

Article de recherche

Reçu: 03 Novembre 2022/Accepté: 03 Février 2023

Vulnérabilité de la flore de la Forêt Classée de Missahohé au feu de végétation

W. Atakpama^{1*}, H. Egbelou¹⁻², M. Yandja², B. Kombate¹, B. Afelu³, K. Batawila¹, K. Akpagana¹

¹ Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Département de Botanique, Faculté des Sciences (FDS), Université de Lomé (UL), 1 BP 1515 Lomé

² Département de Forêt Institut National de Formation Agricole (INFA) de Tové, BP 401 Kpalimé, Togo.

³ Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières, BP : 6804, Lomé, Togo.

* Auteur correspondant : wouyoatakpama@outlook.com

ملخص

هذه الدراسة التي أجريت في غابة Missahohé Classified Forest هي مساهمة في إدارة حرائق الغابات في توغو. وقد قيمت: (1) ديناميكية استخدام الأراضي وحرائق الغابات بين عامي 2000 و 2020 و (2) ضعف النباتات والغطاء النباتي ضد حرائق الغابات. تم استخدام صور القمر الصناعي لاندسات للأعوام 2000 و 2013 و 2020 لرصد حرائق الغابات وديناميكية استخدام الأراضي. تم تحقيق قوائم الجرد البيئي وعلم الاجتماع النباتي في 27 قطعة أرض. أظهرت النتائج زيادة في حرائق الغابات بنسبة 11.03% وتراجع النظم البيئية للغابات بنسبة 8.99% و 35.38% على التوالي بالنسبة للغابات المفتوحة التي تحتوي على غابات السافانا والغابات الزراعية والغابات الجافة الكثيفة لصالح الأراضي الزراعية والمراحيض بين عامي 2000 و 2020. نتيجة لتوسع التهديدات البشرية ووجود النباتات العشبية. بشكل عام، تم تسجيل 241 نوعًا نباتيًا مقسمة إلى 192 جنسًا و 70 عائلة. كانت العائلات الأكثر تمثيلًا هي: Asteraceae (12.93%) و Rubiaceae (7.88%). إن تحويل الأراضي الزراعية والمراحيض إلى غابات زراعية وإدخال أنواع الغابات العفوية من شأنه أن يساهم بشكل كبير في الحد من حرائق الغابات وتحسين حماية التنوع البيولوجي لغابة Missahohé المصنفة.

الكلمات المفتاحية: تغيير استخدامات الأراضي، تنوع النباتات، جنوب توغو، حرائق الغابات.

Abstract

This study carried out in the Missahohé Classified Forest is a contribution to the management of wildfire in Togo. It had assessed: (i) the land use and wildfire dynamic between 2000 and 2020 and (ii) the vulnerability of the flora and the vegetation against wildfire. Landsat satellite images of 2000, 2013, and 2020 were used to monitor wildfire and land use dynamic. Ecological and phytosociology inventories were realized within 27 plots. Results showed wildfires' increasing of 11.03% and forest ecosystems decreasing of 8.99% and 35.38% respectively for open forests-wooded savannas-agroforests and dry dense forests- gallery forests in the favor of croplands and fallows between 2000 and 2020. The wildfire increase is a consequence of anthropogenic threats' expansions and the subsistence of herbaceous plants. Globally, 241 plant species divided into 192 genera and 70 families were recorded. The most represented families were: the Asteraceae (12.93 %) and the Rubiaceae (7.88%). A conversion of croplands and fallows into agroforests and an introduction of spontaneous forest species would contribute significantly to the reduction of wildfire and a better protection of the biodiversity of the Missahohé Classified Forest.

Keywords: Land use change, plant diversity, South Togo, Wildfire.

Résumé

Cette étude réalisée dans la Forêt Classée de Missahohé contribue à la gestion du feu de végétation au Togo. Elle a concerné : (i) la dynamique d'occupation du sol et du feu de végétation entre 2000 et 2020 et (ii) la vulnérabilité de la flore et de la végétation face au feu de végétation. Les données d'images satellitaires Landsat de 2000, 2013 et 2020 ont permis de suivre l'évolution de l'occupation du sol et du feu de végétation. Les inventaires écologiques et phytosociologiques ont été réalisés au niveau de 27 placettes. Les résultats révèlent une augmentation de 11,03 % du feu de végétation et une régression des formations denses respectivement de 8,99 % et 35,38 % pour les forêts claires-savanes boisées-agroforêts et les forêts denses sèches-galeries forestières au profit des champs et jachères entre 2000 et 2020. L'augmentation du feu de végétation est une conséquence de l'augmentation des activités anthropiques et des plantes herbacées. Au total, 241 espèces végétales réparties en 192 genres et 70 familles ont été recensées. Les familles les plus représentées sont : les Asteraceae (12,93 %) et les Rubiaceae (7,88%). Une transformation des champs et jachères en agroforêts et une introduction des espèces forestières spontanées contribueraient à la réduction significative du feu de végétation et une meilleure protection de la biodiversité de la Forêt Classée de Missahohé.

Mots-clefs : Diversité floristique, dynamique de l'occupation du sol, feu de végétation, Missahohé, sud Togo.

1. Introduction

La surface terrestre bénéficiant d'une forme de protection formelle appelée aires protégées (AP) est estimée à plus de 15 % (Mayaux et al. 2003). Le visage que présentent ces espaces protégés résulte des contraintes agroécologiques et climatiques (Houehanou et al. 2013a). Le feu de végétation constitue une contrainte qui impacte significativement la gestion efficiente de la végétation, notamment celles des AP.

En Afrique subsaharienne, l'utilisation du feu de végétation est une pratique ancestrale très courante en agriculture et en aménagement des terroirs (Mutch et al. 2001; Sow et al. 2013; Kamau et Medley, 2014; van Wilgen et al. 2014). Le feu permet d'emblaver à moindre coût, stimule la régénération végétale (Shimelmitz et al. 2014), améliore la disponibilité et la qualité du fourrage pour la faune (Tearney et al. 2003). Il joue un rôle important dans le maintien en l'état ou dans la modification de la morphologie et de la composition spécifique du couvert végétal (Gueguim et al. 2018). À ce titre, il peut être considéré comme un véritable outil de gestion dont l'utilisation raisonnée permet de maintenir ou d'entretenir certains types de paysages (Atakpama et al. 2021a).

Au-delà de certaines normes de brûlages, l'aspect utilitaire est supplanté par ses effets négatifs sur le couvert végétal et l'équilibre des écosystèmes. Les incendies exposent ainsi le sol à l'érosion et augmentent la charge atmosphérique en gaz à effet de serre et polluants (Cinnirella et Pirrone, 2006; Pio et al. 2008). Le feu de végétation empêche la régénération de l'humus en réduisant la biomasse et la quantité de micro-organismes telluriques. La régularité du feu favorise l'apparition des espèces xérophytes et pyrophytes et compromet la régénération de certaines espèces ligneuses dont les semences et les plantules sont détruites. Ces actions ont une répercussion importante sur le dynamisme de la végétation et sa progression vers le climax (Houehanou et al. 2013b).

Au Togo, le phénomène du feu de végétation prend plus de l'ampleur au nord et au sud-ouest du pays (MERF, 2017). Plus de 50 % des écosystèmes sont affectés annuellement par le feu de végétation, induisant ainsi la régression des écosystèmes et

des effets néfastes directs sur la santé humaine et l'économie nationale : incendies de villages, des récoltes, des cultures et la destruction des plantations (MERF, 2017).

Pour prévenir les feux indésirables, la réglementation sectorielle interdit les feux incontrôlés et encourage la pratique préventive des feux précoces (Afelu et al. 2016b). En dépit des campagnes d'information, de sensibilisation et de mobilisation des acteurs, des feux incontrôlés, dommageables à l'environnement et aux populations sont annuellement enregistrés. Ces feux affectent tous les écosystèmes notamment les aires protégées. Parmi les aires protégées affectées, on retrouve la forêt classée de Missahohé (FCM).

La FCM subit de nombreuses pressions anthropiques qui s'exercent sur ces divers éléments, principalement sur la faune et la flore pour la satisfaction des besoins alimentaires des populations riveraines. Face à cette perte de la biodiversité, un aménagement a été initié par le gouvernement togolais en collaboration avec l'OIBT en vue d'une production optimale du bois d'œuvre. Cet aménagement n'a pas permis de réduire la perte de la biodiversité et le feu de végétation.

L'objectif général de la présente étude est de contribuer à la gestion durable des aires protégées du Togo. Il s'agit notamment d'évaluer : (i) la dynamique d'occupation des sols et du feu de végétation entre 2000 et 2020 et (ii) la vulnérabilité de la flore au feu de végétation dans la FCM.

2. Matériels et méthodes

2.1. Milieu d'étude

La FCM est située dans la préfecture de Kloto, à environ 125 km de la capitale du Togo, Lomé (Figure 1). Elle couvre une superficie de 1450 ha d'après l'arrêté de classement n°185 – 53/EF du 18 février 1953. Le climat est subéquatorial guinéen de montagne à une saison de pluie, de février à novembre, interrompue par une diminution des pluies en août. La FCM comprend une succession de montagnes dont l'altitude varie de 400 à 800 m, des plateaux situés au sommet et aux pieds de

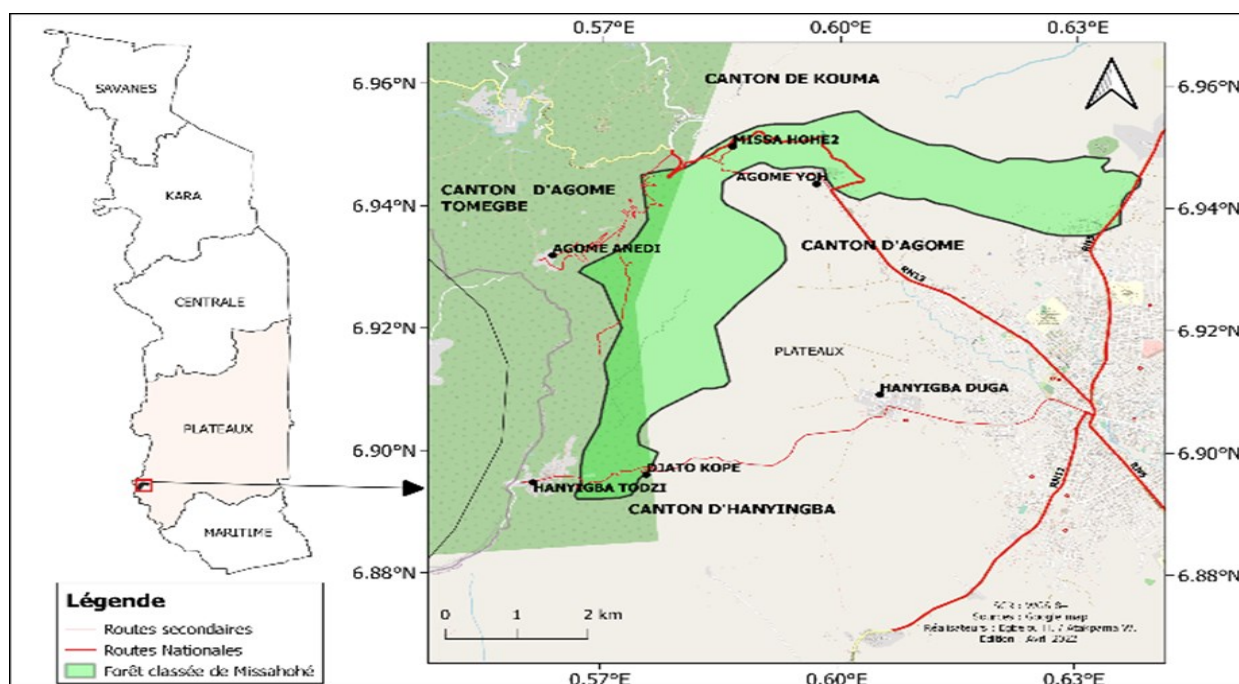


Figure 1. Localisation de la forêt classée de Missahohé.

montagne, des escarpements très marquants avec un relief très accidenté. La végétation comprend une mosaïque de forêts mésophiles et de savanes guinéennes ainsi que des agroforêts, des champs et des jachères.

L'article 4, alinéa 1 de l'arrêté de classement autorise les propriétaires des champs de café et de cacao à l'intérieur de la forêt avant la date de classement à les entretenir et à les renouveler sur place. L'alinéa 2 précise que les champs de cultures vivrières devront être transformés en caféières/cacaoyères ou reboisés. Selon le procès-verbal n° 161/CFM du 18 février 1953 du classement, une liste des propriétaires est dressée et consacrera ultérieurement leurs droits dans leurs terrains (permis de culture, usage, etc.). Les droits d'usage autorisés sont : le ramassage de bois morts, l'utilisation rationnelle des plantes médicinales pour usages individuels, la récolte de régimes de pal-

miers à huile et la chasse avec les fusils de traite pendant la période d'ouverture de chasse. En cas d'exploitation des plantations, les collectivités intéressées bénéficieront de la moitié des produits.

2.2. Collecte des données

Acquisition des images

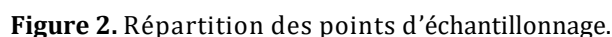
L'étude de la dynamique du feu de végétation et de l'occupation du sol de la FCM a été faite grâce aux données d'images Landsat 7 (ETM+) et Landsat 8 (OLI et TIRS) de résolution de 30 m x 30 m. Compte tenu de la disponibilité des données, le choix des périodes s'est porté sur les années 2000, 2013 et 2020 (Tableau 1). Les images ont été téléchargées sur le site web de l'Institut d'études géologiques des États-Unis, USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Tableau 1. Caractéristique des images Landsat.

Année	2000	2013	2020
Type	Landsat 7 ETM+	Landsat 8/OLI et TIRS	Landsat 8/OLI et TIRS
Date d'acquisition	04/02/2000	16/12/2013	03/02/2020
Path/Row	193/55	193/55	193/55

Inventaires de la végétation

L'inventaire phytosociologique a consisté à recenser toutes les espèces présentes en leur affectant un coefficient d'abondance/dominance suivant l'échelle de [Braun-Blanquet \(1932\)](#). Pour l'inventaire écologique, les paramètres écologiques pris en compte sont : le type de formation végétale, le relief, la situation par rapport au cours d'eau, l'incidence du feu de végétation, le degré de fermeture du couvert végétal, la densité de peuplement ligneux et les activités anthropiques. Les espèces pyrophytes et les espèces dominantes ont été notées. L'incidence du feu de végétation a été déterminée par l'évaluation de l'impact du feu sur les arbres et le sous-bois (non brûlé = troncs d'arbres blancs, plantes herbacées et bois morts non brûlés ; partiellement brûlée = peu de troncs noircis, peu de bois morts et d'herbacées brûlées ; feu très fréquent = plusieurs troncs d'arbres calcinés, présence de cendres, souches de graminées brûlées, nombre d'arbres calcinés dans la placette, nombre



d'arbres morts, les plantes herbacées régulièrement brûlées, présence de géophytes) (Atsri et al. 2018b; Atakpama et al. 2021a).

2.3. Traitement des données

Évaluation de la dynamique spatio-temporelle

Les cartes de la dynamique spatio-temporelle et des superficies brûlées ont été réalisées avec les logiciels ENVI 4.7 et QGIS 2.18.18. Le traitement s'est déroulé en quatre (4) phases à savoir : la correction radiométrique/atmosphérique, l'extraction de la FCM, la classification et la vectorisation. La correction radiométrique/atmosphérique a consisté à la correction des images Landsat des années 2000, 2013 et 2020 par l'outil "Radiometric Correction" du logiciel ENVI. L'extraction de l'image multi-spectrale de la zone d'étude a consisté à découper l'image prétraitée en superposant sur cette dernière le contour de la FCM. La classification s'est basée sur la connaissance du terrain, les données de vérification de terrain et les images de Google Earth. Il s'agit de l'identification visuelle d'un certain nombre d'éléments ou objets naturels ou artificiels qui peuvent être ponctuels, linéaires ou surfaciques sur l'image.

La composition colorée RGB-5-6-7 a été faite selon une combinaison des bandes spectrales reposant sur le principe d'affectation des bandes d'images à trois (3) plans d'affichage basé sur trois (3) couleurs primaires : rouge, vert et bleu. Cette composition colorée permet de distinguer les zones brûlées (en couleur bleue) des autres types d'occupation de sol. Ceci a permis d'émettre les hypothèses sur les surfaces brûlées ou non brûlées. Après visualisation de l'image multi-spectrale sous compositions colorée 5-6-7, le renseignement et la sélection des ROI (Regions of interest) ont été faits suivi de la description des différentes classes. Pour pouvoir bien distinguer les zones brûlées des zones non brûlées, la classification supervisée a été faite. Dans le but d'éliminer les petits points, trois (3) opérations de filtrage à savoir : Sieves classes (pour éliminer les pixels isolés), Clump classes (pour homogénéiser les classes) et Majority/minority analysis (pour lisser les classes après l'opération clump classes) ont été appliquées à chaque image classifiée.

Une fois la classification terminée, l'évaluation

de la précision a été menée afin de valider les résultats cartographiques. La matrice de confusion (%) et deux (2) indices de validation de classification que sont la précision globale (proportion des pixels bien classés, calculés en pourcentage) et l'indice de Kappa (rapport entre les pixels bien classés et le total des pixels sondés) (Skupinski et al. 2009) ont été déterminés. Cinq (5) classes d'occupations du sol ont été définies (Egbelou et al. 2021). Elle distingue : les galeries forestières/forêts denses, les forêts claires/savanes boisées/agroforêts (association d'arbres forestiers et de cultures pérennes telles que le caféier, l'avocatier ou d'autres arbres fruitiers), les savanes arborées/savanes arbustives, champs/jachères, les agglomérations.

Suite à la classification, l'image raster a été vectorisée, puis exportée dans le logiciel QGIS 2.18.18 pour calculer les superficies brûlées et les superficies non brûlées. Pour s'assurer de la précision de la classification, les coordonnées des points enregistrées sur le terrain avec le récepteur GPS (Global Positioning System) par zone brûlée ou zone non brûlée ont été projetées sur l'image classifiée.

Pour l'évaluation de l'évolution des unités d'occupations du sol, une matrice de transition est établie. Aussi, l'évolution moyenne annuelle (T_{annuel}) est calculée selon la formule (1).

$$T_{\text{annuel}} = \left[\frac{(S_f - S_i)}{(S_i \times \text{durée}(i - f))} \right] 100 \quad (1)$$

Où S_i : Superficie initiale de l'occupation du sol, S_f : Superficie finale de l'occupation du sol et $\text{Durée}(i - f)$: Nombre d'années écoulées entre i et f .

Évaluation de la biodiversité et de l'écologie du feu de végétation

Les données collectées ont été saisies dans le tableur Microsoft Excel 2016©. Les espèces recensées ont été regroupées par famille, type biologique et phytogéographique. La nomenclature des espèces a été faite en référence à la flore analytique du Bénin (Akoégninou et al. 2006). Ensuite, une matrice « Relevés x Facteurs écologiques » a été établie en prenant en compte tous les facteurs écologiques considérés. Cette matrice est ensuite soumise à une Classification Ascendante Hiérarchique

(CAH) suivant la méthode de Ward's (Cruz et al. 2010) en utilisant le logiciel Community Analysis Package (CAP 2.15). Cette analyse a permis de discriminer les différents relevés sur la base des facteurs écologiques. La richesse spécifique (S), l'indice de Shannon (Ish, formule 2) et l'indice d'Équitabilité de Pielou (E, formule 3) et l'indice de raréfaction (Ri, formule 4) ont permis de comparer les groupements discriminés (Magurran, 2004; Atakpama et al. 2021b).

$$Ish = - \sum_{i=1}^s \left(\frac{n_i}{n} \right) \log_2 \left(\frac{n_i}{n} \right) \quad (2)$$

Où n_i est le nombre de relevés dans lesquels est présente l'espèce i , et n le nombre total de relevés.

$$E = \frac{Ish}{\log_2 S} \quad (3)$$

Où S est le nombre total d'espèces.

$$Ri = \left[1 - \frac{n_i}{N} \right] 100 \quad (4)$$

Où n_i : nombre de relevés dans lequel l'espèce i est présente ; N : nombre total de relevés.

Les valeurs de Ish sont comprises entre 1 et 5, plus elle est élevée plus la formation est diversifiée. La valeur de E est comprise entre 0 et 1. Lorsque cette valeur est proche de « 0 », la majorité des espèces sont faiblement réparties, par contre E proche de « 1 » signifie que les espèces sont équitablement réparties. Les espèces dont le $Ri < 80$ % sont des espèces préférentielles tandis que les espèces dont le $Ri > 80$ % sont des espèces rarement présentes dans la communauté considérée.

3. Résultats

3.1. Précision de la classification

L'évaluation des résultats de la précision des images classifiées à partir de la matrice de confusion, de la précision globale et du coefficient de Kappa (Tableau 2 & 3) indique que les classifications ont été bien réalisées.

3.2. Dynamique d'occupation du sol de la FCM

Tableau 2. Précision de la classification des images Landsat 2000, 2013 et 2020 : Occupation du sol.

2000					
	A	C/J	FC/ SB/Af	GF/FD	SA/Sa
A	89,53	8,7	0	0	0
C/J	9,78	84,42	0	0	15,93
FC/ SB/Af	0	0	94,58	3,93	0,09
GF/FD	0	0	5,42	93,82	1,13
SA/Sa	0,68	6,88	0	2,25	82,86
Précision globale : 87,07 %, Coefficient de Kappa : 0,83					
2013					
A	91,46	3,88	0	0	0,82
C/J	8,44	90,41	0,57	0	6,12
FC/ SB/Af	0	0	94	3,7	0,12
GF/FD	0	0,23	4,29	93,16	5,48
SA/Sa	0,1	5,48	1,14	3,14	87,46
Précision globale : 90,86 %, Coefficient de Kappa : 0,88					
2020					
A	91,05	8,12	0	0,13	1,15
C/J	8,67	87,39	2,34	0,13	3,08
FC/ SB/Af	0,00	1,28	84,29	12,95	0,19
GF/FD	0,00	0	13,2	86,4	1,15
SA/Sa	0,28	3,21	0,17	0,39	94,42
Précision globale : 98,59 %, Coefficient de Kappa : 0,95					

A = Agglomérations, C/J : Champs/jachères, FC/SB/Af : Forêt claires/Savanes boisées/agroforêts, GF/FD : Galerie Forestières/Forêts denses, SA/Sa : Savanes arborées/Savanes arbustives.

Tableau 3. Précision de la classification des images Landsat 2000, 2013 et 2020 : feu de végétation.

2000		
	ZB	ZNB
ZB	94,48	2,52
ZNB	05,52	97,48
Précision globale : 96,74 %, Coefficient de Kappa : 0,91		
2013		
ZB	98,98	0,02
ZNB	1,02	99,98
Précision globale : 99,95 %, Coefficient de Kappa : 0,99		
2020		
ZB	96,88	02,71
ZNB	03,13	97,29
Précision globale : 97,25 %, Coefficient de Kappa : 0,83		

ZB = Zones brûlées, ZNB : zones non brûlées.

Tableau 4. Évolution des unités d'occupation du sol de la Forêt Classée de Missahohéo pendant la période 2000 et 2020.

Unités d'occupations	Superficies						Taux d'évolution		
	2000 Ha	%	2020 Ha	%	2020 Ha	%	2000-2013 %	2013-2020 %	2000-2020 %
A	2,79	0,19	18,64	1,26	50,96	3,44	568,10	173,39	1726,5233
C/J	255,33	17,22	151,48	10,21	206,84	13,98	-40,67	36,55	-18,9911095
FC/SB/Af	432,86	29,20	443,13	29,88	764,40	51,66	2,37	72,50	76,5928938
GF/FD	333,62	22,50	358,25	24,15	215,57	14,57	7,38	-39,83	-35,3845693
SA/Sa	457,93	30,89	511,65	34,50	241,96	16,35	11,73	-52,71	-47,16223

SA/Sa : savanes arborées/arbustives, GF/FD : galeries forestières/forêts denses, FC/SB/Af : forêts claires/savanes boisées/agroforêts, C/J : champs/jachères et A : agglomérations.

D'une manière générale, les résultats montrent une progression des agglomérations et des forêts claires/savanes boisées/agroforêts sur toute la période d'étude (Tableau 4, Figure 3). Les champs/jachères ont régressé pendant la période de 2000 à 2013, puis ils ont progressé pendant la période 2013-2020 (Figure 3). Les autres classes d'occupation de sol quant à elles ont progressé entre 2000 et 2013 puis ont régressé entre 2013 et 2020.

L'analyse de la matrice de transition (Tableau 5) montre qu'entre 2000 et 2020, la majorité des unités d'occupation de sol ont subi d'importantes modifications. Les champs/jachères se sont végétalisés pour donner des forêts claires/savanes boisées/agroforêts (8,77%), galeries forestières/

forêts denses (0,22%) et savanes arborées/savanes arbustives (2,50%). Une partie des champs/jachères (0,74 %) s'est transformée en agglomérations. Par ailleurs, les forêts claires/savanes boisées/agroforêts se sont végétalisées (1,50%) pour donner les galeries forestières/forêts denses. Elles se sont également dégradées pour donner les savanes arborées/savanes arbustives (0,41%), champs/jachères (0,84%) et les agglomérations (0,01%). Les galeries forestières/forêts denses quant à elles se sont dégradées pour donner des forêts claires/savanes boisées/agroforêts (7,14%), savanes arborées/savanes arbustives (2,5%), champs/jachères (0,61%) et des agglomérations (0,71 %). Les savanes arborées/savanes arbustives

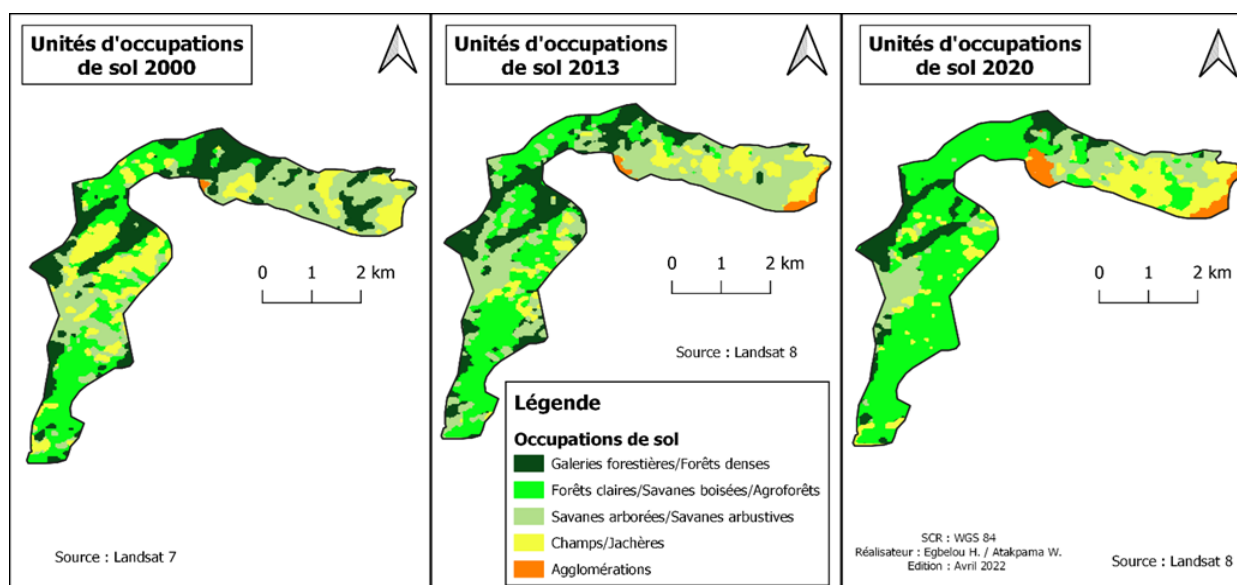
**Figure 3.** Occupations du sol de la FCM en 2000, 2013 et 2020.

Tableau 5. Matrice de transition des unités d'occupation du sol de Missahohé

2000-2013						
2000		2013				
		A	C/J	FC/SB/Af	GF/FD	SA/Sa
	A	0,17	0,01	0	0	0
	C/J	0,42	4,84	5,07	1	5,87
	FC/SB/Af	0	0,47	19,54	5,95	3,23
	GF/FD	0,01	0,04	1,22	15,06	6,19
	SA/Sa	0,68	4,83	4,06	2,12	19,2
2013-2020						
2013		2020				
		A	C/J	FC/SB/Af	GF/FD	SA/Sa
	A	1,25	0,01	0	0	0,02
	C/J	0,47	5,12	1,84	0	2,77
	FC/SB/Af	0	1,26	27,35	0,75	0,57
	GF/FD	0,18	0,23	10,16	12,4	1,19
	SA/Sa	1,54	7,34	12,31	1,42	11,81
2000-2020						
2000		2020				
		A	C/J	FC/SB/Af	GF/FD	SA/Sa
	A	0,19	0	0	0	0
	C/J	0,74	5	8,77	0,22	2,5
	FC/SB/Af	0,01	0,84	26,51	1,5	0,41
	GF/FD	0,71	0,61	7,14	11,54	2,5
	SA/Sa	1,81	7,53	9,22	1,32	10,96

SA/Sa : savanes arborées/arbustives, GF/FD : galeries forestières/forêts denses, FC/SB/Af : forêts claires/savanes boisées/agroforêts, C/J : champs/jachères et A : agglomérations

se sont végétalisées pour donner des forêts claires/savanes boisées/agroforêts (9,22%), et des galeries forestières/forêts denses (1,32%). Une partie de cette occupation s'est dégradée pour donner des champs/jachères (7,53%) et des agglomérations (1,81%).

Certaines portions des unités d'occupations du sol sont restées stables (Figure 4). Les unités d'occupation les plus stables sont : les forêts claires/savanes boisées/agroforêts (26,51%), les galeries forestières/forêts denses (11,54%) et les savanes arborées/savanes arbustives (10,96%). Les portions stables sont quasiment absentes au niveau des agglomérations (0,19%), des champs/jachères et des agglomérations (5,00%).

3.3. Dynamique spatio-temporelle du feu de végétation dans la FCM

L'année 2000 a enregistré un maximum du feu de végétation par rapport aux années 2013 et 2020 (Figure 5). Entre 2000 et 2013, les zones brûlées ont régressé de 42,47%, puis ont progressé de

5,79% entre 2013 et 2020. Par conséquent, les zones non brûlées ont progressé de 11,96% entre 2000 et 2013, puis elles ont légèrement régressé de 0,84% entre la période 2013-2020 (Tableau 6). En 2000, les savanes arborées/savanes arbustives (11,72%) et champs/jachères (9,87%) sont les occupations les plus affectées par le feu de végétation. L'impact du feu de végétation reste faible dans les autres unités d'occupation du sol. Seules les agglomérations n'ont pas été affectées par le feu de végétation. Les savanes arborées/savanes arbustives en 2013 (8,60%) et 2020 (12,42%) ont été les plus impactées par le feu de végétation. En revanche, au niveau des autres unités d'occupation du sol, le feu de végétation s'avèrent plus faibles au cours de ces deux années. En 2013, le feu de végétation ont touché 2,25 % des galeries forestières/forêts denses (Tableau 7). Il est à noter que les forêts claires/savanes boisées/agroforêts et les agglomérations sont les occupations qui n'ont pas été impactées par le feu de végétation (Figure 6).

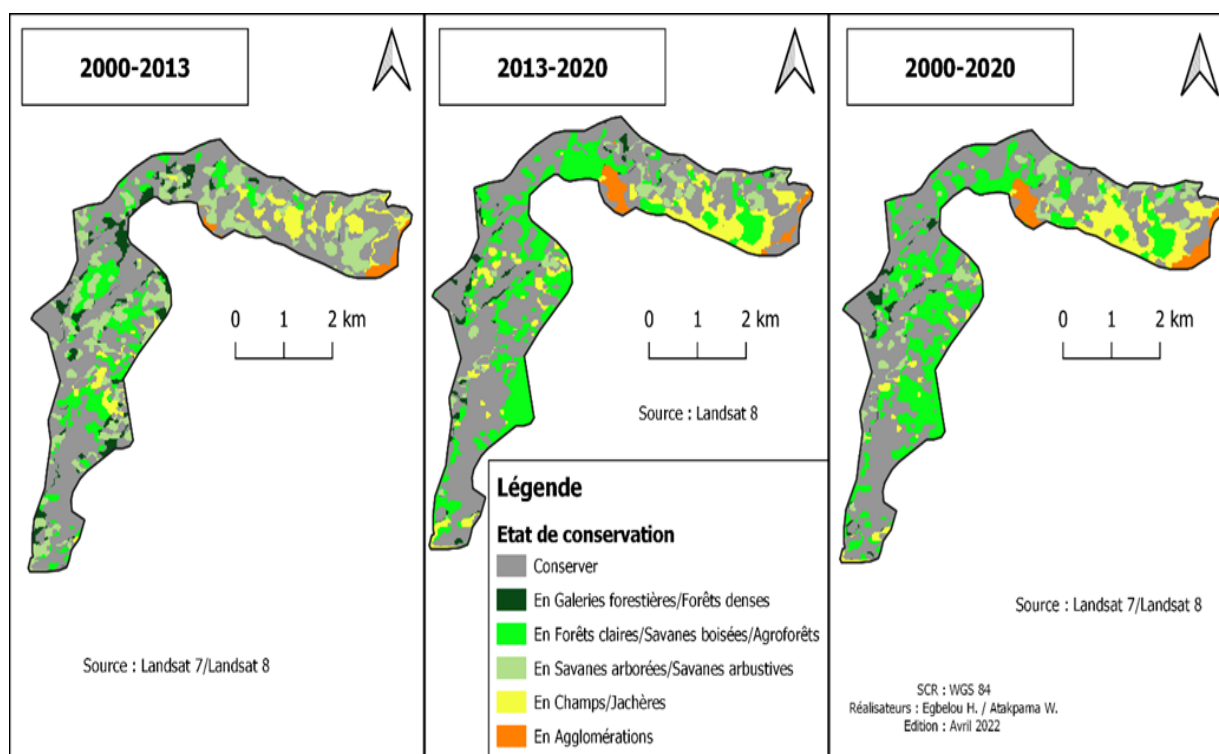


Figure 4. États des occupations du sol de la FCM entre 2000-2013, 2013-2020 et 2000-2020.

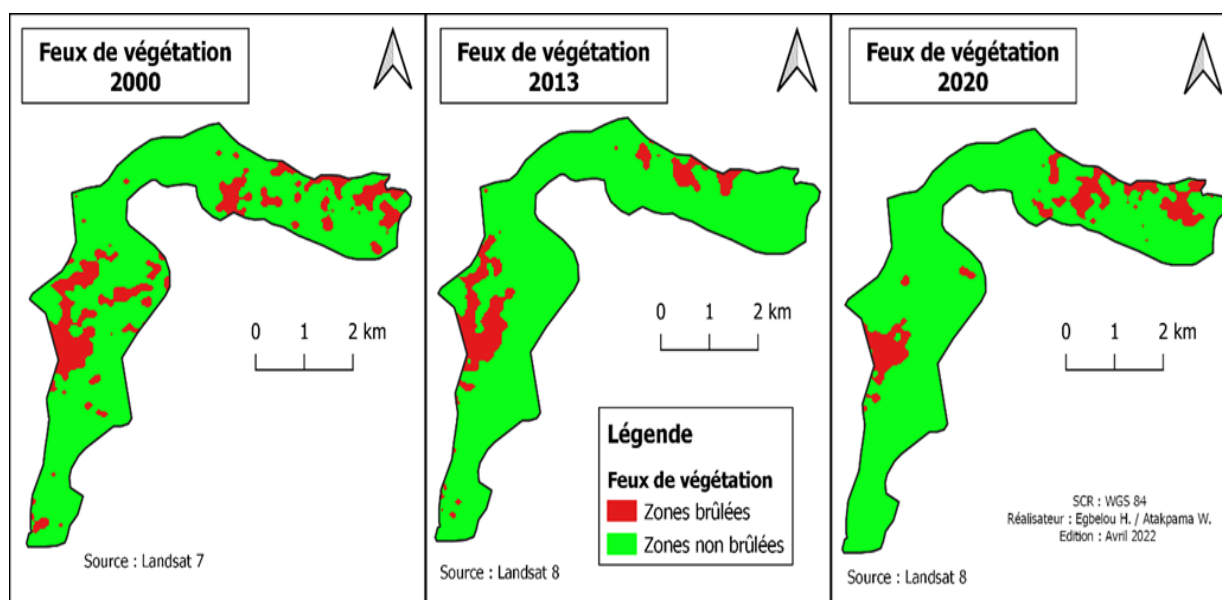


Figure 5. Évolution des superficies brûlées et non brûlées en 2000, 2013 et 2020.

Tableau 6. Évolution des superficies brûlées et non brûlées de la forêt classée de Missahohé.

Feu de végétation			ZB	ZNB
Superficie	2000	Ha	326,28	1158,14
		%	21,98	78,02
	2013	Ha	187,72	1296,7
		%	12,65	87,35
	2020	Ha	198,59	1285,85
		%	13,38	86,62
Taux d'évolution	2000-2013	%	-42,47	11,96
	2013-2020	%	5,79	-0,84
	2000-2020	%	-39,14	11,03

ZB : Zones brûlées et ZNB : Zones non brûlées

3.4. Diversité des formations végétales de la FCM

Une florule de 241 espèces végétales réparties au sein de 192 genres et 70 familles a été recensée. Le spectre pondéré des familles des plantes montre une nette dominance des Asteraceae (12,93%) et des Rubiaceae (Figure 7). Les familles les plus représentées en termes de nombre d'espèces sont : les Rubiaceae (7,88%) et les Euphorbiaceae (7,05%) suivies des Leguminosae-Papilionoideae (5,39%), des Moraceae, des Poaceae et des Asteraceae (4,98%).

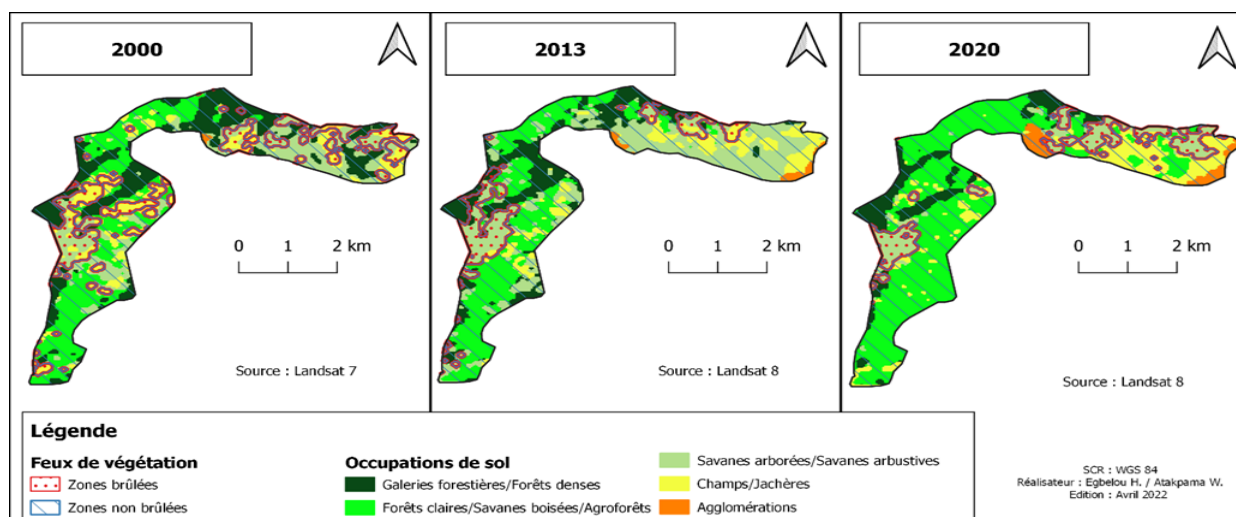
Suivant les types biologiques, les microphanérophytes, les mésophanarophytes et les nanophanérophytes occupent la plus grande proportion

Tableau 7. Superficies des zones brûlées et non brûlées par unités d'occupation du sol entre 2000,

Occupations de sol	2000		
	ZB (ha)	ZNB (ha)	Total
A	0	2,79	2,79
C/J	146,36	108,96	255,32
FC/SB/Af	1,39	431,48	432,87
GF/FD	4,54	329,1	333,64
SA/Sa	173,81	284,14	457,95
Total	326,1	1156,47	1482,57
2013			
A	0,35	18,64	18,99
C/J	18,69	132,45	151,14
FC/SB/Af	7,78	435,36	443,14
GF/FD	33,39	324,87	358,26
SA/Sa	127,59	384,06	511,65
Total	187,8	1295,38	1483,18
2020			
A	1,4	49,56	50,96
C/J	8,91	197,94	206,85
FC/SB/Af	1,56	762,86	764,42
GF/FD	2,62	212,95	215,57
SA/Sa	183,77	58,18	241,95
Total	198,26	1281,49	1479,75

ZB : Zones brûlées et ZNB : Zones non brûlées

(63,49%). Les géophytes, les chaméphytes, les lianes nanophanérophyte, les épiphytes et les hydrophytes sont très peu représentés (Figure 8). Sur le plan phytogéographique, la flore de la FCM est dominée par les espèces Guinéo-Congolaise (47,30%) et les espèces de transition (36,10%). Ensuite viennent les espèces Introduites (13,28%)

**Figure 6.** Impact du feu de végétation sur les unités d'occupations de sol en 2000, 2013 et 2020

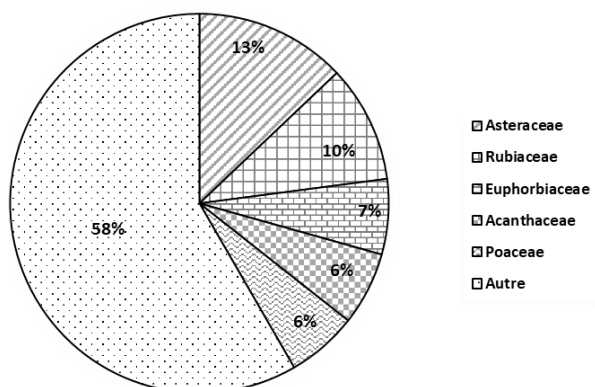


Figure 7. Spectre pondéré des familles de la forêt classée de Missahohé.

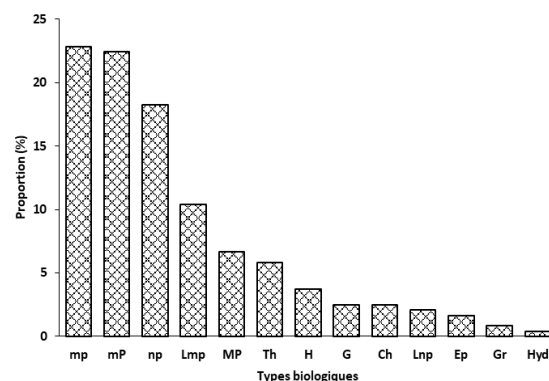


Figure 8. Spectre brut des types biologiques de la forêt classée de Missahohé.

et les espèces Soudano-Zambézienne (2,90%).

MP : Mégaphanérophytes, mP : Mésophanérophytes, mp : Microphanérophytes, np : Nanophanérophytes, Lmp : Lianes microphanérophytes, Lnp : Lianes nanophanéraphytes, Th : Thérophytes, H : Hémicryptophytes, Ch : Chaméphytes, G : Géophytes, Gr : Géophytes rhyzomayteux, Hyd : Hydrophytes.

3.5. Caractéristiques floristiques et écologiques des groupements

La classification Ascendante Hiérarchique (CAH) suivant la méthode de Ward's a permis de distinguer trois (3) groupements de relevés au seuil de

21,2 % suivant la distance euclidienne (Figure 9). Il s'agit des mosaïques des savanes-jachères-champs (G1), des agroforêts (G2) et des forêts denses/galeries forestières (G3).

Les mosaïques de savanes-jachères-champs (G1) sont partiellement brûlées, taux d'incidence de 3,62 %. Le couvert et la densité du peuplement ligneux sont faibles (25-50%). On note aussi la coupe de bois et le défrichement (Figure 10). La florule est de 79 espèces réparties en 35 familles et 73 genres. L'indice de Shannon est de 4,19 bits et l'équitabilité de Pielou est 0,96. Les espèces préférentielles au nombre de 30 espèces (IR < 80%). Les espèces les plus importantes sont : *Albizia adian-*

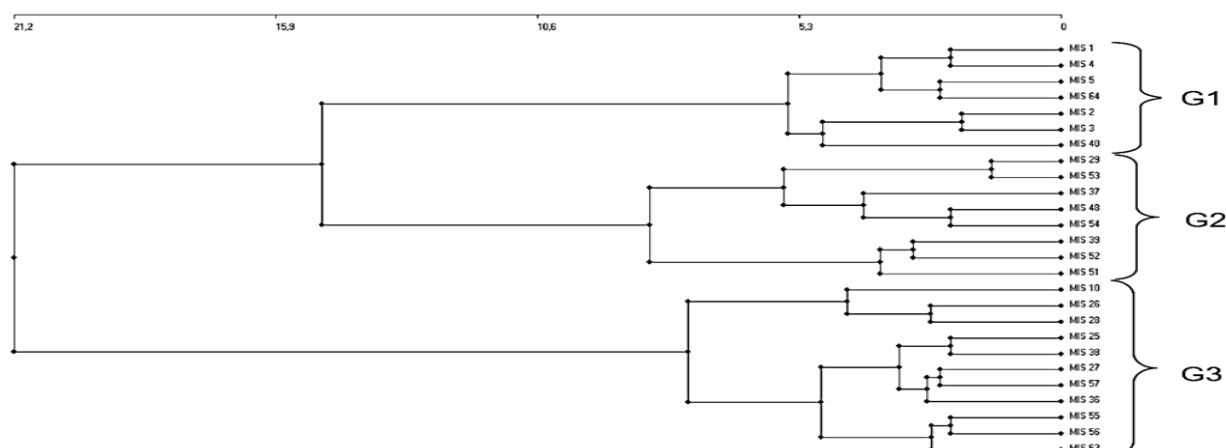


Figure 9. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) des relevés de la forêt classée de Missahohé.

thifolia (Schum.) W.F. Wight, *Andropogon gayanus* Kunth., *Andropogon tectorum* Schum. & Thonn., *Antiaris toxicaria* Lesch. subsp. *welwitschii* (Engl.) Berg, *Bridelia ferruginea* Benth., *Cola gigantea* A. Chev., *Ficus mucoso* Ficalho, *Hippocratea indica* Willd., *Holarrhena floribunda* (G. Don) Dur. & Schinz, *Margaritaria discoidea* (Baill.) Webster. Les 49 autres espèces ont un IR > 80%. Ces espèces sont donc considérées comme rares dans ces formations.

Les agroforêts (G2) ne sont quasiment pas affectées par le feu de végétation (Figure 11). Il s'agit en particulier des agroforêts à caféiers, cacaoyers et avocats en association avec d'autres espèces fruitières. La florule est de 114 espèces réparties en 100 genres et 46 familles. L'indice de Shannon et l'équitabilité de Pielou sont respectivement de l'ordre de 4,53 bits et 0,95 bit. Quarante (40) espèces préférentielles (IR < 80%) dont : *Alchornea cordifolia* (Schum. & Thonn.) Müll. Arg., *Anthocleista djalensis* A. Chev. *djalensis*, *Cola gigantea* A. Chev. Var. *glabrescens* Brenan & Keay, *Ficus exasperata* Vahl, *Ficus ottonifolia* (Miq.) Miq., *Ficus sur* Forssk.

Dans les forêts denses semi-décidues et les galeries forestières (G3), l'occurrence du feu de végétation est quasiment nulle (Figure 12). La diversité est de 132 espèces réparties en 58 familles et 117 genres. L'indice de Shannon est de 4,65 bits et l'équitabilité de Pielou 0,95. Les espèces préférentielles (IR < 80%) sont au nombre de 27. Ces espèces sont entre autres : *Cnestis ferruginea* DC., *Cola millenii* K. Schum., *Dialium guineense* Willd., *Holarrhena floribunda* (G. Don) Dur. & Schinz, *Justicia anselliana* (Nees) T. Anders, *Mangifera indica* L., *Morinda lucida* Benth., *Polyscias fulva* (Hiern) Harms, *Psychotria psychotrioides* (DC.) Roberty, *Rothmannia longiflora* Salisb.

4. Discussion

4.1. Dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol et du feu de végétation dans la FCM

L'analyse de la dynamique d'occupation du sol montre globalement une régression des formations denses au profit des formations ouvertes dans la forêt classée de Missahohé au cours des 20 dernières années. On constate également une dynamique progressive du feu de végétation. Cepen-



Figure 10. Jachère fréquemment brûlée dans la forêt classée de Missahohé.



Figure 11. Agroforêts à cacao (*Theobroma cacao*) dans la forêt classée de Missahohé.



Figure 12. Forêt dense semi-décidue de la forêt classée de Missahohé.

dant, cette tendance est variable durant la période 2000-2013, période durant laquelle les agglomérations, les forêts claires/savanes boisées/agroforêts, galeries forestières/forêts denses et les savanes arborées/savanes arbustives ont progressé au détriment des champs/jachères. Ce résultat est com-

parable à ceux de [Egbelou et al. \(2021\)](#) dans la forêt d'Aboudjokopé située au sud de la zone d'étude en tenant compte globalement des formations végétales. Ces derniers ont plutôt constaté une régression des agglomérations contrairement à la présente étude où on constate une progression des agglomérations. La progression des agglomérations s'explique par l'augmentation de la population à l'intérieur de la FCM. La progression des forêts claires/savanes boisées/agroforêts et galeries forestières/forêts denses est due aux activités de reboisement et de protection menées par l'État et la population locale ([Akakpo et al. 2017](#)).

Les champs/jachères, les forêts claires/savanes boisées/agroforêts et les agglomérations ont progressé au détriment des galeries forestières/forêts denses et des savanes arborées/arbustives entre 2013-2020. La progression des champs/jachères et la régression des galeries forestières/forêts denses et des savanes arborées/arbustives sont dues à l'augmentation de la pression anthropique des populations riveraines dans la FCM, notamment l'augmentation des superficies de champs suite à la transformation des formations savaniques et des agroforêts. Ceci ressort dans l'analyse des changements de l'occupation du sol. Cette tendance à la dégradation de la couverture des formations ligneuses est aussi constatée dans certaines aires protégées du Togo ([Adjonou et al. 2020](#); [Polo-Akpisso et al. 2020](#)) où l'anthropisation reste plus importante que celle de la FCM. La dégradation des AP est également rapportée dans d'autres études sur la dynamique de la végétation en Afrique de l'ouest ([Dimobe et al. 2017](#); [El-Hadj Issa et al. 2021](#)).

Le feu de végétation est en régression entre 2000 et 2013 dans la FCM. Cette régression s'explique par les mesures de protection prise au cours de cette période. Ce résultat est similaire à celui d'[Atakpama et al. \(2021a\)](#) dans la réserve de faune d'Abdoulaye. Par contre, entre 2013 et 2020, le feu de végétation a progressé dans la FCM. Outre les versants dégradés, l'installation des zones de cultures augmente la présence d'espèces herbacées et par conséquent l'occurrence du feu de végétation. La nature de la formation végétale et son occupation du sol sont des facteurs essentiels dans l'évaluation du niveau de vulnérabilité d'un écosystème au risque d'incendie ([Laris et al., 2018](#)). Le feu de végétation a plus affecté les zones savaniques et

les jachères que les formations forestières de la FCM. Cette tendance observée au cours de cette étude est aussi rapportée au sein d'autres aires protégées du Togo ([Afelu et al., 2016a](#)). Une étude menée au Cameroun sur la répartition des superficies brûlées a montré qu'à peine 7 % concernaient les forêts tandis que 93 % ont été observés au niveau des savanes ([Kana et Etouna, 2006](#)). Les écosystèmes naturellement peu exposés au feu (forêts galeries, forêts sèches) peuvent à l'échelle locale être envahis par le feu provenant des savanes contiguës ([Gueguim et al., 2018](#)). Cette situation entraîne de profondes modifications du milieu écologique.

4.2. Diversité floristique de la végétation

La florule recensée est de 241 espèces végétales réparties au sein de 192 genres et 70 familles. Cette florule est supérieure à celles recensées dans la forêt classée d'Atakpamé ([Dourma et al. 2017](#)) et dans les réserves de Faunes de Fazao-Malfakassa et Alédjo ([Woegan et al. 2013](#)). Par contre, elle est moins élevée que celle des forêts communautaires situées au sud de la FCM ([Atakpama et al. 2017](#); [Egbelou et al. 2021](#)) et celle de la Réserve de Faune d'Abdoulaye dans la zone écologique II du Togo ([Pereki et al. 2013](#)). Elle est nettement peu représentée par comparaison à celles des réserves de Fazao-Mafakassa, d'Alédjo et du Complexe Oti-Kérén-Mandouri ([Folega et al. 2012](#); [Polo-Akpisso et al. 2015](#); [Atsri et al. 2018a](#)). Ces différences s'expliquent non seulement par les différences climatiques, mais aussi par le taux d'échantillonnage, la taille des différentes zones d'études, l'effort de détermination et les périodes d'échantillonnage. Ceci ressort clairement en comparant les résultats des études réalisées dans les mêmes zones d'étude comme celles dans la réserve d'Abdoulaye ([Pereki et al. 2013](#); [Atakpama et al. 2021a](#)), du parc Fazao-Mafakassa ([Woegan et al. 2013](#); [Atsri et al. 2018a](#)) et dans le complexe Oti-Kérén-Mandouri ([Folega et al. 2012](#); [Polo-Akpisso et al. 2015](#)).

D'une manière générale, la flore de la FCM est dominée par les Asteraceae et les Rubiaceae. La forte représentativité des espèces de ces familles en plus des légumineux et des Moraceae ressort le caractère humide de la zone ([Aubreville, 1950](#)). Ce constat se rapproche de celui relevé par [Atakpama et al. \(2019\)](#) lors de son étude sur la caractérisation

de la flore pyrophyte. Cette florule typique de la zone IV diffère de celles des aires protégées de la zone soudanienne du Togo où l'on note une forte représentativité des Poaceae et des Combretaceae (Folega et al. 2012; Polo-Akpisso et al. 2015; Atakpama et al. 2021b). L'absence assez notable des Poaceae parmi les familles dominantes est un facteur limitant l'éclosion des feux (Atakpama et al. 2019). L'importance des Asteraceae notamment *Chromolaena odorata* ressort l'impact du feu de végétation conduisant au développement des plantes invasives. Le développement des Asteraceae et des mosaïques champs-jachères-savanes constitue une augmentation du risque d'éclosion du feu de végétation. La dégradation des aires protégées suite à la prolifération des espèces invasives est relevée par des études précédentes sur le Complexe de Réserve de Faune de Togodo et dans la zone de pâturage de la Forêt Communautaire d'Alibi 1 au Togo (Akodéwou et al. 2019; Atakpama et al. 2022).

Suivant les types biologiques, la dominance des microphanérophytes, des mésophanérophites et des nanophanérophites dans la FCM traduit le caractère boisé de la zone. La typologie de la végétation transparait aussi à travers la présence des lianes mésophanérophites et des mégaphanérophites le plus souvent présents au sein des forêts humides. Ce résultat se rapproche de celui observé dans la forêt communautaire de Amevenou un peu plus au sud de la FCM (Atakpama et al. 2017). La très faible proportion des chaméphytes et des géophytes, espèces préférentielles des zones semi-arides sous influence du feu de végétation et du pâturage (Amghar et Kadi-Hanifi, 2004) confirme le caractère moins pyrophyte de la flore de la FCM.

Suivant les types phytogéographiques, la flore de la FCM est dominée par les espèces guinéo-congolaise et les espèces de transition. La présence des espèces guinéo-congolaises est une authenticité de la flore de cette zone. Elle ressort le caractère humide de la zone, favorable au développement d'une flore plus hydrophile (Atakpama et al. 2017). La présence remarquable des espèces introduites est imputable aux activités d'aménagement de cette forêt et le développement des agroforêts renfermant le plus souvent des espèces introduites (Tagbi et al. 2015; Akakpo et al. 2017).

5. Conclusion

L'état des lieux de la dynamique spatio-temporelle du feu de végétation durant la période 2000-2020 montre une nette progression du feu de végétation dans la FCM. Cependant, il a été constaté une régression durant la période 2000-2013. Le phénomène s'est accentué ces dix dernières années avec 35,56 % de la superficie totale de la FCM brûlée en 2020. L'installation des zones de cultures qui transforment les écosystèmes naturellement peu exposés au feu de végétation (forêts galeries, forêts denses sèches et semi-décidues) en savanes favorise l'occurrence du feu. L'inventaire floristique a permis de recenser 241 espèces végétales réparties au sein de 192 genres et 70 familles. On note la dominance des Asteraceae et des Rubiaceae. La gestion du feu de végétation est très importante pour mieux préserver le paysage forestier de la FCM. Pour ce faire, il serait opportun de convertir les champs et les jachères en agroforêts et enrichir la FCM en espèces forestières spontanées.

Remerciement

Cette étude a reçu le financement Programme d'appui à la lutte contre le changement climatique au Togo (PALCC-AMCC+ Togo) sur financement de l'Union européenne. Nous tenons à remercier le Ministère chargé de l'Environnement et aux agents des eaux et forêts pour les facilitations et l'accompagnement sur le terrain lors de la collecte des données.

Références

- Adjonou K, Bindaoudou IA-K, Segla KN, Idohou R, Salako KV, Glele-Kakaï R, Kokou K (2020). Land use/land cover patterns and challenges to sustainable management of the Mono transboundary biosphere reserve between Togo and Benin, West Africa. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14 (5): 1734-1751. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i5.19>
- Afelu B, Djongon KA, Kokou K (2016a). Dynamique spatiotemporelle des feux de végétation au Togo (Afrique de l'Ouest). *European Scientific Journal*, 12 (18): 1857-7881. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n18p14>
- Afelu B, Fontodji KJ, Kokou K (2016b). Impact des feux

- sur la biomasse dans les savanes guinéo-soudaniennes du Togo. [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, 16 (1). <https://doi.org/10.4000/vertigo.17106>
- Akakpo KM, Quensièrè J, Gadal S, Kossi A, Kokou K (2017). Caractérisation et dynamique spatiale de la couverture végétale dans les aires protégées du Togo : étude par télédétection satellitaire de la forêt classée de Missahoé dans la région des plateaux. *Revue internationale de géomatique, aménagement et gestion des ressources*, 1 (1): 181-194. <https://hal.science/hal-01555230/>
- Akodéwou A, Oszwald J, Akpavi S, Gazull L, Akpagana K, Gond V (2019). Problématique des plantes envahissantes au sud du Togo (Afrique de l'Ouest) : apport de l'analyse systémique paysagère et de la télédétection. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 23 (2). https://agritrop.cirad.fr/591093/1/BASE_Adokewou_2019.pdf
- Akoégninou A, van der Burg WJ, van der Maesen LJG, Adjakidjè V, Essou JP, Sinsin B, Yédomonhan H (2006). Flore Analytique du Bénin. Backhuys Publishers, Cotonou & Wageningen, p 1034. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/281595>
- Amghar F, Kadi-Hanifi H (2004). Effet du pâturage sur la biodiversité et l'état de la surface du sol dans cinq stations à Alfa du Sud Algérois *Restoration ecology*. p 399-402. Zaragoza: CIHEAM.
- Atakpama W, Agbetanu KMW, Atara LL, Biao S, Batawila K, Akpagana K (2021a). Biodiversité et gestion des feux de végétation dans la réserve de faune d'Abdoulaye au Togo. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 27 (1): 51-64. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/173064>
- Atakpama W, Amegnaglo KB, Afelu B, Folega F, Batawila K, Akpagana K (2019). Biodiversité et biomasse pyrophytes au Togo. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 19 (3). <https://doi.org/10.4000/vertigo.27000>
- Atakpama W, Folega F, Azo AK, Pereki H, Mensah K, Wala K, Akpagana K (2017). Cartographie, diversité et structure démographique de la forêt communautaire d'Amavénou dans la préfecture d'Agou au Togo. *Rev. Géog. Univ. Ouagadougou*, 2 (6): 59-82.
- Atakpama W, Folega F, Kpadjao M-E, Amouzou FKG, Ahoudjinou EBO, Woegan YA, Akpagana K (2021b). Problématique de gestion durable de la biodiversité des bosquets sacrés de la Région des Savanes au Togo. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 27 (1): 22-32. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/173024>
- Atakpama W, Tchiritema B, Batawila K, Akpagana K (2022). Disponibilité et usage des plantes fourragères de la série de pâturage de la Forêt Communautaire d'Alibi 1 au Togo. *Rev Écosystèmes et Paysages*, 1 (3): 145-161. <https://lbev-univlome.com/wp-content/uploads/2022/12/Atakpama-et-al.pdf>
- Atsri HK, Abotsi KE, Kokou K (2018a). Enjeux écologiques de la conservation des mosaïques forêt-savane semi-montagnardes au centre du Togo (Afrique de l'Ouest). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 38 (1): 6112-6128. http://m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2018/09/6.Atsri_.pdf
- Atsri HK, Konko Y, Cuni-Sanchez A, Abotsi KE, Kokou K (2018b). Changes in the West African forest-savanna mosaic, insights from central Togo. *PloS one*, 13 (10): e0203999. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203999>
- Aubreville A (1950). Flore forestière soudano-guinéenne : A.O.F.-Cameroun-A.E.F. Sociétés d'ed, Paris, France, p 523. <https://agritrop.cirad.fr/378632/>
- Braun-Blanquet J (1932). *Plant sociology*, New York & London, p 330.
- Cinnirella S, Pirrone N (2006). Spatial and temporal distributions of mercury emissions from forest fires in Mediterranean region and Russian federation. *Atmospheric Environment*, 40: 7346-7361. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.051>
- Cruz P, Theau JP, Lecloux E, Jouany C, Duru M (2010). Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes: une classification multitraits. *Fourrages*, 201: 11-17. <https://hal.inrae.fr/hal-02667215/document>
- Dimobe K, Goetze D, Ouédraogo A, Forkuor G, Wala K, Porembski S, Thiombiano A (2017). Spatio-temporal dynamics in land use and habitat fragmentation within a protected area dedicated to tourism in a Sudanian savanna of West Africa. *Journal of Landscape Ecology*, 10 (1): 75-95. <https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0011>
- Dourma M, Souou E, Amana EK, Atakpama W, Folega F, Polo-Akpisso A, Wala K, Akpagana K (2017). La forêt classée d'Atakpamé : diversité, typologie, séquestration de carbone et activités anthropiques. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 19 (3): 29-45. <https://www.ajol.info/index.php/jrsul/article/view/167464>
- Egbelou H, Atakpama W, Dourma M, Folega F, Akpagana K (2021). Dynamique spatio-temporelle et flore de la forêt d'Aboudjokopé au Togo. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 27 (2): 37-50. <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/34/27/2/173063>
- El-Hadj Issa A, Gbemavo DSJC, Hounkpevi A, Mensah GA, Sinsin B (2021). Pressions anthropiques et dynamique des habitats naturels de la Réserve Transfrontalière de Biosphère du W-Bénin. *Annales de l'Université de Parakou-Série Sciences Naturelles et Agromomie*, 11 (2): 1-14. <https://sna.fa-up.bj/ojs/index.php/sna/article/download/48/22>
- Folega F, Zhao X, Batawila K, Zhang C, Huang H, Dimobe K, Pereki H, Bawa A, Wala K, Akpagana K (2012). Quick numerical assessment of plant communities

- and land use change of Oti prefecture protected areas (North Togo). *African J. Agri. Res.*, 7 (6): 1011-1022. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1314>
- Gueguim CD, Tchamba N, Fotso CR (2018). Dynamique spatio-temporelle des feux de brousse dans le Parc National du Mbam et Djerem (Cameroun). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12: 728-748. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i2.10>
- Houehanou TD, Assogbadjo AE, Glele Kakai R, Kyndt T, Houinato M, Sinsin B (2013a). How far a protected area contributes to conserve habitat species composition and population structure of endangered African tree species (Benin, West Africa). *Ecological Complexity*, 13: 60-68. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2013.01.002>
- Houehanou TD, Glèlè Kakai RL, Assogbadjo AE, Kindomihou V, Houinato M, Wittig R, Sinsin BA (2013b). Change in the woody floristic composition, diversity and structure from protected to unprotected savannahs in Pendjari Biosphere Reserve (Benin, West Africa). *African Journal of Ecology*, 51 (2): 358-365. <https://doi.org/10.1111/aje.12046>
- Kamau PN, Medley KE (2014). Anthropogenic fires and local livelihoods at Chyulu Hills, Kenya. *Landscape and Urban Planning*, 124: 76-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.010>
- Kana CE, Etouna JE (2006). Apport de trois méthodes de détection des surfaces brûlées par imagerie Landsat ETM+: application au contact forêt-savane du Cameroun. *Cybergeo*, 20 (357): 1-16. <https://pdfs.semanticscholar.org/9738/0ac48705c9b7091c6ab97c6cf0aad4661cc.pdf>
- Laris P, Jo A, Wechsler SP (2018). Effects of landscape pattern and vegetation type on the fire regime of a mesic savanna in Mali. *Journal of environmental management*, 227: 134-145. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.091>
- Magurran AE (2004). *Measurement biological diversity*. Blackwell Science Ltd, p 260. http://www2.ib.unicamp.br/profs/thomas/NE002_2011/maio10/Magurran%202004%20c2-4.pdf
- Mayaux P, Gond V, Massart M, Pain-Orcet M, Achard F (2003). Évolution du couvert forestier du bassin du Congo mesurée par télédétection spatiale. *Bois & Forêts des Tropiques*, 277: 45-52. <https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/20183/19942>
- MERF (2017). Étude sur la détermination des périodes pour les feux précoces selon les régions écologiques du Togo Ministère de l'environnement, Lomé, Togo. <https://reddtogo.tg/index.php/component/jdownloads/download/2-base-de-donnees/95-rapport-final-volume-1-3-rapport-de-synthese>
- Mutch RW, Lee B, Perkins JH (2001). *Politiques nationales ayant une incidence sur les incendies de forêt dans la région Amériques et Caraïbes*. FAO, Rome, Italie. <https://www.fao.org/3/x2095f/x2095f0b.htm>
- Pereki H, Wala K, Thiel-clemen T, Bessike MPB, Zida M, Dourma M, Batawila K, Akpagana K (2013). Woody species diversity and important value indices in dense dry forests in Abdoulaye Wildlife Reserve (Togo, West Africa). *Int. J. Biodivers. Conserv.*, 5 (6): 358-366. <https://doi.org/10.5897/IJBC12.061>
- Pio C, Legrand M, Alves CA, Oliveira T, Afonso J, Caseiro A, Puxbaum H, Sánchez-Ochoa A, Gelencsér A (2008). Chemical composition of atmospheric aerosols during the 2003 summer intense forest fire period. *Atmospheric Environment*, 42 (32): 7530-7543. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.05.032>
- Polo-Akpisso A, Wala K, Ouattara S, Woegan YA, Coulibaly M, Atato A, Atakpama W, Nare MT, Tano Y, Akpagana K (2015). Plant Species Characteristics and Woody Plant Community Types within the Historical Range of Savannah Elephant, *Loxodonta africana* Blumenbach 1797 in Northern Togo (West Africa). *Annual Research & Review in Biology*, 7 (5): 283-299. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2015/19271>
- Polo-Akpisso A, Wala K, Soulemame O, Folega F, Akpagana K, Tano Y (2020). Assessment of Habitat Change Processes within the Oti-Keran-Mandouri Network of Protected Areas in Togo (West Africa) from 1987 to 2013 Using Decision Tree Analysis. *Sci*, 2 (1): 19. <https://doi.org/10.3390/sci2010001>
- Shimelmitz R, Kuhn SL, Jelinek AJ, Ronen A, Clark AE, Weinstein-Evron M (2014). 'Fire at will': The emergence of habitual fire use 350,000 years ago. *Journal of Human Evolution*, 77: 196-203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2014.07.005>
- Skupinski G, BinhTran D, Weber C (2009). Les images satellites Spot multi-dates et la métrique spatiale dans l'étude du changement urbain et suburbain-Le cas de la basse vallée de la Bruche (Bas-Rhin, France). *Cybergeo: European Journal of Geography*, 439. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.21995>
- Sow M, Hély C, Mbow C, Sambou B (2013). Fuel and fire behavior analysis for early-season prescribed fire planning in Sudanian and Sahelian savannas. *Journal of arid environments*, 89: 84-93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.09.007>
- Tagbi KA, Radji R, Adjonou K, Kokutse AD, Kokou K (2015). Evaluation des paramètres de croissance des essences forestières locales en plantation au Togo: Cas de *Terminalia superba* Engl. & Diels et *Terminalia ivorensis* A. Chev. *European Scientific Journal*, 11 (33): 224-241. <https://core.ac.uk/download/pdf/328025235.pdf>
- Tearney GJ, Yabushita H, Houser SL, Aretz HT, Jang I-K, Schlendorff KH, Kauffman CR, Shishkov M, Halpern EF, Bouma BE (2003). Quantification of macrophage content in atherosclerotic plaques by optical coherence tomography. *Circulation*, 107 (1): 113-119. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000078888.20000.1D>

- doi.org/10.1161/01.CIR.0000044384.41037.43
- van Wilgen BW, Govender N, Smit IP, MacFadyen S (2014). The ongoing development of a pragmatic and adaptive fire management policy in a large African savanna protected area. *Journal of environmental management*, 132: 358-368. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.11.003>
- Woegan YA, Akpavi S, Dourma M, Atato A, Wala K, Akpagana K (2013). Etat des connaissances sur la flore et la phytosociologie de deux aires protégées de la chaîne de l'Atakora au Togo: Parc National Fazao-Malfakassa et Réserve de Faune d'Alédjo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7 (5): 1951-1962. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.14>