

Distribution and conservation challenges of *Vernonia glaberrima* Welw. ex O.Hoffm. in the face of climate change in Togo.

Komi Dodji DJAGNIKPOR^{1*}, Bimare KOMBATE¹, Hodabalo KAMOU¹, Kodjovi Mawuégnigan Léonard AGBODAN¹, Essossimna MAGAMANA¹, Marra DOURMA¹, Sêmihinva AKPAVI¹, Kudzo Atsu GUELLY¹, Komlan BATAWILA¹, Koffi AKPAGANA¹

Abstract

The degradation of ecosystems and the effects of climate change are increasing the vulnerability of *Vernonia glaberrima*, a medicinal plant in Togo. It is therefore necessary to understand its ecology in order to ensure its sustainable conservation. This study aims to determine the distribution of *V. glaberrima* in Togo and its vulnerability to climate change for the purposes of sustainable management. Specifically, it aims to: (i) identify the current habitat of *V. glaberrima* in Togo, (ii) assess the potential current impact of climate change on the population of *V. glaberrima* and by 2070 in Togo, and (iii) define priority areas for the conservation of *V. glaberrima* in Togo. To model the current and future potential distribution of *V. glaberrima*, the maximum entropy (MaxEnt) algorithm was used based on 21 bioclimatic variables and 146 points of presence of the species. Priority conservation areas were identified using Zonation software. The environmental variable that contributes most to the distribution model of *V. glaberrima* is annual precipitation (39.4%), followed by altitude (24%) and precipitation in the wettest quarter (13.4%). Under the current model, the results predicted highly favorable habitats covering 3.47% of Togo's land area. An increase in highly favorable areas is predicted by 2070 under scenarios SSP 24.5 and SSP 58.5. In terms of phytogeographic subdivision, ecological zones II and IV, representing 42.97% and 23.46% respectively, would be priorities for the conservation of *V. glaberrima*. These data will enable the sustainable management of the species in Togo.

Keywords: *Vernonia glaberrima*, ecology, vulnerability, sustainable management, Togo.

Distribution et enjeux de conservation de *Vernonia glaberrima* Welw. ex O.Hoffm face au changement climatique au Togo.

Résumé

La dégradation des écosystèmes et les effets du changement climatique accentuent la vulnérabilité de *Vernonia glaberrima*, une plante médicinale au Togo. Il est donc nécessaire de connaître son écologie pour sa conservation durable. Cette étude vise à déterminer la distribution de *V. glaberrima* au Togo et sa vulnérabilité liée au changement climatique pour sa gestion durable. Il s'agit spécifiquement de : (i) identifier l'habitat actuel de *V. glaberrima* au Togo, (ii) évaluer l'impact potentiel actuel du changement climatique sur la population de *V. glaberrima* et à l'horizon 2070 au Togo et (iii) définir les zones prioritaires de conservation de *V. glaberrima* au Togo. Pour modéliser la distribution potentielle actuelle et future de *V. glaberrima*, l'algorithme d'entropie maximal (MaxEnt) a été utilisé à partir de 21 variables bioclimatiques et 146 points de présence de l'espèce. Les zones prioritaires de conservation ont été identifiées à l'aide du logiciel Zonation. La variable environnementale qui contribue le plus dans le modèle de distribution du *V. glaberrima* est les précipitations annuelles (39,4 %) suivie de l'altitude

¹ Laboratoire de botanique et écologie végétale, département de Botanique, Faculté des Sciences (FDS), Université de Lomé (UL), 01 BP1515 Lomé - Togo.

*Auteur correspondant : Komi Dodji DJAGNIKPOR ; email. djagnikporkomidodji@gmail.com Tel : 00228 90976473

(24 %) et des précipitations du trimestre le plus humide (13,4 %). Sous le modèle actuel, les résultats ont prédit des habitats très favorables soit 3,47% de la superficie togolaise. Une augmentation des zones très favorables selon les scénarii SSP 24.5 et SSP 58.5 est prédite à l'horizon 2070. En terme de subdivision phytogéographique, les zones écologiques II et IV respectivement 42,97% et 23,46% seraient prioritaires pour la conservation de *V. glaberrima*. Ces données permettront une gestion durable de l'espèce au Togo.

Mots clés : *Vernonia glaberrima*, écologie, vulnérabilité, gestion durable, Togo.

INTRODUCTION

Les statistiques mondiales montrent une forte baisse des ressources biologiques des écosystèmes avec une forte menace d'extinction de certaines espèces et la perturbation, voire la disparition, des services et biens écosystémiques (Issifou *et al.*, 2023). Outre les menaces anthropiques, l'un des enjeux primordiaux est le changement climatique (Nori *et al.*, 2008 ; Bennedjou, 2021).

Il a des répercussions sur l'approvisionnement des produits forestiers, actuel et futur, mais le résultat net variera d'un endroit à l'autre (Williamson *et al.*, 2009). Il est probable que les fluctuations des variables climatiques telles que les précipitations et la température aient une incidence sur la diversité biologique et sur la répartition géographique des habitats favorables aux espèces (IPCC, 2007).

Les effets du changement climatique continueront donc de se manifester, et prendront même plus d'ampleur au cours des années à venir (IPCC, 2007 ; Kombate *et al.*, 2022).

Les pays en développement où l'économie est plus centrée sur l'agriculture pluviale et les ressources naturelles sont les plus affectés par ces changements (Loireau *et al.*, 2015). Les impacts les plus visibles sont les maladies infectieuses, les incendies des forêts, les tempêtes violentes, l'élévation du niveau de la mer, la baisse des ressources en énergies fossiles, les inondations, les sécheresses, la fonte des glaciers, la baisse de la ressource en eau potable et la perte de la biodiversité (IPCC, 2007 ; Degenne, 2012 ; Kombate *et al.*, 2022).

Ainsi les modèles de distribution d'espèces sont de plus en plus utilisés pour répondre aux problématiques majeures que sont la compréhension, la description et la prédiction de l'aire potentielle d'une espèce, et l'identification des facteurs qui déterminent sa

distribution (Kumar & Stohlgren, 2009 ; Moukrim *et al.*, 2018). Ils représentent de ce fait, un outil pertinent pour la gestion et la conservation de l'environnement et de la biodiversité (Guisan & Zimmermann, 2000 ; Barbosa *et al.*, 2009 ; Moukrim *et al.*, 2018).

Au Togo, en vue d'une meilleure gestion durable, plusieurs travaux ont été portés sur la distribution, l'impact du changement climatique actuel et sa prédiction ainsi que la restauration et la perspective de conservation de la biodiversité (Kombate *et al.*, 2022 ; Samarou *et al.*, 2023).

En réalité, les changements d'affectation et d'utilisation des terres rendent le secteur forestier vulnérable au changement climatique (Réjou-Méchain *et al.*, 2021 ; Kombate *et al.*, 2022). L'espèce *Vernonia glaberrima* Welw. ex O.Hoffm. une des Asteraceae ayant pour synonyme *Gymnanthemum glaberrimum* (O.Hoffm.) H.Rob. (1999) est centrale dans cette recherche. Elle est utilisée en ethnomédecine pour traiter différentes maladies telles que le paludisme, la migraine, le diabète, la gale et la dysménorrhée (Burkill, 1995).

Il est également utilisé dans le traitement de la douleur, de l'inflammation, des vertiges, des infections microbiennes, du vertigo, du cancer de la peau et d'autres troubles liés à la peau. Par l'extrait méthanolique brut, il a été rapporté que les feuilles de *V. glaberrima* possèdent diverses propriétés pharmacologiques dont analgésique (Abdullahi *et al.*, 2015).

Cette étude vise à déterminer la distribution de *V. glaberrima* au Togo et sa vulnérabilité liée au changement climatique pour sa gestion durable. Il s'agit spécifiquement de (i) identifier l'habitat potentiel actuel de *V. glaberrima* au Togo, (ii) évaluer l'impact actuel

du changement climatique sur la population de *V. glaberrima* au Togo et à l'horizon 2070 et

(iii) définir les zones prioritaires de restauration et de conservation de *V. glaberrima* au Togo.

MATERIELS ET METHODES

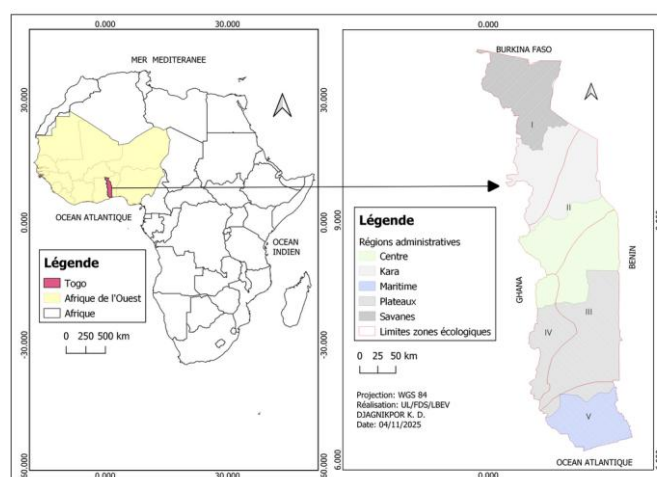
1.1 Milieu d'étude

Cette étude portée sur *Vernonia glaberrima* se déroule au Togo, un pays de l'Afrique occidentale d'une superficie de 56 600 km², situé sur la côte du Golfe de Guinée (Figure 1).

Il est limité à l'Ouest par le Ghana, à l'Est par le Bénin, au Nord par le Burkina Faso et au Sud par l'Océan atlantique. Long de 660 km du Sud au Nord avec une largeur variante entre 50

et 150 km, le Togo se situe entre 0° et 2° de longitude Est et entre 6° et 11° de latitude Nord. Le Togo est constitué de 117 communes réparties dans 39 préfectures avec cinq (05) régions administratives et économiques. Ces régions du nord au sud sont : Région des Savanes (8 470 km²), Région de la Kara (11 738 km²), Région Centrale (13 317 km²), Région des Plateaux (16 975 km²), et Région Maritime (6 100 km²).

Figure 1: Localisation du Togo en Afrique et ses subdivisions administrative et écologique



Le Togo est traversé en écharpe par la chaîne de l'Atakora du sud-ouest au nord-est, avec le plus haut sommet dans la partie méridionale atteignant 900 m à Agou.

Les sols dominants au Togo sont les sols hydromorphes, les sols ferralitiques et les sols ferrugineux tropicaux qui représentent plus de

50 % des sols du pays (Faure and Pennanaech 1981). Le Togo appartient à la zone intertropicale caractérisée par un climat chaud et humide. Sur le plan phytogéographique, on distingue cinq (5) zones écologiques (Ern 1979) définies sur la base des conditions climatiques et phytosociologiques (Figure 1).

1.2 Collecte des données

1.2.1 Données de présence

Pour les données de présence de *V. glaberrima* (Figure 2A, 2B et Figure 3) au Togo, les coordonnées spatiales (latitude et longitude) ont été enregistrées par le GPS (Global Positioning System) et par l'application mobile MAPS.ME lors des activités de terrain pour en faire une distribution spatiale au Togo.

Les données du terrain ont été complétées par celles de GBIF (Global Biodiversity Information Facility: www.gbif.org). Il ressort au total cent quarante-six (146) points d'occurrence de *V. glaberrima* au Togo (Figure 3, Tableau 1) dont cent cinq (105) soit 72% provenant de nos travaux et quarante un (41) points d'occurrence issus de la base de données

GBIF. Ces données ont été traitées à l'aide du logiciel QGIS 3.28.8 et le tableur Excel. Le logiciel QGIS 3.28.8 a permis de faire les croisements géostatistiques pour ressortir les

cartes thématiques et le tableur Excel a servi pour les tableaux croisés dynamiques (Kombate *et al.*, 2022).

Figure 2: Images de *Vernonia glaberrima*

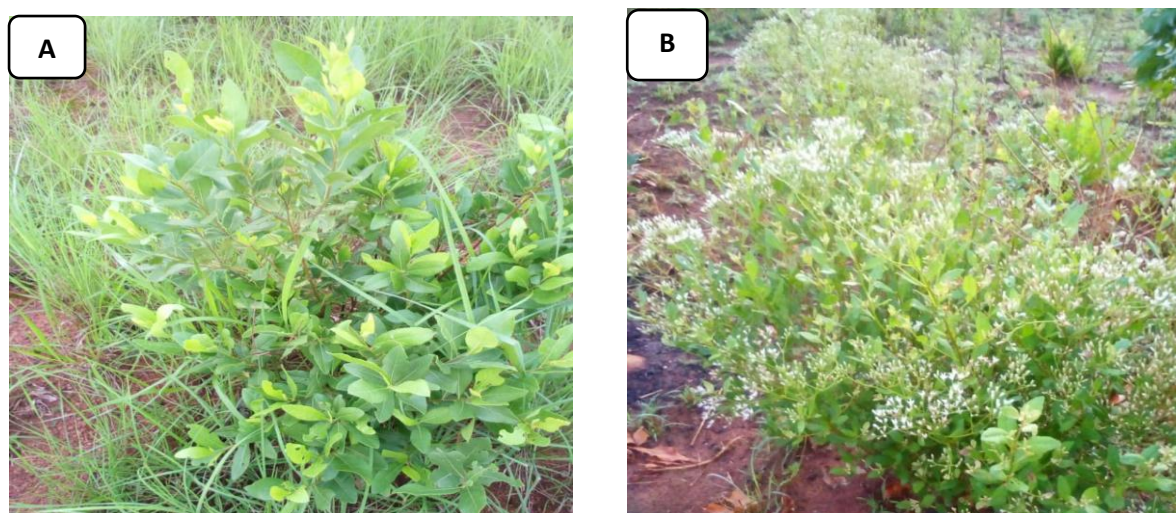


Figure 3: Distribution des points de présence de *V. glaberrima* au Togo

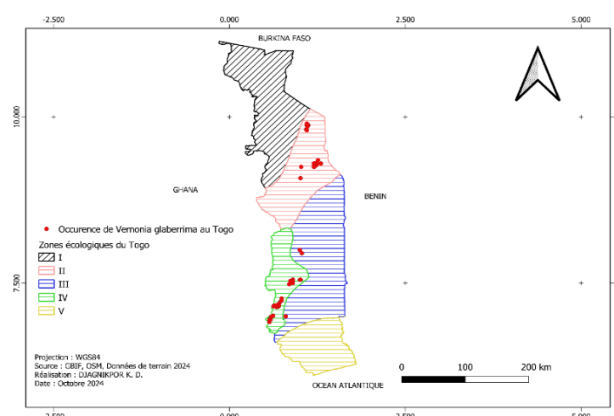


Tableau 1: Origine des données de présence de *V. glaberrima* au Togo

Source	Effectif de points	Type de présence
Djagnikpor K. D. (Observation personnelle)	105	Perception humaine
GBIF (29/10/2024)	41	Herbarium

1.2.2 Variables environnementales

A propos des variables environnementales, vingt-et-un (21) variables bioclimatiques ont été utilisés pour l'établissement des modèles de distribution potentielle de *V. glaberrima*.

Les données pédologiques et l'altitude ont une part d'influence sur la distribution de l'espèce et 19 variables bioclimatiques qui sont les plus directement reliées aux aspects physiologiques de la croissance des plantes

(Gbesso *et al.*, 2013 ; Moukrim *et al.*, 2018 ; Samarou *et al.*, 2023) (Tableau 2).

Les données relatives aux variables bioclimatiques utilisées et à l'altitude ont été extraites de la base de données Worldclim 2.1 (<http://www.worldclim.org>) (Gbesso *et al.*, 2013 ; Moukrim *et al.*, 2018) tandis que celles du sol ont été obtenues du site (<http://www.data.tpdc.ac.cn/en/data/84410bad359-4020-bf76-2b58806f9205/>) (Samarou *et al.*, 2023).

Les présentes données climatiques de la version WorldClim2.1 sont obtenues de la plateforme de Chelsea.V.2.1 représentant les moyennes de 19 variables bioclimatiques sur la période 1970 à 2000 (Karger *et al.* ; 2021 ; Samarou *et al.*, 2023).

La même plateforme a été utilisée pour obtenir les variables bioclimatiques des projections climatiques à l'horizon 2070

(moyenne 2041-2070). Le scénario optimiste (SSP 24.5) et pessimiste (SSP 58.5) ont été utilisés.

Ce sont des Scénarios Socio-économiques Partagés (SSPs) combinés à des trajectoires de forçage radiatif spécifiques. Le SSP 24.5 décrit un avenir où les tendances actuelles se poursuivent en grande partie, avec une mise en œuvre de stratégies climatiques modérées conduisant à un réchauffement climatique limité tandis que le SSP 58.5 décrit un avenir où la croissance économique prime sur les préoccupations environnementales, entraînant des émissions de gaz à effet de serre très élevées et un réchauffement climatique important (O'Neill *et al.*, 2017).

Les données environnementales utilisées ont une résolution de 30 secondes (approximativement 1 km × 1 km). Chaque pixel dans le fichier de données couvre donc une zone d'environ 1 km².

Tableau 2: Variables bioclimatiques utilisées dans la modélisation

Code	Variables environnementales	Unité
hwsd	Sol	-
Wc2.1_30s_elev	Altitude	m
Variables de température		
Bio_01	Température annuelle moyenne	°C
Bio_02	Amplitude diurne moyenne	°C
Bio_03	Isotherme	%
Bio_04	Température saisonnière	°C
Bio_05	Température maximum du mois le plus chaud	°C
Bio_06	Température minimum du mois le plus froid	°C
Bio_07	Amplitude thermique annuelle	°C
Bio_08	Température moyenne du trimestre le plus humide	°C
Bio_09	Température moyenne du trimestre le plus sec	°C
Bio_10	Température moyenne du trimestre le plus chaud	°C
Bio_11	Température moyenne du trimestre le plus froid	°C
Variables de précipitation		
Bio_12	Précipitations annuelles	mm
Bio_13	Précipitations du mois le plus humide	mm
Bio_14	Précipitations du mois le plus sec	mm
Bio_15	Précipitations saisonnières	%
Bio_16	Précipitations du trimestre le plus humide	mm
Bio_17	Précipitations du trimestre le plus sec	mm
Bio_18	Précipitations du trimestre le plus chaud	mm
Bio_19	Précipitations du trimestre le plus froid	mm

1.3 Traitement des données

1.3.1 Exécution et validation des modèles

Relativement à l'exécution et validation des modèles, la modélisation a été réalisée suivant le principe de l'entropie maximale (MaxEnt : Maximum Entropy) (Phillips *et al.*, 2006 ; Atakpama *et al.*, 2016 ; Moukrim *et al.*, 2018 ; Asseh *et al.*, 2019 ; Samarou *et al.*, 2023).

C'est un programme qui permet d'estimer et de prédire la distribution spatiale d'une espèce à partir de données de présence de l'espèce en relation avec les conditions environnementales dans la zone d'intérêt. Cet algorithme utilise une procédure d'optimisation comparant la présence de l'espèce avec les paramètres environnementaux.

En écologie de la conservation, MaxEnt représente un outil prédictif important (Phillips *et al.*, 2006) et largement utilisé dans la distribution des espèces (Phillips *et al.*, 2006 ; Atakpama *et al.*, 2016 ; Moukrim *et al.*, 2018 ; Asseh *et al.*, 2019 ; Samarou *et al.*, 2023). Un test de Jackknife (Miller, 1974) a été effectué sur les variables bioclimatiques considérées pour déterminer celles qui contribuent le plus à la modélisation. La moyenne issue de la

répétition de 10 modèles croisés est utilisée dans la cartographie des habitats. Pour évaluer le modèle, 25% des points d'observation de l'espèce ont été utilisés pour tester le modèle et 75% des points ont été utilisés pour calibrer le modèle (Gbesso *et al.*, 2013 ; Samarou *et al.*, 2023).

La performance et la qualité du modèle à prédire les présences de l'espèce sont basées sur le calcul de l'aire sous la courbe, dite AUC (Area Under the Curve) (Phillips *et al.*, 2006). L'aire sous la courbe (AUC) de la courbe ROC (receiver-operating characteristic) est une mesure indépendante du seuil de l'exactitude de la prédiction du modèle (Hanley *et al.*, 1982 ; Samarou *et al.*, 2023).

L'interprétation des valeurs de AUC est catégorisée suivant la description de (Araújo *et al.*, 2005 ; Moukrim *et al.*, 2018 ; Samarou *et al.*, 2023 ; Kassegne *et al.*, 2025) : $0,90 < AUC \leq 1,00$ (modèle excellent) ; $0,80 < AUC \leq 0,90$ (bon modèle) ; $0,70 < AUC \leq 0,80$ (modèle acceptable) ; $0,60 < AUC \leq 0,70$ (mauvais modèle) et $0,50 < AUC \leq 0,60$ (modèle invalide).

1.3.2 Cartographie de l'habitat

Touchant la cartographie de l'habitat et détermination des zones prioritaires, la cartographie des habitats du *V. glaberrima* est réalisée avec le logiciel QGIS 3.28.8 en utilisant les informations issues de la modélisation de MaxEnt.

La détermination des aires potentielles actuelles de l'espèce sont conçues grâce à l'outil d'analyse spatiale du logiciel QGIS 3.28.8. Pour caractériser la distribution, Phillips & Dudik (2008) ont proposé le seuil (S) relatif à une présence d'entraînement au 10 centile (10 percentile training presence), représentant la probabilité que 90 % des points de présence tombent dans cette aire potentielle. Deux classes d'habitats ont été définies selon lesquelles les valeurs au-dessus de seuil « S » sont considérées comme des habitats favorables tandis que les valeurs en dessous sont considérées comme non favorables.

A partir de la valeur seuil, quatre intervalles de probabilité de présence "P", ont été retenus : (i) habitats très favorables : $P \geq S$, (ii) habitats moyennement favorables : $S/2 \leq P < S$, (iii) habitats peu favorables : $S/4 \leq P < S/2$, et (iv) habitats inadéquats (non favorables) : $P < S/4$ (Moukrim *et al.*, 2018 ; Samarou *et al.*, 2023).

L'outil d'analyse spatiale du logiciel Arc GIS 10.5 a été utilisé pour calculer la superficie de chaque type d'habitats suivant les zones écologiques et les régions économiques du Togo (Kassegne *et al.*, 2025). Les aires potentielles actuelles de *V. glaberrima* et celles à l'horizon 2070 ont été déduites par les scénarii climatiques SSP24.5 et SSP58.5 grâce au logiciel QGIS 3.28.8. On entend par scénarii de changement climatique les descriptions du futur climat possibles fondées sur des hypothèses à l'égard du fonctionnement du climat de la terre

et des émissions des gaz à effet de serre (IPCC, 2007 ; Gbesso *et al.*, 2013).

1.3.3 Détermination des zones prioritaires

La détermination et la classification des habitats prioritaires ont été réalisées avec le logiciel Zonation 4.0 (Moilanen *et al.*, 2014 ; Samarou *et al.*, 2023 ; Kassegne *et al.*, 2025). Ce logiciel est un outil de planification de la conservation. Les fichiers d'entrées de ce logiciel concernant les habitats potentiels

actuels, les habitats à l'horizon 2070 suivant les scénarii SSP24.5 et SSP58.5 sont les résultats de la modélisation dans MaxEnt (Moukrim *et al.*, 2018; Asseh *et al.*, 2019; Samarou *et al.*, 2023). Pour la compatibilité avec le logiciel zonation, ces fichiers sont au format ASCII.

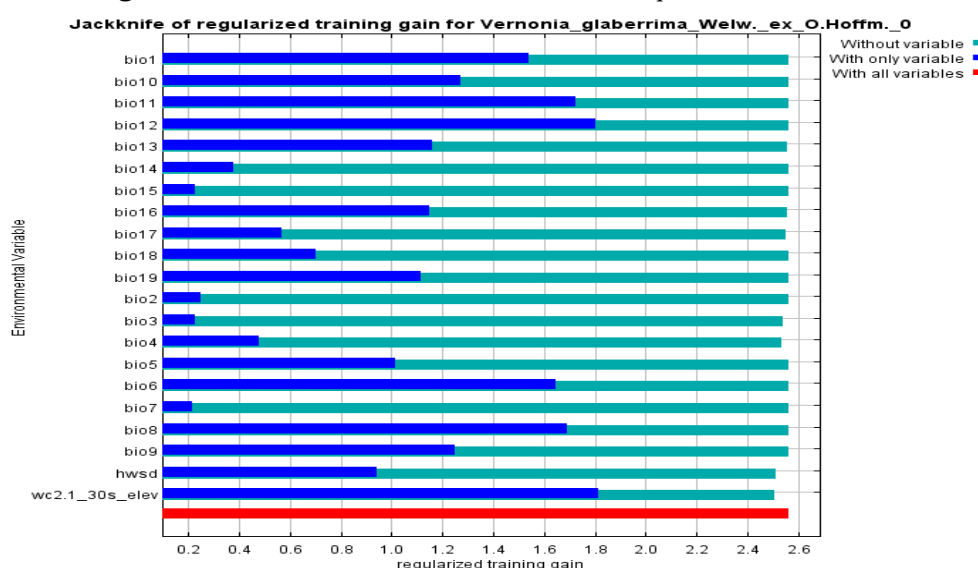
RESULTATS

1.4 Qualité du modèle et variables influentes

La variable environnementale qui contribue le plus significativement dans le modèle de distribution du *V. glaberrima* est la (bio12) « Précipitations annuelles » avec une valeur 39,4 %. D'autres variables entre autre l'altitude (Wc2.1_30s_elev) et bio16 « Précipitations du trimestre le plus humide » contribuent aussi de façon très significative au modèle de distribution du *V. glaberrima* avec respectivement 24 % et 13,4 %. La Figure 4 présente les résultats du test de Jackknife sur la contribution des variables à la performance du modèle.

Il ressort que la variable environnementale ayant le gain le plus élevé lorsqu'elle est utilisée isolément est l'altitude (wc2.1_30s_elev), qui semble donc avoir l'information la plus utile par elle-même expliquant la distribution de *V. glaberrima*. Elle est suivie de la précipitation annuelle (bio12) et de la précipitation du trimestre le plus humide (bio16). Ces trois variables détiennent le plus d'informations non contenues dans les autres variables.

Figure 4: Contribution des variables bioclimatiques: test de Jackknife



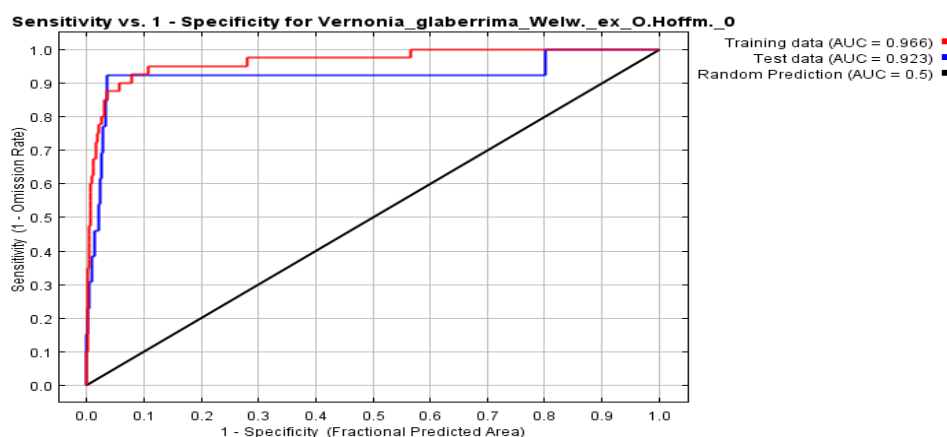
La figure 5 représente la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) pour les mêmes données. Notons que la spécificité est définie à l'aide de l'aire prédite, plutôt que de la commission réelle. Cela implique que l'AUC

maximale réalisable est inférieure à 1. Les données de test sont tirées de la distribution Maxent elle-même. La valeur moyenne de l'AUC de l'aire sous la courbe ROC pour l'exécution du modèle MaxEnt est de 0,966.

Son test est de 0,923. Ceci révèle l'excellente performance de l'algorithme MaxEnt dans la

prédiction de l'aire de distribution du *V. glaberrima* avec une marge d'erreur de 0,5 %.

Figure 5: Valeur de l'aire sous la courbe (AUC, Area Under Curve)



1.5 La distribution spatiale potentielle actuelle du *V. glaberrima* au Togo et à l'horizon 2070

Par analyse des données du tableau 3 et figure 6, l'aire des habitats de *V. glaberrima* au Togo fluctue par rapport à l'état actuel et d'un scénario à un autre. Sous les conditions climatiques actuelles, les habitats actuels très favorables représentent 3,47% soit 2351 hectares de la superficie togolaise contre les habitats non favorables occupant 89,97% soit 60886 hectares.

Les habitats moyennement et peu favorables représentent respectivement 2,43% et 4,12%. Les scénarii SSP 24.5 et SSP 58.5 prédisent respectivement une augmentation des habitats très favorable (de 3,47% à 13,97% et de 3,47% à 8,98%) et moyennement favorable (de 2,43% à 3,82% et de 2,43% à 3,32%) à la conservation de *V. glaberrima* au Togo à l'horizon 2070 (Tableau 3, Figure 6).

Par contre, il y a une régression de l'habitat non favorable pour les deux prédictions. Pour SSP 24.5, la régression passe de 89,97% à 77,10% et pour SSP 58.5 de 89,97% à 84,67%.

Le modèle optimiste (SSP 24.5) présente une augmentation de l'habitat peu favorable (4,12% à 5,10%) contre une régression (4,12% à 3,04%) pour le modèle pessimiste (SSP 58.5). Notons donc que d'ici 2070, les habitats très favorables et moyennement favorables à la culture, à la dispersion et à la conservation de *V. glaberrima* seront augmentés sous les deux scénarios.

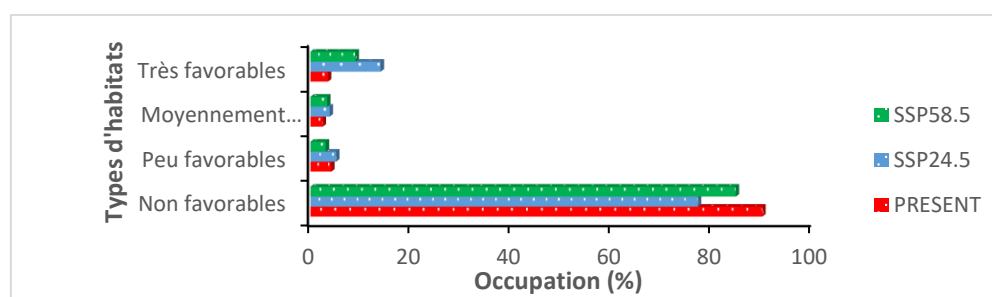
L'augmentation de l'habitat très favorable est plus considérable au niveau du scénario SSP 24.5 que SSP 58.5. L'augmentation de l'habitat peu favorable est notoire uniquement pour le scénario SSP 24.5.

Tableau 3: Tendance évolutive des aires favorables présentes et à l'horizon 2070 de *V. glaberrima*

Habitats de *Vernonia glaberrima*

Types_habitats	Non favorables		peu favorables		moyennement favorables		Très favorables	
	Sup (ha)	Occu (%)	Sup (ha)	Occu (%)	Sup (ha)	Occu (%)	Sup (ha)	Occu (%)
PRESENT	60886	89,97	2789	4,12	1645	2,43	2351	3,47
SSP24.5	52176	77,10	3454	5,10	2586	3,82	9455	13,97
SSP58.5	57294	84,67	2059	3,04	2244	3,32	6074	8,98

Figure 6: Habitats présents et à l'horizon 2070 de *V. glaberrima* au Togo



La figure 7 et le tableau 4 montrent que les zones potentielles actuelles et à l'horizon 2070 sont intrinsèques aux monts Togo dans les savanes soudano-guinéennes. Ils se localisent principalement dans les zones écologiques II et IV. La zone V représente l'aire la plus défavorable actuellement et suivant les deux scénarios à l'horizon 2070. Cette zone actuelle et selon la prédiction des deux scénarii, ne dispose d'aucune zone favorable à l'habitat de *V. glaberrima*.

Les habitats actuels dans les autres zones sont presque peu favorables. Bien que les habitats actuels et en l'an 2070 dans la zone I soient peu favorables au *V. glaberrima*, elle dispose minoritairement de nos jours des habitats moyennement et très favorable (12,50%).

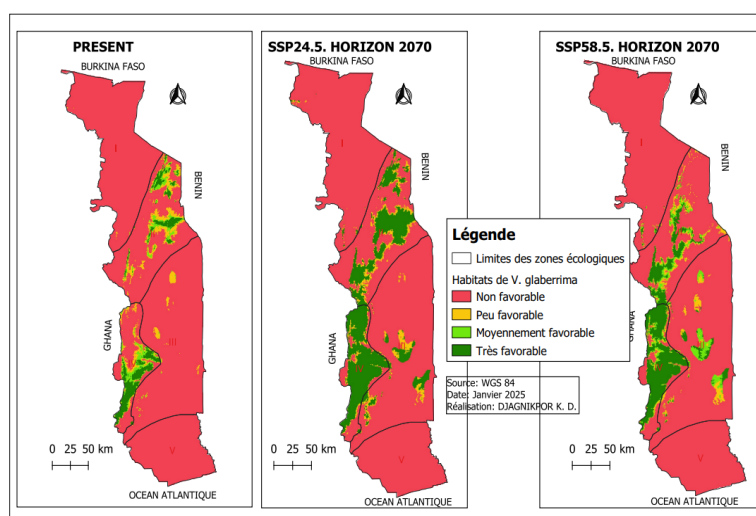
Les habitats moyennement favorables connaîtront une extension sous les deux scénarii tandis que les habitats très favorables régresseront (12,50 à 5,45%) sous le scénario SSP 24.5 et une augmentation (12,50 à 14,29%) sous le scénario SSP 58.5.

Dans les zones II et III, les habitats moyennement favorables vont régresser tandis qu'ils accroîtront dans la zone IV suivant le scénario SSP 24.5. Ce dernier prédit des habitats très favorables dans les trois zones et fortement dans les zones II et IV. Quant au scénario SSP 58.5, les habitats très favorables vont diminuer dans les zones II et IV au profit de la zone III. Les zones moyennement favorables vont diminuer dans la zone II et s'étendre dans les zones III et IV.

Tableau 4: Tendance évolutive des aires favorables présentes et à l’horizon 2070 suivant les zones écologiques

	Habitats	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
Présent	Non favorables	18,75	3,33	7,32	9,16	100
	Peu favorables	56,25	41,81	51,22	41,22	0,00
	Moyennement favorables	12,50	42,28	32,93	40,84	0,00
	Très favorables	12,50	12,59	8,54	8,78	0,00
Scénario SSP 24.5	Non favorables	17,90	3,65	21,90	0,00	26,67
	Peu favorables	50,97	35,77	33,25	6,90	56,67
	Moyennement favorables	25,68	30,66	31,66	62,07	16,67
	Très favorables	5,45	29,93	13,19	31,03	0,00
Scénario SSP 58.5	Non favorables	5,36	5,41	5,42	10,69	100
	Peu favorables	46,43	47,57	41,16	40,25	0,00
	Moyennement favorables	33,93	37,12	36,46	43,71	0,00
	Très favorables	14,29	9,91	16,97	5,35	0,00

Figure 7: Les aires favorables actuelles et à l’horizon 2070 selon les zones écologiques du Togo



Les régions des savanes et maritime présentent actuellement et en l’an 2070, des zones non ou peu favorables au développement de *V. glaberrima* alors que présentement les régions de la Kara, centrale et des plateaux offrent des sites moyennement et très favorables (Tableau 5, Figure 8).

Particulièrement, le scénario SSP 24.5 révèle certaines localités de la préfecture de Tandjoaré dans la région des savanes qui sont moyennement ou très favorables. Les zones

moyennement favorables des régions de la Kara et des plateaux vont décroître respectivement (31,12% ; 31,25%) au profit des habitats très favorables (17,86% ; 17,71%) suivant le scénario SSP 24.5. Selon le même scénario, la région centrale majoritairement peu favorable actuellement (52,72%) connaîtra une évolution des zones moyennement et très favorables successivement (37,98% ; 11,54%).

Le scénario SSP 58.5 prédit des zones très favorables peu variables des habitats

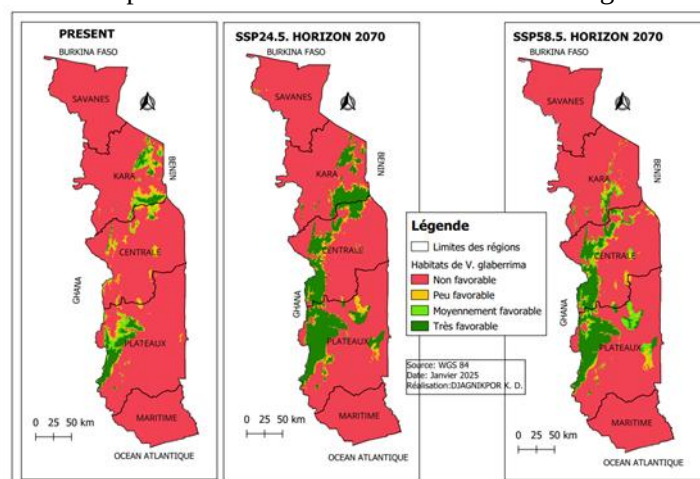
actuels. En ce qui concerne les zones moyennement favorables, elles vont diminuer dans la région de la Kara et s'accroître dans la

région centrale et des plateaux (Tableau 5 ; Figure 8)

Tableau 5: Tendence évolutive des aires favorables présentes et à l'horizon 2070 suivant les régions administratives

	Habitats	Savane	Kara	Centrale	Plateaux	Maritime
Présent	Non favorables	50,00	3,63	8,15	7,20	100
	Peu favorables	50,00	38,94	52,72	42,93	0,00
	Moyennement favorables	0,00	44,22	30,98	40,00	0,00
	Très favorables	0,00	13,20	8,15	9,87	0,00
Scénario SSP 24.5	Non favorables	15,38	14,29	18,75	17,71	40
	Peu favorables	66,92	36,73	31,73	33,33	40
	Moyennement favorables	14,62	31,12	37,98	31,25	20
	Très favorables	3,08	17,86	11,54	17,71	0,00
Scénario SSP 58.5	Non favorables	100	4,88	8,23	6,41	100
	Peu favorables	0,00	49,48	42,17	42,76	0,00
	Moyennement favorables	0,00	32,40	40,76	40,14	0,00
	Très favorables	0,00	13,24	8,84	10,69	0,00

Figure 8: Les aires favorables présentes et à l'horizon 2070 selon les régions administratives du Togo



1.6 Les aires de priorisation des actions de restauration et de conservation de *V. glaberrima* au Togo

Les aires de priorisation sont remarquables principalement tout au long de la chaîne de l'Atakora dans les savanes soudano-guinéennes (Figure 9). Suivant les zones

écologiques (Tableau 6 et Figure 9), les aires de forte priorisation prédites pour conserver et restaurer *V. glaberrima* sont retrouvées majoritairement dans les zones écologiques II et

surtout IV sans négliger la zone III. La priorité la plus élevée (21,38%) existe dans la partie méridionale des monts Togo.

Les aires de priorité moyenne sont localisées dans les zones II et IV respectivement 42,97% et 23,46%. Les zones écologiques I et V sont des zones non prioritaires avec de faible priorité dans la zone III. Cette dernière présente en partie des zones à priorité très élevée (1,11%) et au même instant de faible priorité. C'est une zone composite.

Toutefois la partie septentrionale ouest de la zone I aussi révèle une petite aire à priorité moyenne ou élevée (Figure 9). Suivant les

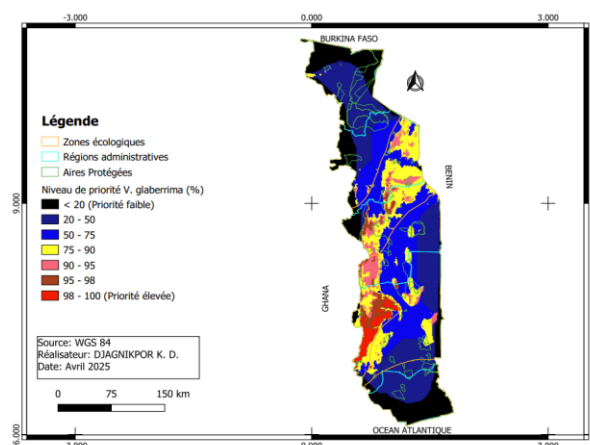
régions administratives, les régions de la Kara (0,72%), Centrale (3,87%) et des plateaux (6,53%) regorgent les zones prioritaires élevées prédites pour la conservation et la restauration de ladite plante.

Lesdites régions possèdent les aires prioritaire moyenne. Les zones de faible priorité se situent plus dans les régions des savanes (53,95%) et maritime (55,86%). Par rapport aux aires protégées, certaines abritent les zones à priorité variable pour la restauration et la conservation de l'espèce. Par contre d'autres sont des zones quasiment non prioritaires. Les priorités ne dépendent donc pas des aires protégées.

Tableau 6: Aire des niveaux de priorité (%) en fonction des zones écologiques et des régions administratives

Niveau de priorité (%)		0 - 20	20 - 50	50 - 75	75 - 90	90 - 95	95 - 98	98 - 100
zones écologiques	Zone 1	36,94	44,85	17,17	0,90	0,14	0,00	0,00
	Zone 2	7,99	1,63	30,18	42,97	12,92	4,31	0,00
	Zone 3	5,18	33,27	43,76	14,11	1,812	0,75	1,11
	Zone 4	0,00	0,27	3,01	23,46	24,05	25,13	21,38
	Zone 5	47,82	52,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Régions administratives	Savane	45,06	53,95	0,19	0,80	0,00	0,00	0,00
	Kara	14,94	17,28	36,50	23,43	7,13	0,72	0,00
	Centrale	6,28	14,43	43,84	21,01	10,56	3,87	0,00
	Plateaux	6,90	34,17	25,11	17,43	3,48	6,38	6,53
	Maritime	55,86	44,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figure 9: La priorisation des habitats pour la conservation et la restauration de *V. glaberrima* au Togo



DISCUSSION

L'analyse de la distribution de *V. glaberrima* révèle que son habitat est principalement défini par des facteurs

climatiques et topographiques, ce qui est crucial pour les stratégies de conservation

1.7 Variables environnementales significatives et la qualité du modèle MaxEnt

Les résultats montrent une forte dépendance de la distribution de *V. glaberrima* à trois variables environnementales clés, ce qui est logique pour une plante vivant en milieu naturel.

Les précipitations annuelles (bio12) avec une contribution de 39,4 % est le facteur le plus influent sur la répartition de *V. glaberrima*. Cette variable détermine la capacité de la zone à soutenir *V. glaberrima*. La contribution significative de la variable des précipitations annuelles (bio 12) a été mentionnée au Togo sur *Tamarindus indica* L. (Samarou *et al.*, 2023) et sur *Blighia sapida* K.D. Koenig (Kassegne *et al.*, 2025).

Ce résultat de la modélisation montrant que la précipitation annuelle (bio12) est un paramètre bioclimatique majeur a été également confirmé au Maroc par Moukrim *et al.* (2018) sur l'*Argania spinosa* (L.) Skeels et au Niger sur l'aire potentielle de *Vitex doniana* Sweet (Abdou *et al.*, 2024). Contrairement à Samarou *et al.* (2023) et Kassegne *et al.* (2025) ayant cité le sol parmi les variables significatives, l'altitude dans ce travail contribue à 24 % et est, selon le test de Jackknife, la variable la plus informative à elle seule. L'altitude est donc la variable la plus prédictive de la distribution de *Vernonia glaberrima*. Les précipitations du trimestre le plus humide (bio16) contribuent de 13,4 %.

Elles soulignent l'importance non seulement de la quantité totale de pluie, mais aussi de sa distribution saisonnière. Ce résultat est attesté par Moukrim *et al.* (2018) sur l'*Argania spinosa* (L.) Skeels au Maroc. L'impact significatif de l'altitude dans la distribution de *V. glaberrima* est une confirmation des précipitations annuelles abondantes. Ceci pourrait s'expliquer par

l'interdépendance entre les paramètres climatiques et les facteurs géographiques tels que l'altitude (Moukrim *et al.*, 2018). Des travaux antérieurs ont montré que l'altitude est souvent la variable la plus significative dans les modèles de distribution, car elle est un proxy (un indicateur indirect) pour d'autres variables essentielles comme la température et les précipitations. Elle influence non seulement le climat, mais aussi le type de sol et l'exposition, ce qui en fait un facteur synthétique de l'habitat d'une espèce (Msanda *et al.*, 2005 ; Benabid, 2011).

La fiabilité du modèle MaxEnt pour prédire la distribution de *V. glaberrima* est évaluée par la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) et l'AUC (Area Under the Curve). Avec une valeur d'AUC de 0,966 (moyenne) et 0,923 (test), le modèle MaxEnt est considéré comme ayant une excellente performance.

Cela signifie qu'il est très bon pour prédire où *V. glaberrima* est susceptible de se trouver. La différence entre l'AUC moyenne et l'AUC de test est faible (0,043) signifiant que le modèle n'est pas sur ajusté aux données d'entraînement. La marge d'erreur de 0,5 % confirme l'excellente performance du modèle. Elle indique que les prédictions du modèle sont très précises. Ces données sont analogiques à celles de Moukrim *et al.* (2018) sur l'*Argania spinosa* (L.) Skeels au Maroc et sur la distribution géographique de quelques espèces d'Acanthaceae en Côte d'Ivoire (Asséh *et al.*, 2019). Cette bonne performance de l'algorithme MaxEnt à capturer les variations des données environnementales a été également signalée au Bénin sur l'étude de *Chrysophyllum albidum* G. Don (Gbesso *et al.*, 2013).

1.8 Influence du climat sur les habitats potentiels de *V. glaberrima* actuel et à l'horizon 2070 au Togo

Les résultats prédisent une évolution positive globale pour *V. glaberrima* à l'échelle du Togo. Actuellement, l'espèce occupe une aire limitée, avec seulement 3,47% d'habitats très favorables. L'habitat potentiel actuel se retrouve dans les zones écologiques II et IV correspondant majoritairement à des endroits où *V. glaberrima* est réellement présente.

Ce résultat est contraire aux habitats favorables actuels correspondant à des endroits où l'espèce n'est pas réellement présente selon d'autres études (Wouyo *et al.*, 2022 ; Samarou *et al.*, 2023 ; Kassegne *et al.*, 2025). Le taux très faible de la présence actuelle de *V. glaberrima* au Togo supposerait qu'elle est une espèce très exigeante en termes de conditions environnementales.

Toutes les espèces ont donc une niche écologique (Xu *et al.*, 2020). Une aire de distribution aussi restreinte la rend extrêmement vulnérable. Les projections climatiques envisagées sur l'an 2070, SSP 24.5 (optimiste) et SSP 58.5 (pessimiste) indiquent que les habitats actuellement favorables au *V. glaberrima* connaîtront une augmentation significative des habitats favorables. Cette augmentation des habitats favorables au *V. glaberrima* a été constaté dans l'étude prédictive de la culture du tamarinier (Samarou *et al.*, 2023) contrairement à celle du karité (Wouyo *et al.*, 2022) au Togo.

Le scénario SSP 24.5 prédit une forte augmentation des habitats très favorables (de 3,47% à 13,97%) et moyennement favorables (de 2,43% à 3,82%). En parallèle, les zones non favorables connaîtront une régression notable (89,97% à 77,10%). Cette tendance suggère une expansion de l'aire de distribution de *V. glaberrima*. Le scénario SSP 58.5 bien que plus pessimiste, prévoit tout de même une augmentation des habitats favorables (très favorables à 8,98% et moyennement favorables à 3,32%), avec une régression des zones non favorables (89,97% à 84,67%).

Cette augmentation des habitats prédits en 2070 pourrait être liée à la transition vers un changement climatique réduisant les forêts existantes au profit de l'expansion de *V.*

glaberrima qui est une plante héliophile. Le changement climatique et l'interaction avec des activités de l'homme tels que la déforestation et les incendies de forêt, sont une menace pour les écosystèmes forestiers de l'Afrique (GIEC, 2021).

La déforestation en Afrique représente 4 millions d'hectares perdus par an soit la moitié de la perte mondiale (FAO, 2020). De ce fait les changements climatiques pourraient modifier l'aire de répartition des espèces (Asseh *et al.*, 2019). L'impact négatif de l'augmentation de la température sur les forêts ne sera pas négligé.

La projection de Xu *et al.* (2020) révèle que 19 % du globe deviendrait inhabitable d'ici 2070. Ils ont montré que dans un scénario de changement climatique sans changement, la position géographique de cette niche thermique devrait se déplacer davantage au cours des 50 prochaines années qu'elle ne l'a fait depuis 6000 ans avant le présent (Xu *et al.*, 2020). Cela démontre la rapidité du changement climatique actuel et la niche thermique sera plus important en 50 ans. Le rapport de GIEC souligne que "les températures en Afrique ont augmenté à un rythme plus rapide que la moyenne mondiale" (GIEC, 2021).

Les scénarii révèlent des disparités régionales et zonales notoires concentrées dans des zones spécifiques actuelles et à l'horizon 2070 sur tout le territoire togolais. Ces variations des scénarii ont été signalées par Wouyo *et al.* (2022). Parmi les zones écologiques, les plus favorables à la culture de *V. glaberrima* actuellement et en 2070 se trouvent dans les monts Togo, principalement dans les zones écologiques II et IV des savanes soudano-guinéennes.

Ce résultat est contraire aux travaux de Wouyo *et al.* (2022) sur le karité dans la zone IV et de Kassegne *et al.* (2025) sur le fisanier dans la zone II au Togo. La zone V reste l'aire la plus défavorable et ne devrait pas connaître de changement significatif. Parmi les régions administratives actuellement et en 2070, les régions de la Kara, du Centre et des Plateaux offrent les sites de culture les plus favorables.

Ces sites de culture favorables zonaux et régionaux ne désignent que les mêmes habitats car les monts Togo des zones II et IV traversent les régions citées au même niveau favorable conduisant à une coïncidence. Les régions des Savanes et du Maritime sont, et resteront, peu propices à *V. glaberrima*. Cependant, le scénario SSP 24.5 prédit l'apparition de zones moyennement ou très favorables dans certaines localités de la préfecture de Tandjoaré, dans la région des Savanes, montrant une expansion potentielle de l'aire de distribution de *V. glaberrima* dans ladite région. Les changements

1.9 Aires de priorisation des actions de culture et de conservation de *V. glaberrima* au Togo

Dans les zones écologiques, l'analyse identifie clairement une forte concentration des zones à haute priorité le long de la chaîne de l'Atakora, qui est un point chaud de biodiversité. Les zones écologiques II et IV sont les plus importantes pour la conservation de *V. glaberrima*, avec des pourcentages élevés de priorisation moyenne.

La zone III est un cas particulier, étant une zone composite avec des poches de très haute priorité (21,38% dans sa partie méridionale) mais aussi des zones de faible priorité. Cela suggère une hétérogénéité des habitats au sein de cette zone. Les zones I et V sont considérées comme non prioritaires en raison de leurs conditions environnementales moins favorables.

Parmi les régions administratives, celles de la Kara, du Centre et des Plateaux sont les plus importantes pour la conservation de *V. glaberrima*. Elles abritent les zones de priorité élevée et moyenne. Ce résultat est cohérent avec la priorisation par zones écologiques, car ces régions se superposent en grande partie avec la chaîne de l'Atakora.

climatiques intra-régionaux sont remarquables dans la Kara et les Plateaux. Le scénario SSP 24.5 prédit un déclin des habitats moyennement favorables au profit des habitats très favorables. Dans la région centrale, les habitats peu favorables devraient se transformer en habitats moyennement et très favorables, signalant une amélioration de la qualité de l'habitat. Le scénario SSP 58.5, quant à lui, montre une augmentation des zones moyennement favorables dans le Centre et les Plateaux, bien que les habitats très favorables restent peu variables par rapport à la situation actuelle.

Ces données sont en conformité avec les études menées dans la région centrale et des plateaux sur le tamarinier (Samarou *et al.*, 2023) et dans la région centrale et de la Kara sur le karité (Wouyo *et al.*, 2022) au Togo. Inversement, les régions des Savanes et Maritimes sont désignées comme des zones de faible priorité, ce qui peut s'expliquer par des conditions climatiques moins favorables.

Pour les aires protégées, le rapport met en évidence un point crucial et potentiellement surprenant : la priorité de conservation ne dépend pas nécessairement de la présence d'une aire protégée. Bien que certaines aires protégées abritent des zones prioritaires pour *V. glaberrima*, d'autres sont quasi non-prioritaires.

Cela suggère que les stratégies de conservation ne devraient pas se limiter aux aires protégées existantes, mais devraient également inclure des zones en dehors de ces périmètres, notamment dans les régions identifiées comme des points chauds pour *V. glaberrima*.

CONCLUSION

Cette étude a permis de cartographier les habitats actuels et à l'horizon 2070 au Togo. La distribution de *Vernonia glaberrima* est principalement déterminée par les précipitations annuelles, l'altitude et les précipitations du trimestre le plus humide, les

principales variables environnementales. Sous les conditions climatiques actuelles, seulement 3,17 % du territoire togolais est prédit très favorable à la culture et au développement de *V. glaberrima*. Les données montrent que l'altitude est la variable la plus informative à elle seule.

Ces résultats sont essentiels pour comprendre les besoins écologiques de *V. glaberrima* et pour orienter les efforts de conservation. La haute performance du modèle MaxEnt est une excellente nouvelle pour la gestion et la conservation de *V. glaberrima*. La distribution de *V. glaberrima* au Togo est susceptible d'évoluer favorablement d'ici 2070,

avec une augmentation des habitats propices sous les deux scénarii climatiques. Cette expansion sera particulièrement marquée sous le scénario SSP 24.5 et sera principalement concentrée dans les régions centrales et des plateaux du pays. Elles contiennent majoritairement les zones prioritaires.

REMERCIEMENT

Notre gratitude aux membres du Laboratoire de Botanique et d'Ecologie Végétale (LBEV) pour leurs orientations. Notre remerciement

également aux évaluateurs de l'Agropastoralis Scientia Journal.

REFERENCES

- Abdou, M. Y., Inoussa, M. M., Soumana, I., Ibrahim, M. L. A., Douma, S., & Bakasso, Y. (2024). Impact des changements climatiques sur l'aire potentielle de *Vitex doniana* Sweet au Sud-Ouest Niger, Afrique de l'Ouest. *Afrique SCIENCE*, 25(6), 1-12. <http://www.afriquescience.net>
- Abdullahi, M. I., Uba, A., Umar, A., Alhasan, A. M., Yusuf, A. J., Yunusa, A., Bello, S. S., Nasir, I., Ibrahim, Z. Y. Y., Musa, K. M., & Aminu, M. (2015). Studies on phytochemical constituents, toxicity, analgesic and anti-inflammatory activities of *Vernonia glaberrima*. *Der Pharma Chemica*, 7, 273–278. derpharmachemica.com
- Asseh, E. E., Ake-Assi, E., & Koffi, K. J. (2019). Diversité biologique et influence des changements climatiques sur la distribution géographique de quelques espèces d'Acanthaceae en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(2), 676-692. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.11>
- Atakpama, W., Wala, K., Gouwakinnou, G. N., Pereki, H., Akodewou, A., Batawila, K., & Akpagana, K. (2016). Abundance, distribution pattern and potential suitable habitat of *Sterculia setigera* Del. in Togo (West Africa). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 26(1), 23-38. [ResearchGate](https://www.researchgate.net/publication/311111111)
- Barbosa, A. M., Real, R., & Vargas, J. M. (2009). Transferability of environmental favourability models in geographic space: The case of the Iberian desman (*Galemys pyrenaicus*) in Portugal and Spain. *Ecological Modelling*, 220(5), 747-754. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.12.004>
- Bennedjoue, I. (2021). Contribution de l'Algérie aux efforts mondiaux de lutte contre les Changements Climatiques. *Revue Algérienne des Études Politiques*, 8(01), 649-668. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/151049>
- Benabid, F., & Roberts, P. J. (2011). Linear and nonlinear optical properties of hollow core photonic crystal fiber. *Journal of Modern Optics*, 58(2), 87-124. <https://doi.org/10.1080/09500340.2010.543706>
- Burkill, H. M. (1995). *The useful plants of west tropical Africa*. Royal Botanic Gardens, Kew. Vol. 3. <https://plants.jstor.org/collection/UPWTA>
- Degenne, P. (2012). *Une approche générique de la modélisation spatiale et temporelle: application à la modélisation des paysages*. Thèse de doctorat, Université de Paris Est, France. <https://theses.fr/2012PEST1133>
- Ern, H. (1979). Die Vegetation Togos, Gliederung, Gefährdung, Erhaltung. *Willdenowia*, 9, 295-315. <https://doi.org/10.2307/3995654>
- FAO. (2020). *The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca8642en>
- Faure, P., & Pennanaech, S. (1981). *Les sols du Togo. Atlas du Togo*, Fitzpatrick. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/b_fdi_03-04/04374.pdf
- Gbesso, F. H. G., Tente, B. H. A., Gouwakinnou, G. N., & Sinsin, B. A. (2013).

- Influence des changements climatiques sur la distribution géographique de *Chrysophyllum albidum* G. Don (Sapotaceae) au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(5), 2007-2018. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i5.18>
- GIEC. (2021). *Changement climatique 2021 : La base scientifique physique*. Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
 - Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2-3), 147-186. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
 - Hanley, J. A., & McNeil, B. J. (1982). The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*, 143(1), 29-36. <https://doi.org/10.1148/radiology.143.1.7063747>
 - Issifou, A., Atakpama, W., Egbelou, H., Bawa, M. E. D., Batawila, K., & Akpagana, K. (2023). Habitat faunique et faune du bassin du fleuve Mono, Afrique de l'ouest. *Agromaroc*, 30-39. https://www.agromaroc.com/index.php/Actes_IAPH2/article/view/1274
 - IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report. Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511546013>
 - Kassegne, K., Atakpama, W., Lare, K., Egbelou, H. D., Dourma, M., Guelly, K. A., Batawila, K., & Akpagana, K. (2025). Niche écologique de *Blighia sapida* K.D. Koenig au Togo. *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 5(1), 1-15. DOI : <https://doi.org/10.59384/rep.v5i1.52>
 - Karger, D. N., Nobis, M. P., Normand, S., Graham, C. H., & Zimmermann, N. E. (2021). CHLSA-TraCE21k v1.0. Downscaled transient temperature and precipitation data since the last glacial maximum. *Climate of the Past Discussions*, 1-27. <https://doi.org/10.5194/cp-19-439-2023>
 - Kombate, B., Dourma, M., Folega, F., Atakpama, W., Wala, K., Batawila, K., & Akpagana, K. (2022). Modélisation spatiale multifactorielle de la vulnérabilité des unités d'occupation du sol face au changement climatique au Togo. *Revue Ecosystèmes et Paysages*. DOI : <https://doi.org/10.59384/rep.v2i2.29>
 - Kumar, S., & Stohlgren, T. J. (2009). MaxEnt modelling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, 1(4), 94-98. <https://academicjournals.org/journal/JENE/article-abstract/1E0594D7420>
 - Loireau, M., Sghaier, M., Chouikhi, F., Fetoui, M., Leibovici, D. G., Debar, S., Desconnets, J. C., & Khadra, N. B. (2015). SIEL: système intégré pour la modélisation et l'évaluation du risque de désertification. *Ingénierie des Systèmes d'Information*, 20(3), 117-142. <https://doi.org/10.3166/isi.20.3.117-142>
 - Miller, R. G. (1974). The jackknife - a review. *Biometrika*, 61(1), 1-15. <https://doi.org/10.1093/biomet/61.1.1>
 - Msanda, F., El Aboudi, A., & Peltier, J. P. (2005). Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. *Cahiers Agricultures*, 14(4), 357-364. <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30534>
 - Moilanen A., Pouzols F. M., Meller L., Veatch V., Arponen A., Leppänen J. & Kujala H. (2014). *Zonation—Spatial conservation planning methods and software Version 4. User Manual*. University of Helsinki. <https://www.helsinki.fi/en/researchgroups/meta-population-research-centre/software#section-11919>
 - Moukrim, S., Lahssini, S., Mharzi Alaoui, H., Rifai, N., Arahou, M., & Rhazi, L. (2018). Modélisation de la distribution spatiale des espèces endémiques pour leur conservation : cas de l'*Argania spinosa* (L.) Skeels. *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)*, 73(2), 153-166. <https://doi.org/10.3406/revec.2018.1923>
 - Nori, M., Taylor, M., & Sensi, A. (2008). *Droits pastoraux, modes de vie et adaptation au changement climatique*. IIED, 33 p. <https://pubs.iied.org/12544iied>
 - O'Neill B.C., Kriegler E., Ebi K.L., KempBenedict E., Riahi K., Rothman D.S., van Ruijven B.J., van Vuuren D.P., Birkmann J. & Kok K. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing

- world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 169-180. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004>
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3-4), 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
 - Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
 - Réjou-Méchain M., Mortier F., Bastin J.-F., Cornu G., Barbier N., Bayol N., Bénédet F., Bry X., Dauby G., Deblauwe V. (2021). Unveiling African rainforest composition and vulnerability to global change. *Nature*, 593(7857), 90-94. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03483-6>
 - Rob, H. (1999). *Gymnanthemum glaberrimum* (Welw. ex O.Hoffm.). *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 112, 241. <https://www.biodiversitylibrary.org/page/34551103>
 - Samarou M., Atakpama W., Kombate B., Egbelou H., Folega F., Batawila K., Akpagana K. (2023). Vulnérabilité du tamarinier (*Tamarindus indica* L., Fabaceae) face aux changements climatiques : cas du Togo. *Revue Agrobiologia*. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/219213>
 - Williamson, T. B., Colombo, S. J., Duinker, P. N., Gray, P. A., Hennessey, R. J., Houle, D., Johnston, M. H., Ogden, A. E., & Spittlehouse, D. L. (2009). *Les changements climatiques et les forêts du Canada : des impacts à l'adaptation*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord, Edmonton (Alberta). 114 p. ISBN 978-1-100-91845-7. <https://publications.gc.ca/site/fra/353684/publication.html>.
 - Wouyo, A., Justine, A., & Hodabalo, E. (2022). Potentiels aire de culture du karité (*Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn. subsp. *paradoxa*) au Togo. *Revue Ecosystèmes et Paysages*, 2(1), 31-45. <https://doi.org/10.59384/rep.v2i1.23>
 - Xu, C., Kohler, T. A., Lenton, T. M., Svenning, J. C., & Scheffer, M. (2020). Future of the human climate niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(21), 11350-11355. <https://doi.org/10.1073/pnas.1910114117>