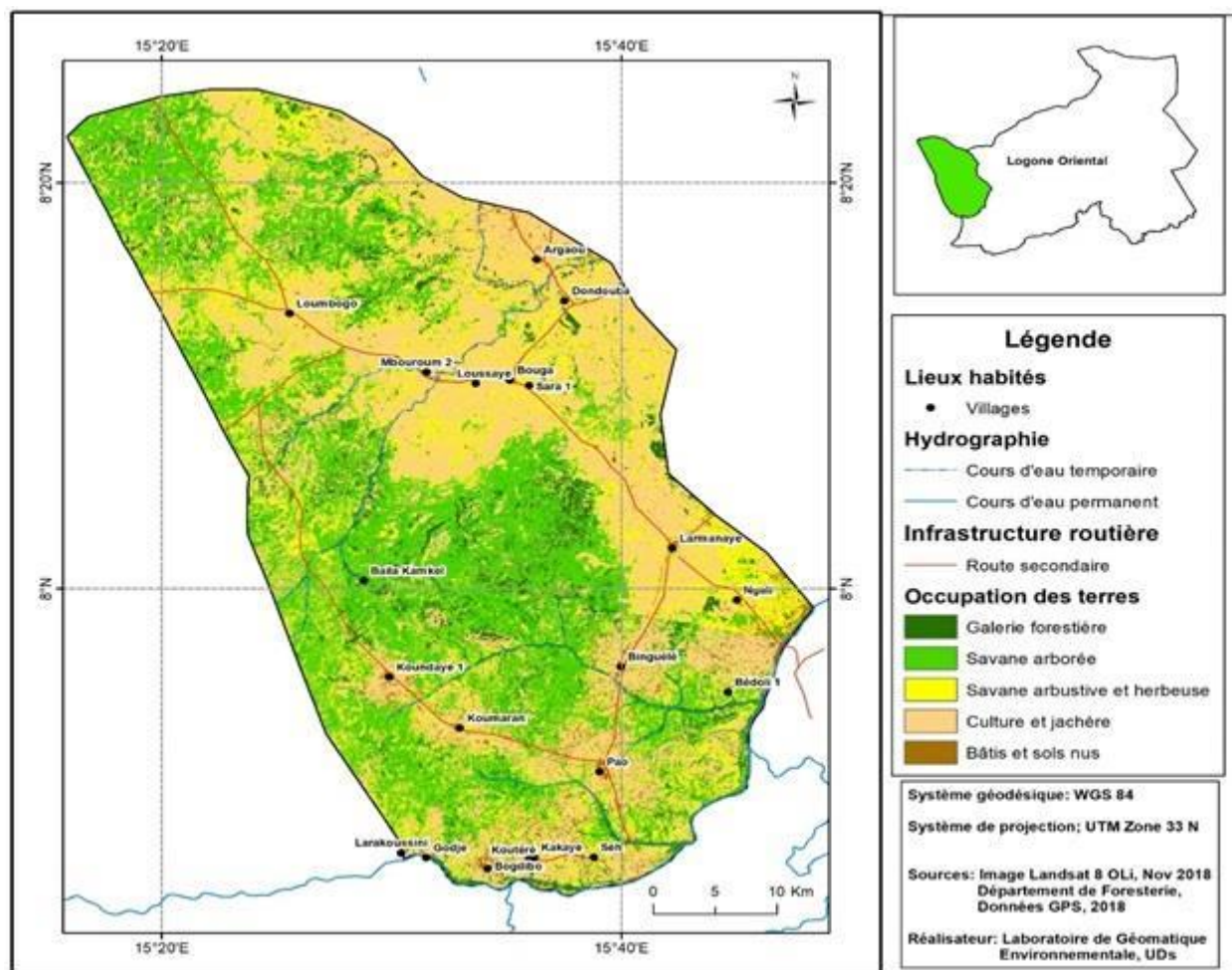
et les savanes arborées, avec respectivement 89769,24 ha (37.15 %) et 88758,54 ha (36.74%). Les galeries forestières y étaient également rencontrées (26,60%) tout le long des cours d'eau au sud-ouest de la zone d'étude. Par ailleurs, les mosaïques cultures -



jachères en régression (14, 54 %) et les bâtis et sols nus (2, 41 %) représentent 16,95% des surfaces, soit 40961,52 ha de la superficie totale.

**Occupation des terres 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). L'interprétation

visuelle de cette image montre une densification des mosaïques de cultures et jachères dans l'ensemble du secteur d'étude, excepté les parties qui font frontière avec le Cameroun où la présence des formations naturelles semble se renforcer.



**Figure 4 :** Occupation des terres de la zone de Larmanaye en 2018

En 2018, l'occupation des terres révèle des zones de cultures et jachères, relativement plus importantes, disséminées sur l'ensemble du

secteur d'étude, excepté les parties Nord-ouest, Ouest et Sud-Ouest où la présence des formations naturelles semblent se renforcer.

**Tableau 4 :** Unités d'occupation des terres et leurs superficies en 2018

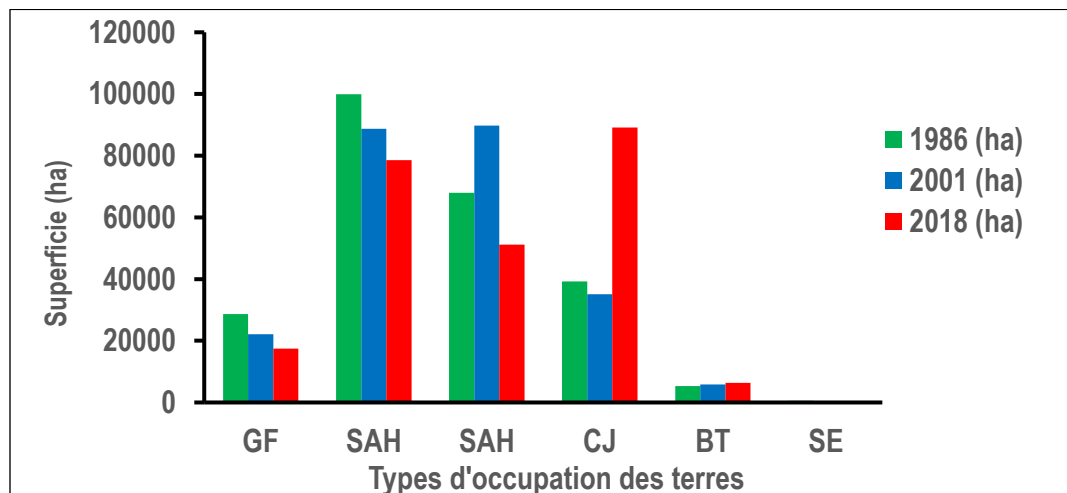
TOT	Superficie (ha) 2018	Taux (%)
Galerie forestière	17407,80	11,60
Savane arborée	78517,53	36,03
Savanes arbustive et herbeuse	51202,35	32,39
Cultures et jachères	89130,24	17,46
Bâtis et sols nus	6359,86	2,52
Surface d'eau	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>241617,78</b>	<b>100</b>

*Source : Interprétation et traitement d'image Landsat 8 OLI-TIRS de 2018*

Il ressort de l'analyse du Tableau 4 que l'occupation des terres est dominée par les savanes arborées et savanes arbustive et herbeuse avec respectivement 78517,53 ha (36,03%) et 51202,35 ha (32,39%). Viennent ensuite les mosaïques de cultures et jachères qui couvrent 89130,24 ha (17,46%). Les bâtis et sols nus qui restent relativement stables couvrent 5426,36

ha (2,19 %). La surface d'eau occupe moins de 1 %.

**Synthèse des types d'occupation des terres de 1986, 2001 et 2018 :** La figure 5 montre la synthèse d'évolution des classes d'occupation du sol. Il ressort que les formations naturelles ont fortement régressé sur l'ensemble de la zone d'étude.



**Figure 5 :** Synthèse des unités d'occupation du sol de 1986, 2001 et 2018

**Légende :** GF-Galerie forestière ; SA-Savane arborée ; SAH-Savanes arbustive et herbeuse ; CJ-Cultures et jachères

**Changements dans les unités d'occupation des terres :** Les changements dans les unités d'occupation des terres entre 1986 et 2018 est présentée en trois étapes. Il s'agit de l'évolution entre 1986 - 2001, l'évolution entre 2001-2018 et entre 1986-2018.

**Changements entre 1986 et 2001 :** Les croisements d'images des périodes 1986 et 2001 présentent un changement sensible dans les différentes unités d'occupation des terres (Tableau 5). Ces changements sont soit régressifs, soit progressifs.

**Tableau 5 :** Changements dans les différentes unités d'occupation des terres entre 1986 et 2001

Unités d'occupation des terres	Superficie (ha)		Variation des superficies	
	1986	2001	(ha)	(%)
Galerie forestière	28706,4	22128,48	- 6577,92	-1,74
Savane arborée	99916,92	88758,54	-11158,38	- 0,79
Savanes arbustive et herbeuse	67945,68	89769,24	+21823,56	+1,86
Cultures et jachères	39218,4	35138,97	- 4079,43	- 0,73
Bâtis et sols nus	5304,6	5822,55	+517,95	+0,62
Surface d'eau	525,78	0,00	-525,78	00
<b>Total</b>	<b>241617,78</b>	<b>241617,78</b>		

(-) régression, (+) progression

*Source :* Croisement d'images classifiées Landsat 4 ETM de 1986 et 7 ETM+ de 2001

Il ressort de l'examen du tableau 5 que les superficies des savanes arbustive et herbeuse et celles des bâtis et sols nus ont connu d'important changement. Elles ont progressé respectivement de 21823,56 ha (représentant un taux de progression de 1,86 %) et de 517,95 ha (correspondant à un taux de 0,62 %). Par contre, la superficie des galeries forestières, de savanes arborées et des mosaïques cultures-jachères a connu une régression avec, respectivement

6577,92 ha (soit un taux de régression de 1,74 %), de 11158,38 ha (soit un taux de de régression de 0,79 % et de 4079,43 ha (0,73 %). Par ailleurs, les bâtis et sols nus entre ces deux périodes sont restées relativement stables.

**Changements entre 2001 et 2018 :** Le croisement d'images classifiées des périodes 2001-2018 révèle une nette évolution dans les différentes unités d'occupation des terres (Tableau 6).

**Tableau 6 :** Changements dans les différentes unités d'occupation des terres entre 2001 et 2018

Types d'occupation des terres (TOT)	Superficie (ha)		Variation des superficies	
	2001	2018	(ha)	(%)
Galerie forestière	22128,48	17407,80	- 4720,68	-1,41
Savane arborée	88758,54	78517,53	-10241,01	- 0,72
Savanes arbustives et herbeuses	89769,24	51202,35	-38566,89	- 3,30
Cultures et jachères	35138,97	89130,24	+53991,27	+ 5,48
Bâtis et sols nus	5822,55	6359,86	+537,31	+ 0,52
Surface d'eau	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>241617,78</b>	<b>241617,78</b>		

(-) régression, (+) progression

*Source :* Croisement d'images Landsat 7 ETM+ de 2001 et 8 OLI-TIRS 2018

Il ressort de l'analyse du tableau 6 que les savanes arbustives et herbeuses, les galeries forestières et les savanes arborées ont respectivement régressé de 38566,89 ha avec un taux de régression de 3,30 %, de 4720,68 ha (1,41%) et de 10241,01 ha (0,72 %). Par contre, les mosaïques cultures-jachères et les bâtis et sols nus ont respectivement progressé de 53991,27 ha soit un taux de progression de 5,48% et de

537,31 ha avec un taux de progression de 0,52 %. On note clairement que les formations végétales naturelles ont régressé au profit des formations anthropiques.

**Changements entre 1986 et 2018 :** Les statistiques liées à la dynamique de l'occupation des terres durant la période 1986-2018 sont représentées par le tableau 7.

**Tableau 7 :** Changements dans les différentes unités d'occupation des terres entre 1986 et 2018

Types d'occupation des terres (TOT)	Superficie (ha)		Variation des superficies	
	1986	2018	(ha)	%
Galerie forestière	28706,40	17407,80	-11298,60	-1,56
Savane arborée	99916,92	78517,53	-21399,39	-0,75
Savanes arbustives et herbeuses	67945,68	51202,35	-16743,33	-0,88
Cultures et jachères	39218,4	89130,24	+49911,84	+2,57
Bâtis et sols nus	5304,6	6359,86	+1055,26	+0,57
Surface d'eau	525,78	0,00		
<b>Total</b>	<b>241617,78</b>	<b>241617,78</b>		

(-) régression, (+) progression

*Source : Interprétation images Landsat 4 ETM+ de 1986 et 8 OLI-TIRS 2018*

De l'observation du tableau 7, il se dégage que les mosaïques cultures-jachères et les bâtis et sols nus ont connu une progression avec une superficie respectivement de 49911,84 ha (soit un taux annuel d'expansion de 2,57 %) et de 1055,26 ha (correspondant à un taux de d'expansion annuel de 0,57 %). Par contre les

galeries forestières, les savanes arbustive et herbeuse ainsi que les savanes arborées ont connu une régression avec une superficie respectivement de 11298,60 ha (soit un taux de régression de 1,56 %), de 16743,33 ha (soit un taux de régression 0,88 %) et de 21399,39 ha (correspondant a 0,75 %).

## DISCUSSION

A partir des images satellitaires Landsat TM 1986, ETM+ 2001 et OLI 2018, (à 30 m de résolution spatiale chacune), l'on a pu montrer l'importance de la Télédétection et SIG dans la compréhension des changements spatio-temporels de l'occupation des terres dans la zone écologique de Larmanaye. Les cartes d'occupation des terres pour les années 1986, 2001 et 2018 obtenues ont permis de ressortir et d'apprécier les différentes superficies de chaque Type d'Occupation des Terres (TOT). Plusieurs travaux sur la dynamique des paysages végétaux ont confirmé ces variabilités des TOT par l'usage d'images satellitaires Landsat au moyen des techniques de télédétection et des SIG (Hountondji, 2008 ; Madjigoto *et al.*, 2015 ; Brun *et al.*, 2018 ; Kpedenou, 2016 ; Temgoua *et al.*, 2018). Selon ces auteurs, l'imagerie satellitaire joue alors un rôle incontournable dans le processus de caractérisation et d'aménagement régional des écosystèmes. L'utilisation de la classification supervisée par l'algorithme du « Maximum de

vraisemblance » dans la caractérisation de l'occupation des terres a été effectuée avec succès pour les trois images. Les TOT ont été discriminés dans nos résultats avec une précision statistique significative (indice de Kappa de 82 %), ce qui traduit un meilleur taux de classification des unités d'occupation des terres (Pontius, 2000). Par ailleurs, les confusions entre les cultures et les jachères et entre les savanes arbustives et les savanes herbeuses ont été observées. Ces confusions sont dues à des réponses spectrales similaires pour certaines formations ligneuses (Diallo *et al.*, 2011). Dans la présente étude, les classes cultures-jachères, savanes arbustives - herbeuses montrent quelques erreurs de confusion. La difficulté à discriminer visuellement ces classes peut être due à des signatures spectrales similaires. Cependant, les valeurs de ces erreurs de confusion enregistrées restent faibles. L'analyse de la dynamique du paysage des unités d'occupation des terres du paysage écologique de



Larmanaye montre que l'ensemble des formations naturelles font de plus en plus place aux formations anthropiques (champs-jachères, bâtis et sols nus). Les résultats statistiques obtenus illustrent l'ampleur et le rythme de l'évolution des formations anthropiques sur celles qui sont naturelles entre 1986 et 2018. Le taux annuel de régression constaté au niveau des formations ligneuses est d'environ - 1,08 % pour la période 1986-2001 et de - 1,81 % au cours de la période 2001-2018. Les changements les plus remarquables ont eu lieu pendant la deuxième diachronie (2001-2018). Ce taux dépasse la moyenne nationale qui est de 0,6% par an, taux par estimé par la FAO (1995). Il reste cependant légèrement inférieur à celui de 2% par an, taux révélé par les travaux de Madjigoto *et al.* (2015) dans la zone soudanienne du Tchad durant la période 2000-2010. Plusieurs auteurs sont parvenus à la même conclusion notamment Hountondji (2008), qui a montré que dans les zones soudanienne et soudano-guinéennes, le taux de diminution moyen annuel de la forêt dense sèche et des galeries forestières est estimé à 2,8 %. Cette tendance régressive des formations naturelles de la zone d'étude est surtout imputable à l'agriculture, le surpâturage, du prélèvement de bois- énergie et des feux de brousse (Baohoutou, 2007 ; Madjigoto *et al.*, 2015). Les résultats obtenus reflètent la réalité de la tendance de la dynamique paysagère dans tout le pays où la croissance démographique s'accompagne de besoins élevés en espaces pour les spéculations agricoles (Ama *et al.*, 2020) et en ressources ligneuses boisées (Zakari *et al.*, 2018). Cela entraîne d'énormes conséquences sur la biodiversité et les processus écologiques dont le cycle carbone (Muller *et al.*, 2011 ; Brun *et al.*, 2018). Pour Temgoua *et al.* (2018), toutes ces transformations perturbent les conditions climatiques qui déterminent les processus écologiques de succession de la végétation. De ce fait, l'ampleur de la perte du couvert végétal

du paysage écologique de Larmanaye pourrait donc impacter la régulation du climat tout en perturbant les conditions socio-économiques de la population rurale qui en dépend directement. Nos travaux montrent que les activités anthropiques constituent l'un des facteurs responsables de la dynamique du couvert végétal autour de la réserve naturelle de Larmanaye. Les investigations montrent que l'expansion agricole, le surpâturage et la surexploitation du bois bois-énergie et les feux de brousse sont les principaux facteurs de dégradation de ces formations végétales. Ce phénomène est amplifié par une démographie, caractérisée par un taux annuel d'accroissement très élevé (3,9 % entre 1989 et 2009 ; RGPH2-ISEED, 2009). Par ailleurs, en raison de ses fortes potentialités agroécologiques, le milieu naturel de Larmanaye est devenu une zone d'attraction pour de nombreux migrants agriculteurs et éleveurs transhumants, en provenance du Nord du pays et des pays voisins, en particulier Cameroun (Reounodji, 2002 ; Mbailasem, 2012). Ce qui justifie un accroissement constant des formations anthropiques au détriment de celles naturelles. Ces résultats concordent avec ceux de Madjigoto *et al.* (2015) et de Temgoua *et al.* (2018) qui ont montré que les activités agricoles constituent les causes majeures de dégradation du couvert végétal dans la zone soudanienne du Tchad. Plusieurs auteurs ont mis en cause la croissance démographique et certains modes d'exploitation comme étant responsables de dégradation des écosystèmes et des terres ayant pour conséquence la perturbation des équilibres écologiques (Hountondji 2008, Temgoua *et al.*, 2018). Une fois de plus, c'est la pression humaine qui en est la cause. Pour Hountondji (2008), la culture extensive du coton et les attaques saisonnières des formations végétales par des éleveurs transhumants à la recherche des ressources fourragères et de l'eau sont les principales causes de la régression des formations

ligneuses. D'autres facteurs non moins importants que sont les variations climatiques influencent également la dynamique de la végétation, puisqu'elles provoquent le stress de la végétation et une pression sur les ressources (Gansaonré *et al.*, 2020). Dans leur recherche, Wezel (2004) et Brun *et al.* (2018) ont montré que dans les zones soudano-sahéliennes, les facteurs de dégradation du paysage sont non seulement liés aux aléas

climatiques, mais surtout aux activités anthropiques. En effet, plusieurs auteurs ont expliqué que les modifications de la composition des paysages des zones climatiques sont l'œuvre d'une anthropisation accélérée et progressive manifestée par des pratiques agrosylvopastorales non rationnelles (Reounodji, 2002 ; Agbanou *et al.*, 2019 ; Mama *et al.*, 2020).

## CONCLUSION ET APPLICATION DES RÉSULTATS

Dans cette étude, la situation de référence du paysage écologique de Larmanaye en termes d'occupation des terres a été établie sur des bases scientifiques fondées sur les traitements des images satellitaires Landsat 4TM 1986, Landsat 7 ETM+ 2001 et Landsat 8 OLI-TIRS 2018, couplées aux données d'investigation de terrain et l'utilisation des SIG. Les résultats de ces traitements ont permis d'avoir une meilleure connaissance de l'occupation actuelle des terres dans la zone d'étude et de connaître la tendance évolutive des différentes TOT. De cette analyse, il ressort que sur une période de 32 ans (1986-2018), les formations naturelles ont régressé au profit des formations anthropiques, caractérisées essentiellement par les mosaïques cultures-jachères. Les changements

les plus remarquables ont eu lieu pendant la période 2001-2018 (avec un taux de régression annuelle de 1,63%). Les savanes qui sont les formations végétales les plus importantes de ce milieu ont été les plus vulnérables au changement. Les activités agricoles et pastorales et la pression démographique sont les principales causes de ces changements de l'occupation des terres dans la zone écologique de Larmanaye. Ces résultats interpellent à plus d'un titre les différents acteurs (nationaux et internationaux) en charge de la gestion des ressources naturelles de cette zone à envisager d'urgence un plan de gestion durable des dites ressources et surtout veiller au maintien de l'équilibre écologique de cette réserve.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le responsable de Laboratoire de Géomatique Environnemental de l'Unité de Recherche de

Faune et Aires Protégées, de Sylviculture et Technologie de Bois de l'Université de Dschang.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agbanou B.T., Orekan V., Djafarou A., Paegelow M. & Tenté B., 2019 - Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol en zone d'agriculture extensive : cas du secteur Natitingou-Boukoubé au nord-ouest du Bénin. Mélanges en hommage aux professeurs Thomas Omer, HOUSSOU Sègè Christophe et Houndaga Cossi Jean. *La géographie au service du développement durable*, **3** : 22 -34
- Akognongbe, A., Abdoulaye, D. & Vissin, E. W., 2014 - Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oumé à l'exutoire de Bétérou (Bénin). *Afrique Science*, **10**(2): 228–242.
- Anderson, James R., Hardy, Ernest E. & Roach, John T., 1972 - A land-use classification system for use with

- remote-sensor data : U.S. Geol. Survey Circ. 671, pp 16.
- Arouna O., Etene C.G. & Issiako D., 2016 - Dynamique de l'occupation des terres et état de la flore et de la végétation dans le bassin supérieur de l'Alibori au Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, **108** : 10531-10542.
- Atlas de l'Afrique et du Tchad, 2012 - *Les éditions du Jaguar*. 75-129 pp.
- Baohoutou L., 2007 - Les précipitations en zone soudanienne tchadienne durant les quatre dernières décennies (1960-1999) : Variabilités et impacts. Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Nice, 231p.
- Bernier, B., 1992 - Introduction à la macroéconomie. Dunod, Paris, 217 p.
- Bounoua L. DeFries R., Collatz G. J., Sellers P. & Khan H., 2002 - Effects of Land Cover Conversion on Surface Climate. *Climatic Change*, **52** (1): 29–64
- Brugière D. & Scholte P., 2013 - Biodiversity Gap Analysis of the Protected Area System in Poorly-Documented Chad. *Journal for Nature Conservation*, **21** : 286-293.
- Brun, E.L., Djego, J. G., Gibigaye, M. & Tenté B., 2018 - Dynamique de l'occupation du sol dans les zones humides de la commune d'Allada, au Sud-Bénin (Sites Ramsar 1017 et 1018), *European Scientific Journal Edition*, **14** (12) : 59 - 77.
- Caloz R. & Collet C., 2001 - Précis de télédétection. Volume 3 : Traitements numériques d'images de télédétection (Universités francophones). Québec, Canada, Presses Polytechniques du Québec, 368 p.
- Clerici N, Bodini A., Eva H, Grégoire J.M., Dulieu D. & Paolini C., 2007 - Increase disolation of two Biosphere Reserves and Surrounding Protected Areas (WAP : WARly- Pendjari, Ecological Complex, West Africa). *Journal for Nature Conservation*., **15**: 26- 40.
- Collinge S.K., 1998, Spatial arrangement of habitat patches and corridors : clues from ecological field experiments. *Landscape and Urban Planning*, **42** : 157-168.
- Diallo H, Bamba I, Barima Y.S.S., Visser M., Ballo A., Mama A., Vranken I., Maïga M. & Bogaert J., 2011 - Effets combinés du climat et des pressions anthropiques sur la dynamique évolutive de la végétation d'une zone protégée du Mali (Réserve de Fina, Boucle du Baoulé). *Sècheresse*, **22** : 97-107.
- DREM-Tchad, 2016 - Rapport annuel des données météorologique pour la campagne agricole 2015/2016. 82 p.
- FAO, 2012 - Appui à la formulation d'une stratégie et d'un plan d'action de la foresterie urbaine et périurbaine à N'Djaména. Plateforme WISDOM pour N'Djaména. Diagnostic et cartographie de l'offre et de la demande en combustibles ligneux. Document de travail sur la foresterie urbaine et périurbaine N°8. 78 p. Rome., Italie.
- FAO, 2016 - Situation des forêts du monde. Forêts et agriculture : défis et possibilité concernant l'utilisation des terres. Rome (Italie), 137 p.
- FAO & PNUE. 2020 - La situation des forêts du monde 2020. Forêts, biodiversité et activité humaine. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca8642fr>.
- Gansaonré R.N., Zoungrana B.J.B. & Isidore Yanogo P.I., 2020. Dynamique du couvert végétal à la périphérie du Parc W du Burkina Faso ». *Belgeo*, **21**(1):1-23
- Gao, J. & Skillcorn D., 1998 - Capability of SPOT XS data in producing detailed land-cover maps at the urban – rural periphery. *International Journal of Remote Sensing*, **19** : 2877-2891.
- Hountondji H.Y.C., 2008 - Dynamique environnementale en zones sahélienne et

- soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal. Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique, 153 p.
- INSEED, 2009 - Résultats globaux. Deuxième recensement général de la population et de l'habitat (RGPH2). République du Tchad, 88 p.
- Mama A., Oumorou, M., Sinsin, B., De Cannière, C. & Bogaert, J., 2020 - Anthropisation des paysages naturels des aires protégées au Bénin : cas de la forêt classée de l'Alibori supérieur (FC-AS). *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, **11**(2) : 117-125.
- Mamane B., Amadou G., Barage M., Comby J. & Ambouta J.M.K., 2018 - Dynamique spatio-temporelle d'occupation du sol dans la Réserve Totale de Faune de Tamou dans un contexte de la variabilité climatique (Ouest du Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **12**(4) : 1667-1687.
- Mbailassem C., 2012 - Problématique de gestion des ressources biologiques dans la zone pétrolifère de Doba au sud du Tchad. L'évaluation environnementale pour une gestion durable des ressources minières, énergétiques et biologiques, pp 6.
- Muller, S... Rhazi L., Saber E., Rifai N., Daoud-Bouattour A., Bottollier-Curtet, M., ... Ghrabi-Gammar Z., 2011 - Peat mosses (Sphagnum) and related plant communities of North Africa: II-The Tingitanian-Rifan range (northern Morocco). *Nova Hedwigia*, **93** :335 - 352.
- ONDR (Office National de Développement Rural du Tchad), 2014 - Rapport annuel des activités. 35 p.
- Ouédraogo K., 2009 - Évaluation des coûts additionnels et des bénéfices du Parc W/Burkina Faso pour les communautés agropastorales locales : cas des agropasteurs et des transhumants du terroir riverain de Kotchari. Diplôme d'ingénieur du développement rural, IDR/UPB, 52p.
- Pias J., 1964 - Les sols du Tchad. VIII<sup>ème</sup> Congrès International de la Science du Sol, Bucarest- Roumanie. Comptes rendus, **5** :145-151.
- Pontius Jr. R. G., 2000 - Quantification error versus location error in compararison of categorical maps. *Photogrammetric Engineering and remote Sensing*, **8** (66): 1011-1016.
- Sala O. E., Chapin F.S., Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L. F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M., Poff N. L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M. & Wall D.H., 2000 - Biodiversity - Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Sciences*, **287** : 1770-1774.
- Sarr M. A., 2009 - Cartographie des changements d'occupation du sol entre 1990 et 2002 dans le nord du Sénégal (Ferlo) à partir des images Landsat. *Cybergeo : European Journal of Geography. Environnement, Nature et paysage*. Document 472. <http://cybergeo.revues.org>.
- Temgoua, L. F., Allaissem, B., Tchamba M., Saradoum, G., Osée, M.M., Caroline, M. & Solefack, M., 2018 - Spatio-Temporal Dynamic of Land Use and Land Cover in the Classified Forest of DjoliKera, South-Eastern, Chad. *Journal of Forestry*, **14**(4):181-191.
- Tso, B. & Mather P.M., 2001. *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. ed. Taylor & Francis, London. 352 p.
- Reounodji F., 2002 - Pratiques agro-sylvo-pastorales et stratégies de gestion des ressources naturelles dans les savanes du Tchad. Une étude de cas réalisée dans le terroir de Ngoko, Actes du colloque,



- 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun, 9 p.
- Zakari S., Toko Imorou I., Thomas O.A.B. Djaouga M. & Arouna O. ,2018 - Application de la télédétection et du SIG au suivi des formations végétales de la forêt classée des trois rivières au Nord-Est du Bénin. *European Scientific Journal*. **14** (15): 450-469.
- Zoungrana B. J-B., Conrad C., Thiel M., Amekudzi L.K. & Dapola Da E., 2018 - MODIS NDVI trends and fractional land cover change for improved assessments of vegetation degradation in Burkina Faso, West Africa. *Journal of Arid Environments*, **153**: 66 - 75.