

## Potentielsaire de culture du karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn spp *paradoxa*) au Togo

### Potential cultivation area of shea butter tree (*Vitellaria paradoxa* C.F Gaertn spp *paradoxa*) in Togo

Atakpama Wouyo<sup>1\*</sup>, Abalo-Sama Gnimdou Justine<sup>2</sup>, Egbelou Hodabalo<sup>1,2</sup>, Gouwakinnou Gérard Nounagnon<sup>3</sup>, Dimobe Kangbéni<sup>4</sup>, Samarou Moussa<sup>1</sup>, Batawila Komlan<sup>1</sup>, Akpagana Koffi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Botanique et Écologie Végétale (LBEV), Département de botanique, Faculté des sciences (FDS), Université de Lomé (UL), 01 B.P. 1515, Lomé 1, Togo

<sup>2</sup>Institut National de Formation Agricole (INFA) de Tové, BP 401 Kpalimé, Togo

<sup>3</sup>Laboratoire d'Écologie, de Botanique et de Biologie végétale (LEB), Faculté d'Agronomie, Université de Parakou (UP), 03 B.P. 125, Parakou, Bénin.

<sup>4</sup>Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural (ISEDR), Université de Dedougou, B.P. 176 Dedougou, Burkina Faso

Info. Article	RÉSUMÉ
<p><i>Historique de l'article</i> Received 26/08/2022 Revised 21 /12/2022 Accepted 21/12/2022</p>	<p>Le karité (<i>Vitellaria paradoxa</i> C.F. Gaertn. ssp. <i>paradoxa</i>) est une espèce d'importance socio-économique. La présente étude est une contribution à la gestion durable du karité au Togo dans le contexte du changement climatique. Spécifiquement, il s'agit de : (i) modéliser la distribution actuelle des habitats potentiels actuels à la culture et à la conservation de l'espèce, (ii) évaluer l'influence du changement climatique sur l'espèce à l'horizon 2055 et (iii) déterminer les zones de priorisation de sa conservation et de sa mise en culture au Togo. La modélisation de la distribution potentielle actuelle et future est basée sur le modèle d'entropie maximal. La modélisation de l'habitat est réalisée avec 23 variables environnementales et 3 092 points de présence de l'espèce. Le logiciel Zonation a permis d'hierarchiser les habitats prioritaires. Le nombre de mois secs est la variable environnementale ayant le plus contribué (56,60 %), suivie des variables édaphiques (10,40 %) et des précipitations annuelles (9,7 %). Sous le modèle actuel, 69,62 % du territoire togolais (zones de climat soudano-guinéen) sont très favorables au développement du karité. Une régression de 6,41 % et 26,03 % des zones très favorables selon les scénarii RCP 4.5 et RCP 8.5 est prédite à l'horizon 2055. Les zones écologiques I, II et III devraient être priorisées dans les politiques de reboisement du karité afin d'optimiser les efforts et rendre durables les chaînes de valeur du karité.</p>
<p><i>Mots-clés :</i></p>	<p><b>ABSTRACT</b></p>
<p>Karité, modélisation, MaxEnt, Togo</p> <p><i>Keywords:</i></p> <p>Shea tree, modelling, MaxEnt, Togo</p>	<p>Shea butter tree (<i>Vitellaria paradoxa</i> C.F. Gaertn. ssp. <i>paradoxa</i>) is a important socio-economic tree species. This study is a contribution to the sustainable management of shea butter tree in Togo facing climate change. Specifically, it aims at: (i) identifying the current potential habitat of the species, (ii) forecasting the impact of climate change on the sustainability of the species by 2055, and (iii) determining the priority areas for its management and vulgarization in Togo. The potential suitable habitat and the impact of climate change by 2050 according to scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5 were done based on MaxEnt algorithm. Habitats were predicted using 23 environmental variables and 3 092 occurrences. Zonation software was used to model priority habitats. The number of dry months is the environmental</p>

variable that contributed the most (56.60%), followed by the edaphic variables (10.40%) and the annual precipitation (9.7%). Under the current model, 69.62% of global stand of Togo (sudano-guinean areas) was predicted as very favourable. Models predict the high favourable habitat regression of 6.41% and 26.03% respectively with RCP 4.5 and RCP 8.5 by 2055. The ecological zones I, II, and III could be prioritized for the conservation and vulgarization of shea trees in order to optimize efforts and sustain the shea tree chain values.

\* **AuteurCorrespondant** : Atakpama Wouyo

. Email : [wouyoatakpama@outlook.com](mailto:wouyoatakpama@outlook.com)

## 1. INTRODUCTION

Le karité est une espèce à multiples usages d'une grande importance socio-économique en Afrique au sud du Sahara [1]. Il contribue de façon substantielle à l'alimentation et aux revenus des populations [2, 3]. Ces sous-produits sont également utilisés dans la pharmacopée, la cosmétique et l'artisanat [4, 5]. Les individus de karité conservent l'humidité du sol et protègent le sol contre l'érosion pluviale [4, 6]. Les parcs à karité contribuent également à la reconstitution des espaces agricoles dégradés et à la réduction de l'émission du dioxyde de carbone [7].

La filière karité connaît un essor ses dernières années à travers la production et la commercialisation du beurre de karité ainsi que ses produits dérivés. Selon le Global Shea Alliance (GSA), le Togo est le septième plus grand producteur de karité représentant, 5 % du marché d'exportation de l'Afrique de l'Ouest avec une production annuelle variant entre 20 000 et 25 000 tonnes d'amandes [8]. L'augmentation de la valeur commerciale de la demande est aussi couplée aux pressions anthropiques liées à l'explosion démographique et la collecte des fruits du karité à des fins commerciales. En plus de la pression anthropique, les changements climatiques constituent aujourd'hui une contrainte additionnelle et une menace importante pour la pérennisation de la filière du karité en Afrique de l'Ouest [9, 10].

Des études à l'échelle globale et à l'échelle des pays frontaliers du Togo (Burkina Faso et Bénin) sur l'impact probable des changements climatiques sur la viabilité de l'habitat du karité [11-13] montrent une régression de l'habitat. À l'échelle du Togo, il existe peu d'étude aussi bien sur la caractérisation écologique, la structure démographique, les paramètres pédoclimatiques régissant la distribution et le développement de l'espèce. Dans le cadre de la valorisation des ressources phyto génétiques et la mise en œuvre de la politique de reboisement du Togo, il serait utile de mettre à la disposition des décideurs des données fiables permettant d'orienter les stratégies de conservation et de valorisations des plantes spontanées [13], notamment le karité. L'attention portée sur le karité se justifie par le fait que des efforts de valorisation de l'espèce sont en cours ces dernières années dans le pays. On note la mise en pépinière, la plantation, la pratique du greffage, la transformation et la commercialisation du beurre de karité et de ses sous-produits sous l'impulsion des organisations de la société civile ainsi que le ministère chargé de l'Environnement.

La présente étude compte répondre à quatre (4) principales questions. Quelles sont les conditions pédoclimatiques qui déterminent la croissance et le développement du karité au Togo ? Quels sont les habitats potentiellement favorables au développement et à la culture du karité au Togo ? Quel est l'impact probable du changement climatique sur la distribution du karité ? Quelles sont les zones de priorisation des actions de conservation et de la mise en culture du karité au Togo ?

L'objectif général de cette étude est de contribuer à la gestion durable du karité au Togo. Spécifiquement, il s'agit de : (i) modéliser la distribution actuelle des habitats potentiels actuels à la culture et à la conservation de l'espèce, (ii) évaluer l'influence du changement climatique sur l'espèce à l'horizon 2055 et (iii) déterminer les zones de priorisation de sa conservation et de sa mise en culture au Togo.

## 2. MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

### 2.1. Milieu d'étude

Situé sur la côte du Golfe de Guinée en Afrique de l'Ouest sur une superficie de 56 600 km<sup>2</sup>, le Togo est subdivisé en cinq (5) régions économiques et administratives (Figure 1). Le climat est soudanien avec une seule saison sèche et une saison pluvieuse au nord du 8<sup>e</sup> parallèle. Au sud, le climat est guinéen à deux (2) saisons des pluies et deux (2) saisons sèches. Majoritairement couvert de savanes [14], on distingue cinq (5) zones écologiques

définies sur la base du relief, du climat et de la spécificité floristique[15]. Il s'agit de la zone écologique I, la zone écologique II, la zone écologique III, la zone écologique IV et la zone écologique V.

La zone I ou zone des plaines du nord-est principalement couvert de savanes soudaniennes où subsistent quelques lambeaux de forêts galeries le long des berges. Dans les secteurs nord de cette zone, sur les sols érodés, plus ou moins cuirassés, se développe une "savane steppique" avec des arbustes épineux[16]. C'est la zone de vastes parcs agro forestiers dont les espèces dominantes sont : le karité, le néré, les rôniers, le baobab [17, 18]. La zone II ou zone des montagnes du nord est une zone de forêts denses sèches, de forêts claires et de savanes [19]. On retrouve aussi d'importants parcs à baobab, à néré et à karité[20]. La Zone III ou zone des plaines du centre est dominée par des savanes boisées guinéennes, de forêts claires et de forêts sèches. On y trouve également des forêts galeries discontinues le long des principaux cours d'eau. La zone IV correspond à la partie méridionale des monts du Togo est le domaine des forêts semi-décidues du Togo. Dans cette même zone, on note également la présence de grandes étendues de savanes guinéennes, encore appelées savanes de montagne [14]. La zone V ou zone des plaines côtières du sud Togo comprend une mosaïque de végétations : cultures, jachères, fourrés, buissons, savanes diverses dont les savanes herbeuses littorales, savanes à termitières buissonnantes et des îlots de forêts. Les mangroves et savanes inondables sont également se retrouvent principalement à l'extrême sud-est du pays.

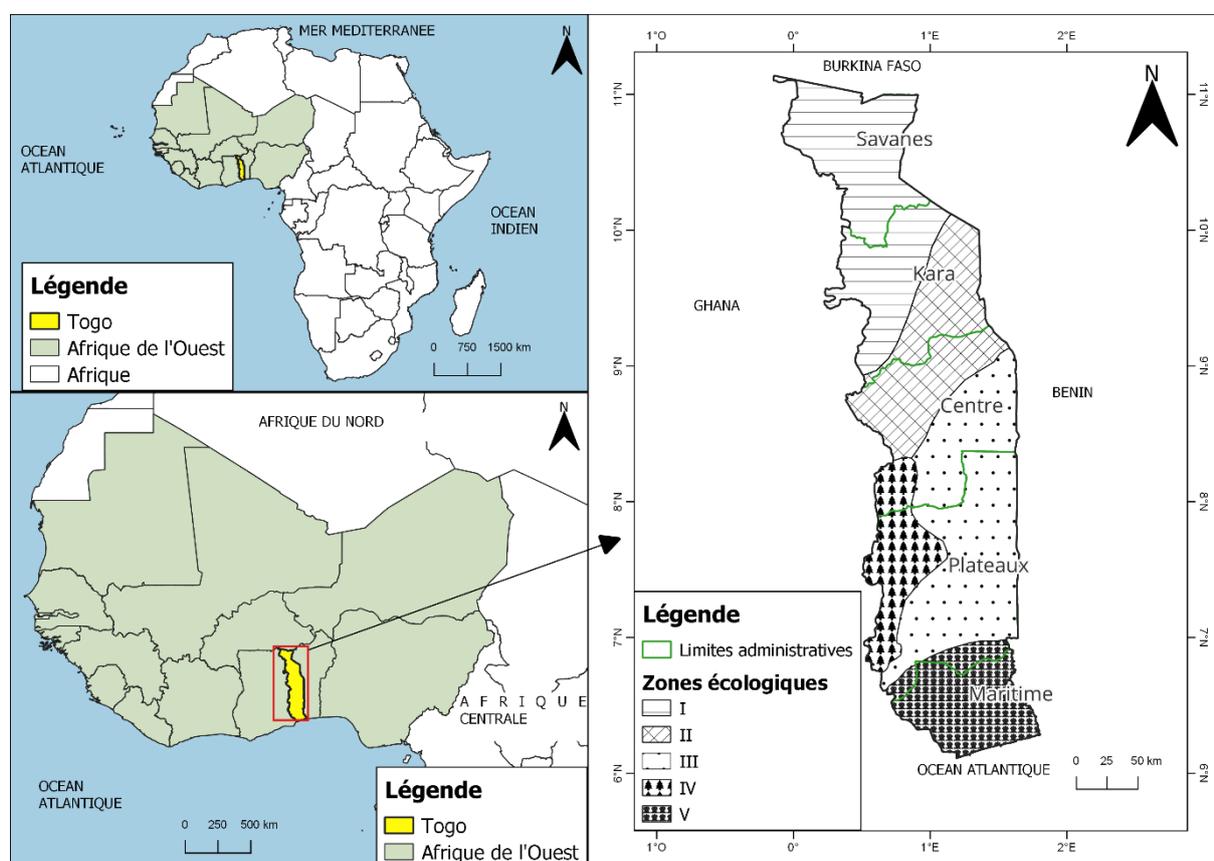


Figure 1 : Localisation du Togo en Afrique de l'Ouest et subdivisions administratives du Togo.

## 2.2. Description de karité

De la famille des Sapotaceae, le karité, arbre à beurre (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn ssp. *paradoxa*) est un fruitier spontané de la zone des savanes soudaniennes et guinéennes d'Afrique[21]. Un individu adulte de l'espèce peut atteindre une hauteur maximale de 12 m et un diamètre à hauteur de poitrine d'environ 1 m[21, 22]. Le tronc est recouvert d'une écorce gris-forcé ou noir, écailleuse, rugueuse à profondément crevassée, à tranche rouge exsudant du latex blanc (Figure 2B). Les feuilles sont simples, alternes à bords ondulés et luisants, groupées en bouquets aux extrémités des rameaux.

Les fleurs de couleur blanc crème, très odorantes, mellifères, à longs pédicelles et regroupées en ombelles denses à l'extrémité des rameaux (Figure 2D). La floraison advient en saison sèche lorsque l'arbre est défeuillé[21]. Les fruits sont des drupes charnues comestibles, sucrés renfermant une à deux graines et regroupés en une infrutescence en grappe (Figure 2E).

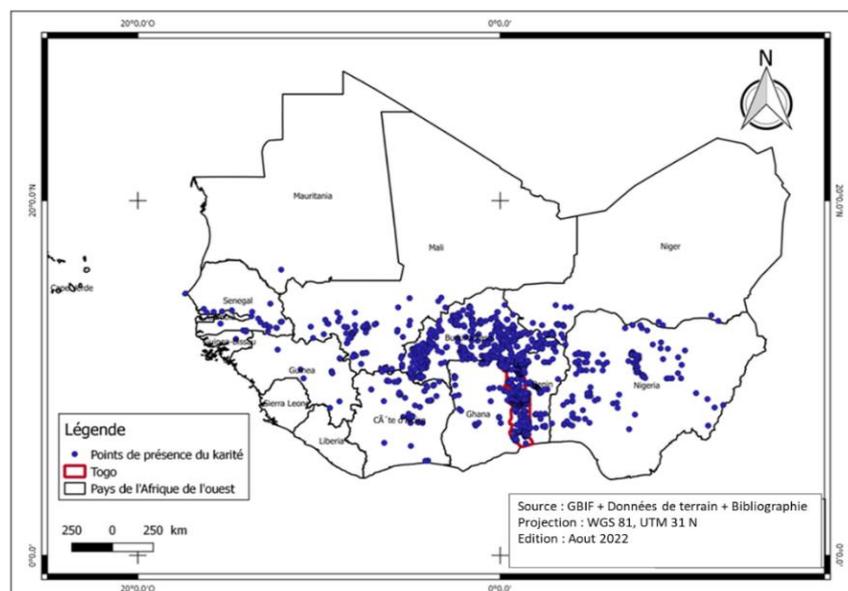


Figure 2 : *Vitellaria paraxodoxa* C.F.Gaertn. ssp. *paraxodoxa* : (A) aspect d'un pied adulte, (B) tranche d'un tronc, (C) branche feuillée, (D) inflorescence et (E) infrutescence.

### 2.3. Collecte des données

#### Données de présences

Les points de présence du karité (*V. paraxodoxa*) ont été collectés au Togo (633), au Bénin (1249) et au Ghana (08) à l'aide de l'application Android MAPS.ME et le récepteur GPS (Global Positioning System). Des données d'inventaires antérieurs ont été également sollicitées [12, 23]. Afin d'améliorer la précision de la modélisation, il est préconisé d'utiliser les données de présence qui couvrent le plus possible la région où les espèces sont influencées par les mêmes facteurs climatiques [24]. Par conséquent, les données de présence du karité ont été collectées dans d'autres pays ouest-africains couvrant l'aire de distribution de l'espèce. Ces données complémentaires sont issues de la plateforme d'information sur la biodiversité, GBIF (Global Biodiversity Information Facility, [www.gbif.org](http://www.gbif.org)) accessible à partir de l'extension GBIF intégré au logiciel QGIS. Un prétraitement de tous les points a consisté à la suppression des doublons et des points erronés. Suite à ce traitement, le nombre total de points de présence considérés est de 3 092, dont 2 134 provenant du terrain (60,02 %) et 958 issus de la plateforme GBIF. La figure 3 et le tableau 1 présentent répartition géographique de l'espèce en Afrique de l'Ouest et les détails des sources des points de présence.

Figure 3 : Distribution des points de présence du karité (*V. paradoxa*) en Afrique de l'Ouest.Tableau 1 : Sources des données de présence du karité (*V. paradoxa*).

Source	Nombre de points	Type de présence	Localisation géographique
Atakpama W. (pers. obs.)	8	Observation humaine	Ghana
Atakpama W. (pers. obs.)	1249	Observation humaine	Bénin
Atakpama W. (pers. obs.)	633	Observation humaine	Togo
Dimobe <i>et al.</i> [12]	49	Observation humaine	Bénin
Dimobe <i>et al.</i> [12]	23	Observation humaine	Burkina Faso
Dimobe <i>et al.</i> [12]	11	Observation humaine	Ghana
Dimobe <i>et al.</i> [12]	2	Observation humaine	Guinée
Dimobe <i>et al.</i> [12]	7	Observation humaine	Cote d'Ivoire
Dimobe <i>et al.</i> [12]	13	Observation humaine	Mali
Dimobe <i>et al.</i> [12]	4	Observation humaine	Niger
Dimobe <i>et al.</i> [12]	84	Observation humaine	Nigeria
Dimobe <i>et al.</i> [12]	13	Observation humaine	Sénégal
GBIF (21-12-2021)	877	Observation humaine	Afrique de l'Ouest
GBIF (21-12-2021)	81	Herbarium	Afrique de l'Ouest
MERF/GIZ [23]	41	Observation humaine	Togo
<b>Total</b>	<b>3 092</b>		

### Données environnementales

Au total, 23 variables environnementales, dont 21 variables climatiques, et une variable de sol et d'altitude ont été utilisées (Tableau 2). Les variables climatiques et les données d'altitudes proviennent de la base de données de AFRICLIM 3.0 (<http://www.york.ac/environment/research/kite/resources>) [25]. Les données climatiques de AFRICLIM sont projections climatiques à haute résolution plus adapté au contexte écologique africain. Les données édaphiques sont extraites de la base de données harmonisée des sols du monde « Harmonized World Soil Database » (<http://www.data.tpdc.ac.cn/en/data/84410ba-d359-4020-bf76-2b58806f9205/>). Pour les projections climatiques futures, le téléchargement des données a été fait à l'horizon 2055 sous les deux scénarii des quatre (4) scénarii climatiques RCP (Representative Concentration Pathways). Les deux scénarii choisis font partie des plus réalistes : scénario optimiste (RCP 4.5) et scénario pessimiste (RCP 8.5) [26]. RCP 4.5 stipule une augmentation modérée des émissions de gaz à effet de serre alors que RCP 8.5 présente une augmentation plus dramatique des émissions [27]. Toutes les données environnementales utilisées dans la présente étude ont une résolution de 30 secondes (approximativement 1 km x 1 km). Ces couches ont été découpées suivant les limites de l'Afrique de l'Ouest puis converties en format ASCII grâce au logiciel QGIS.

**Tableau 2 : Variables climatiques utilisées dans la modélisation (source : AFRICLIM)**

Variabiles climatiques	Définition des variables	Unité
<b>Variabiles de température</b>		
bio 1	Température moyenne annuelle	°C
bio 2	Moyenne mensuelle des variations journalières	°C
bio 3	Iso thermalité	%
bio 4	Saisonnalité de la température	°C
bio 5	Température maximale du mois le plus chaud	°C
bio 6	Température maximale du mois le plus froid	°C
bio 7	Plage de température annuelle	°C
bio 10	Température moyenne du trimestre le plus chaud	°C
bio 11	Température moyenne du trimestre le plus froid	°C
pet	Évapotranspiration potentielle	-
<b>Variabiles de Précipitation</b>		
bio 12	Précipitations annuelles	mm
bio 13	Précipitation du mois le plus humide	mm
bio 14	Précipitation du mois le plus sec	mm
bio 15	Saisonnalité des précipitations	%
bio 16	Précipitation du trimestre le plus humide	mm
bio 17	Précipitation du trimestre le plus sec	mm
dm	Nombre de mois sec	-
iids	Durée de la plus longue saison sèche	-
miaq	Indice d'humidité du trimestre le plus aride	-
mimq	Indice d'humidité du trimestre le plus humide	-
mi	Indice d'humidité annuel	-

#### 2.4. Exécution et validation des modèles

La modélisation a été réalisée en utilisant l'algorithme MaxEnt (Maximum Entropy), qui utilise une procédure d'optimisation comparant la présence de l'espèce avec les caractéristiques de l'environnement en se basant sur le principe d'entropie maximale [28]. Cet algorithme ne requiert pas de données d'absences souvent incertaines et difficiles à collecter [29]. MaxEnt est l'un des programmes susceptibles de générer de très bonnes informations biogéographiques tout en offrant une bonne discrimination des habitats favorables à une espèce d'un point de vue bioclimatique [28]. Cette méthode a été déjà utilisée avec succès dans la distribution des espèces d'importance socio-économique en Afrique de l'Ouest [12, 13, 30].

Le modèle a été calibré avec 75 % des points de présence et le reste des points ont été utilisés pour le tester. La validation croisée du modèle a été répétée 10 fois pour mieux apprécier le pouvoir moyen de MaxEnt à projeter la distribution de l'espèce. Toutes les variables pédoclimatiques ont été utilisées pour la modélisation de l'habitat [31] au lieu de l'analyse de corrélation et du choix des variables [12, 30].

La performance du modèle a été évaluée en utilisant l'indice « Receiver Operating Characteristics Curve », obtenu par le calcul de l'aire située en dessous de la courbe (AUC, Area Under Curve). Les valeurs de l'AUC sont interprétées tel que proposé par Araújo *et al.* [32] :  $0,5 < AUC < 0,7$  (le modèle n'est pas de bonne qualité) ;  $0,7 < AUC < 0,9$  (le modèle est bon) ;  $AUC > 0,9$  (le modèle est excellent). Le test de Jackknife a été aussi effectué pour apprécier la contribution de chaque variable ayant participé à l'exécution du modèle [33]. L'évaluation du modèle a été complétée par la projection des points de présence sur le modèle généré.

#### 2.5. Cartographie de l'habitat

Les résultats issus de la modélisation ont été importés dans le logiciel QGIS. Deux (02) classes d'habitat ont été définies en tenant compte de la valeur moyenne du seuil (thre shol, T) « 10 percentile training présence » : (i) habitats favorables pour des valeurs supérieures au seuil T et (ii) habitats non favorables pour les valeurs inférieures au seuil [31]. Les habitats favorables sont été ensuite subdivisés en trois (3) types d'habitats : habitats très favorables ( $p \geq T$ ), habitats moyennement favorables ( $T/2 \leq p < T$ ) et habitats peu favorables ( $T/4 \leq p < T/2$ ). Cette opération a été réalisée sur la carte des habitats potentiels actuels et les cartes des habitats potentiels à

l’horizon 2055 des scénarii RCP 4.5 et 8.5. L’outil d’analyse spatiale du logiciel Arc GIS 10.5 a permis de calculer la superficie de chaque type d’habitats suivant les régions économiques et les zones écologiques. Suite à cette analyse, la dynamique potentielle des habitats à l’horizon 2055 suivant chaque scénario climatique est déduite en faisant les différences des superficies actuelles et les superficies des différents types d’habitats suivant les deux (2) scénarii climatiques. Les données issues de calculs ont permis la construction des graphiques en se servant du Tableur Microsoft Excel.

**2.6. Détermination des zones prioritaires de conservation et de mise en cultures du karité au Togo**

Le logiciel Zonation version 4.0, un outil de planification de conservation a été utilisé à cet effet. Ce dernier a permis de classer et d’identifier les habitats prioritaires en faisant sortir simultanément la qualité de ces habitats [34]. Les fichiers d’entrée dans le logiciel zonation sont les trois (3) images issues de la modélisation dans MaxEnt : habitat potentiel actuel, habitats suivant les scénarii RCP 4.5 et RCP 8.5. Ces fichiers sont au format ASCII compatible avec le logiciel zonation.

**3. RÉSULTATS**

**3.1. Contribution des variables et validation du modèle**

La Figure 4A présente le test de Jackknife sur la contribution des variables à la performance du modèle. La variable environnementale avec le gain le plus élevé lorsqu’elle est utilisée isolément dans la modélisation est l’indice d’humidité annuel (mi). Cette dernière semble donc avoir l’impact le plus important sur la distribution du karité. La variable environnementale qui réduit le plus la performance du modèle lorsqu’elle est omise est la moyenne mensuelle des variations journalières de la température (bio2). Elle semble donc avoir le plus d’informations non présentes dans les autres variables. La variable qui a le plus contribué à la modélisation est le nombre de mois secs (dm ; 56,6%), suivie respectivement du type de sol (soilsam ; 10,4 %), des précipitations annuelles (bio 12 ; 9,7 %), précipitation du mois le plus sec (bio14 ; 17,6 %), et l’indice d’humidité annuelle (mi ; 4,5 %). La valeur moyenne de l’AUC de l’aire sous la courbe ROC est 0,89 (Figure 4B). Cette valeur révèle la qualité du modèle à prédire la distribution des habitats favorables à la conservation et à la culture du karité au Togo.

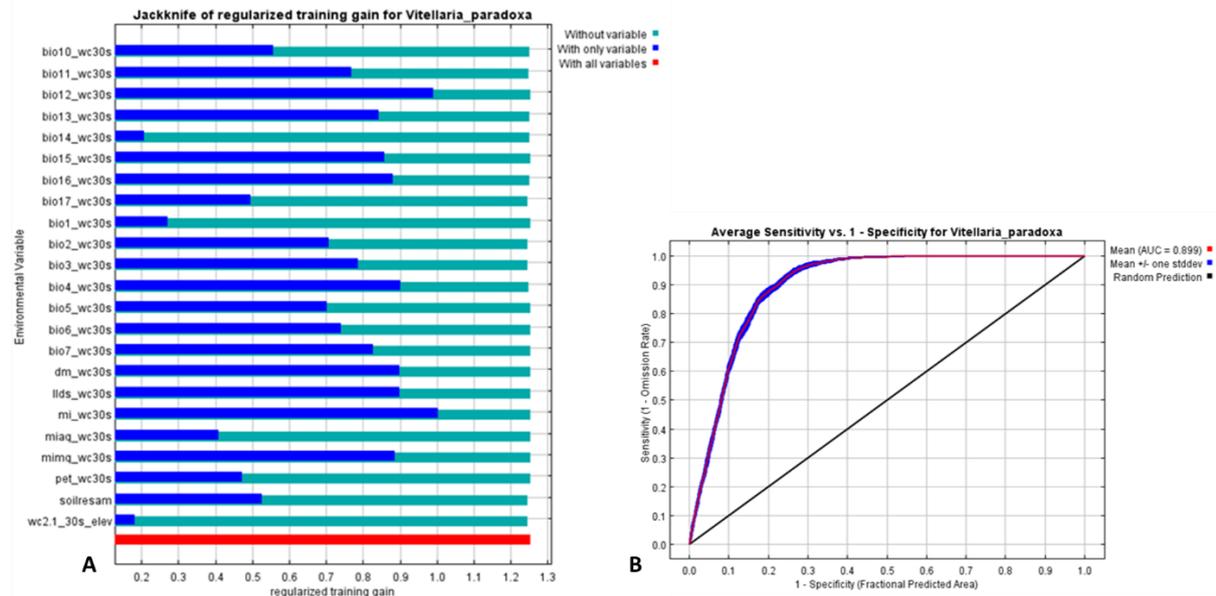


Figure 4 : Contribution des variables dans la modélisation (A) et courbe de la valeur moyenne de l’AUC (B).

**3.2. Habitats potentiels actuels du karité au Togo**

La figure 5 présente la distribution des habitats potentiels du karité en fonction des zones écologiques et des régions économiques du Togo. Environ 70 % du territoire togolais est prédit très favorable à la culture et à la conservation du karité. Les habitats moyennement favorables et peu favorables occupent respectivement environ 18,06 % et 3,17 %. La zone jouxtant le littoral est prédite non favorable. Les habitats très favorables se retrouvent principalement dans les zones soudaniennes (zones écologiques I et II) dans les régions de la Kara et des Savanes.

Ces deux zones sont prédites très favorables et moyennement favorables au développement du karité. Presque la moitié de cette zone IV est prédite non favorable.

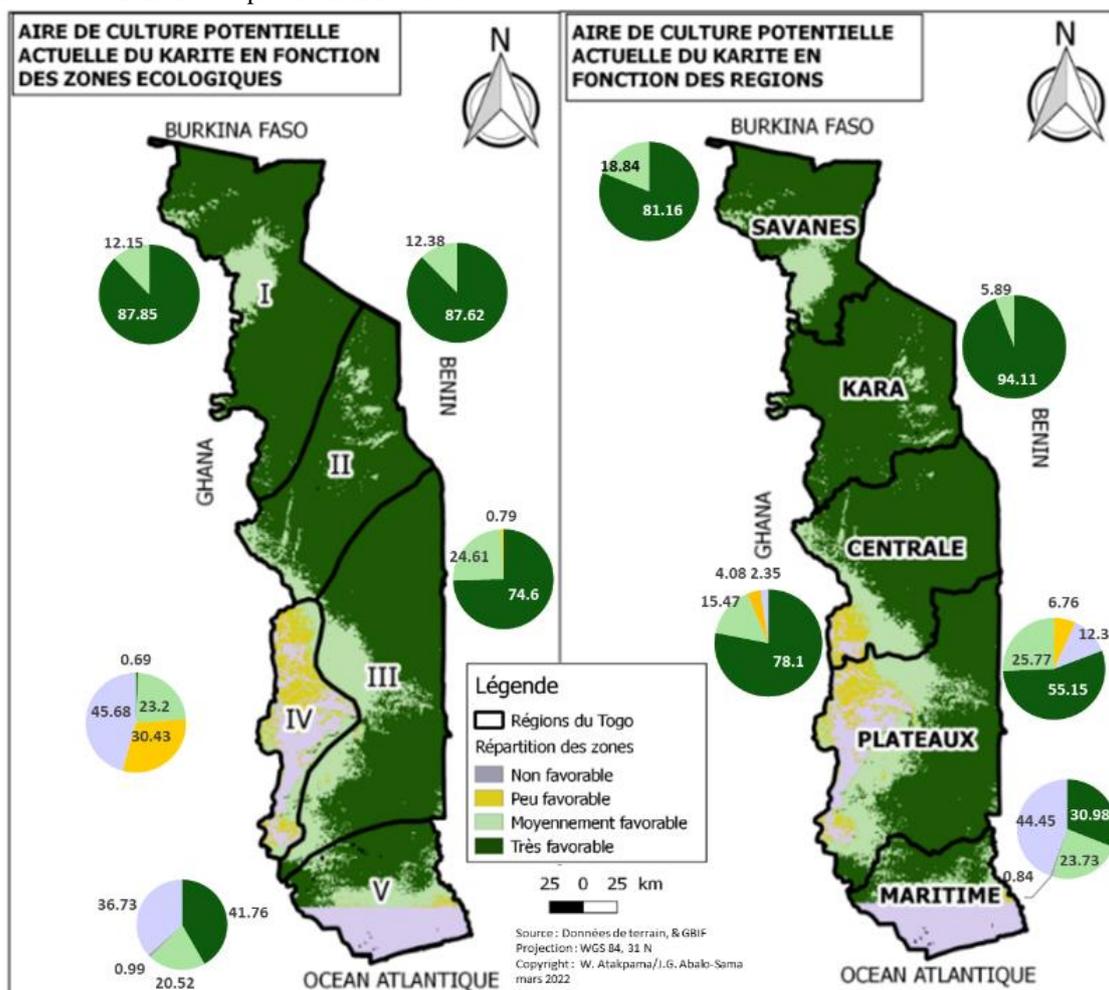


Figure 5 : Aire de conservation et de culture potentielle actuelle de *V. paradoxa* au Togo

### 3.3. Influence du climat sur la distribution des habitats potentiels de *V. paradoxa* au Togo

À l’horizon 2055, les deux (2) scénarii prédisent une régression des habitats très favorables et une augmentation des habitats moyennement et peu favorables (Figure 6). La régression des habitats très favorables est de 9,21 % et 37,39 % respectivement pour RCP 4.5 et RCP 8.5. Le taux d’augmentation des habitats moyennement favorables représente presque le double 104,76 % contre 19,36 % en considérant respectivement RCP 8.5 et RCP 4.5. Quant à l’habitat peu favorable, l’augmentation prédite est de 186,12 % pour RCP 4.5 et 191,48 % pour RCP 8.5. Les habitats non favorables actuels connaîtront une régression suivant RCP 4.5 et une légère augmentation suivant RCP 8.5.

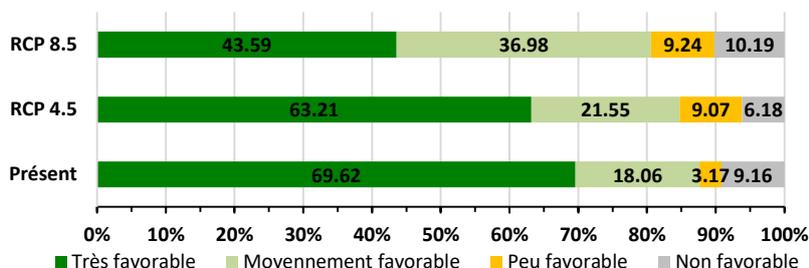


Figure 6 : Qualité de l’habitat potentiel actuel et futur de *V. paradoxa* au Togo

L’impact des changements futurs sur l’habitat du karité au Togo variera en fonction des régions économiques et zones écologiques (Figure 7). Cependant, les impacts seront plus remarquables dans les régions méridionales que septentrionales. Bien que régressif, la région de la Kara est la zone qui devra rester la plus favorable au

développement de l'espèce suivant les deux scénarii : RCP 4.5, -3,44 % et RCP 8.5, -25,74 %. Par contre, on note une augmentation des habitats moyennement favorables. Les taux de régression les plus élevés correspondront respectivement aux régions Maritime et Plateaux avec des taux de -28,28 % et -18,31 % (Tableau 3).

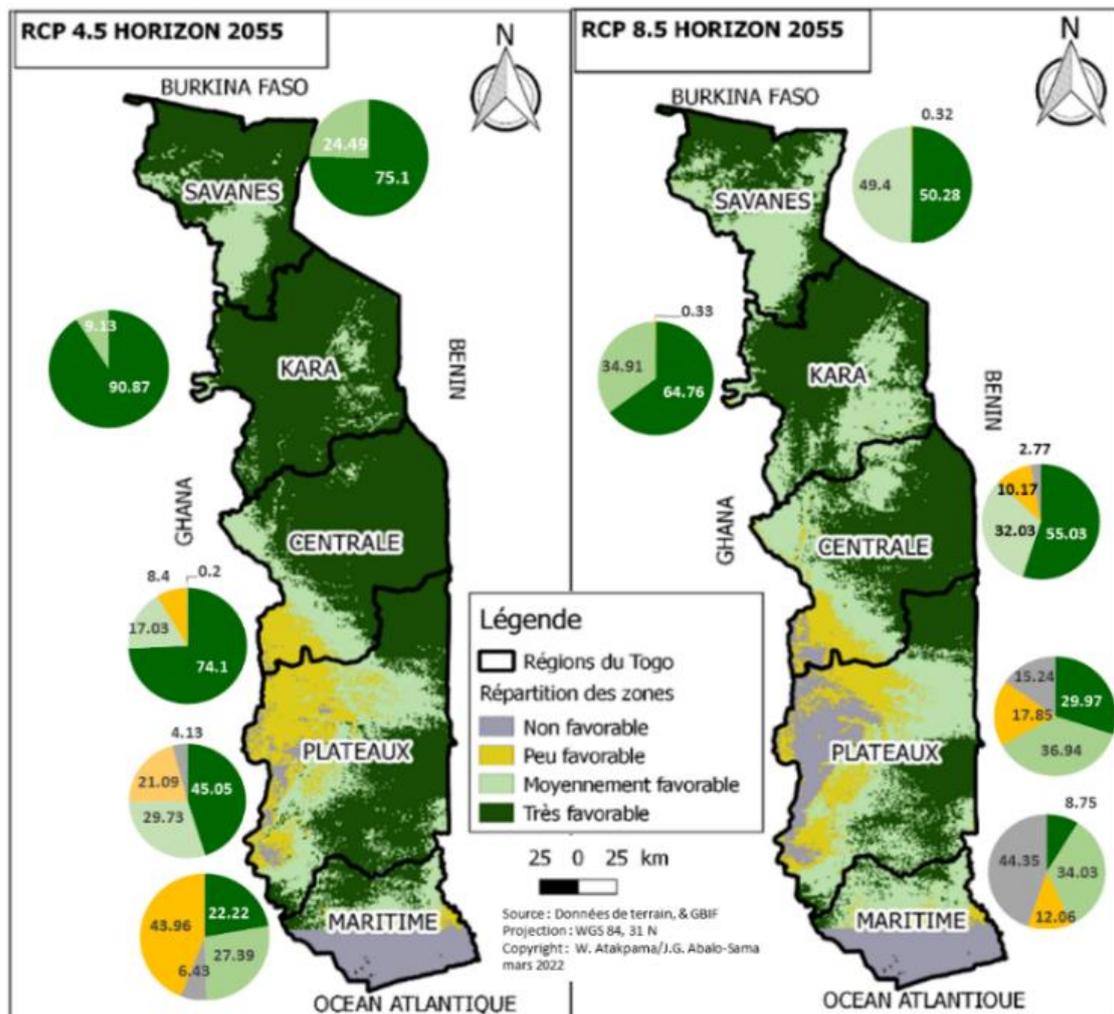


Figure 7 : Aires de conservation et de culture potentielle du karité à l'horizon 2055 suivant les régions économiques du Togo.

Tableau 3 : Taux potentiel de la dynamique des habitats du karité suivant les régions économiques du Togo

Régions	RCP 4.5				RCP 8.5			
	Très favorable	Moyennement favorable	Peu favorable	Non favorable	Très favorable	Moyennement favorable	Peu favorable	Non favorable
Savanes	-7.47	29.99	0.00	0.00	-33.05	101.71	0.00	0.00
Kara	-3.44	55.01	0.00	0.00	-28.73	282.37	0.00	0.00
Centrale	-5.12	10.08	105.88	-91.49	-25.74	88.08	21.07	1285.00
Plateaux	-18.31	15.37	211.98	-66.48	-33.47	24.25	-15.36	269.01
Maritime	-28.28	15.42	665.48	-1.10	-60.62	24.24	87.56	0.89

Les deux scénarii prédisent qu'une grande partie de la zone écologique V demeurera non favorable pour le développement du karité (Figure 8). Les habitats non favorables connaîtront une régression dans la zone écologique IV au profit des habitats peu favorables. Les habitats très favorables se retrouvent plus dans la zone II (83,66 %) en RCP 4.5 et dans la zone I en RCP 8.5 (63,79 %).

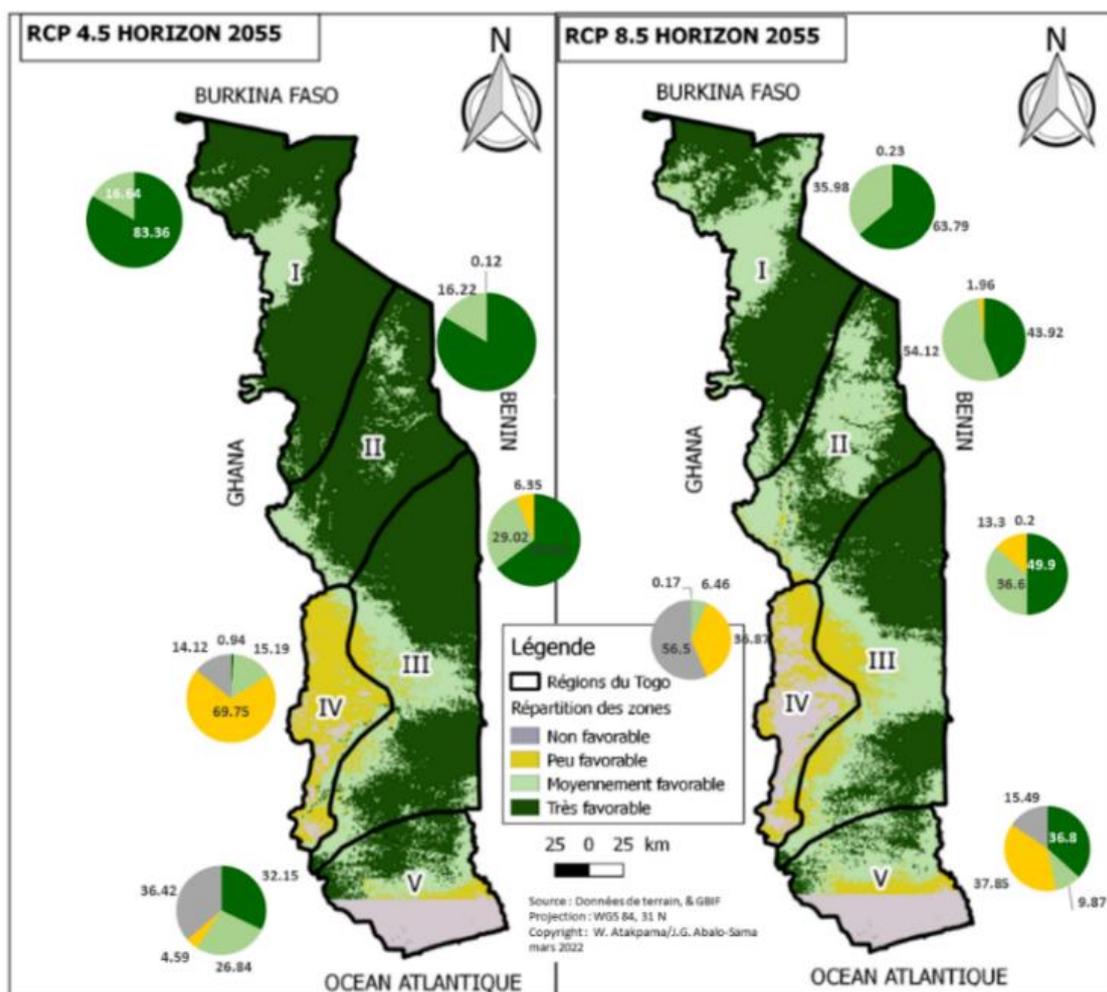


Figure 8 : Aire de conservation et de culture potentielle à l’horizon 2055 sous les scénarii suivant les zones écologiques

Tableau 4 : Taux potentiel de la dynamique des habitats du karité en fonction des zones écologiques du Togo suivant le scénarii RCP 4.5 et 8.5

Régions	RCP 4,5				RCP 8,5			
	Très favorable	Moyennement favorable	Peu favorable	Non favorable	Très favorable	Moyennement favorable	Peu favorable	Non favorable
<b>Zone I</b>	2.71	-11.68	0.00	0.00	-23.48	116.23	0.00	0.00
<b>Zone II</b>	-11.10	175.38	0.00	0.00	-47.50	233.66	0.00	0.00
<b>Zone III</b>	-17.25	87.59	55.64	-100.00	-22.79	26.12	109.45	
<b>Zone IV</b>	-98.30	-41.06	931.80	14.61	-81.91	-57.47	-47.14	300.14
<b>Zone V</b>	3.78	13.11	446.43	-18.07	14.46	-63.23	724.62	-57.47

### 3.4. Zones prioritaires de conservation et de culture du karité au Togo

La figure 9 montre les zones prioritaires pour la conservation et la vulgarisation du karité au Togo. Les 5 % voir les 15 % de l’aire de développement prioritaire de la mise en culture et de conservation/gestion durable du karité au Togo se situent dans les zones des plaines du nord et du sud correspondant respectivement aux zones écologiques I et III. En particulier la zone des montagnes du sud (zones écologiques IV) est prédite quasiment non prioritaire, 95,02 % étant quasiment non conseillé pour la conservation et la mise en culture du karité (Tableau 5). La tendance devient un peu plus mitigée lorsqu’on considère les régions. Cependant, les aires prédites très prioritaires pour la conservation et la mise en culture du karité sont principalement localisées dans la région de la Kara (7,57 %). La région de la Kara est la zone la plus importante en termes de conservation et de mise en culture du karité tandis qu’elles sont peu prédites dans les régions Maritime et Savanes.

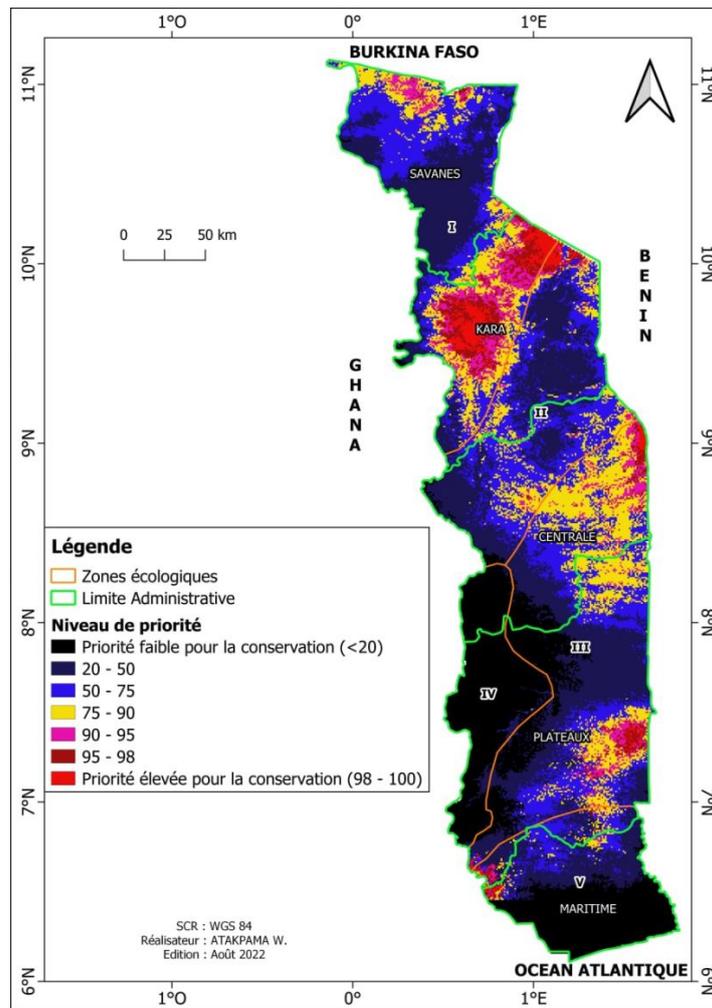


Figure 9 : Classification des habitats prioritaires de conservation et de vulgarisation du karité au Togo.

Tableau 5 : Superficie des niveaux de priorités en fonction des zones écologiques et régions

Niveau de priorité		0 - 20	20 - 50	50 - 75	75 - 90	90 - 95	95 - 98	98 - 100
<b>Zones écologiques</b>	<b>I</b>	0.38	30.49	28.69	17.61	10.25	7.40	5.17
	<b>II</b>	1.34	42.19	39.72	12.98	1.69	0.96	1.11
	<b>III</b>	14.53	29.30	24.85	22.87	5.27	2.26	0.91
	<b>IV</b>	95.08	4.72	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00
	<b>V</b>	47.29	31.99	14.10	3.82	0.99	0.85	0.96
<b>Régions</b>	<b>Savanes</b>	0.09	44.45	38.11	12.74	4.02	0.57	0.02
	<b>Kara</b>	0.41	27.76	25.04	18.50	10.98	9.73	7.57
	<b>Centrale</b>	13.44	24.30	32.21	23.63	4.34	1.40	0.68
	<b>Plateaux</b>	34.60	30.07	18.58	11.55	2.95	1.55	0.70
	<b>Maritime</b>	57.20	28.65	10.61	2.15	0.39	0.56	0.43

#### 4. DISCUSSION

La qualité du modèle a été évaluée à travers la statistique AUC (Area Under Curve). Cette valeur AUC est supérieure à 0,8. Ceci indique une bonne capacité du modèle à prédire les habitats favorables [32] au développement du karité au Togo sous les différents scénarii climatiques. Cette valeur de l’AUC est comparable à celle obtenue par Dimobe *et al.* [12] dans le cadre de la modélisation de la niche écologique et l’impact des changements climatiques sur l’habitat du karité au Burkina Faso.

On note une contribution très significative du nombre de mois secs dans la distribution du karité. Les variables édaphiques, les précipitations annuelles, les précipitations du mois le plus sec et l’indice d’humidité sont relégués au second plan. Ce résultat se rapprochent de ceux de Dimobe *et al.* [12] et de Avaligbé *et al.* [13] sur le karité au

Burkina Faso et au Bénin. Ces auteurs ont trouvé que la distribution des espèces végétales est principalement influencée par des facteurs climatiques. Cependant la contribution des variables édaphiques n'est pas relevée par les précédentes études au Bénin et au Burkina Faso [12, 13]. Le nombre de mois secs est un facteur cardinal pour la biologie du karité, notamment sa phénologie. Ce facteur environnemental agit en particulier sur la reproduction de la plante en intervenant dans la floraison et la fructification du karité, par conséquent sur la productivité [13, 35], la germination et la dissémination. L'indice d'humidité annuel et les précipitations annuelles sont liés et conditionnent la disponibilité de l'eau. Elles agissent sur la croissance et la phénologie de la plante à travers leur action directe sur la physiologie de la plante. Selon Nouvellet *et al.* [36], le karité pousse dans les zones arides et semi-arides où les quantités d'eau varient de 600 à 1400 mm. Il tolère les périodes de sécheresse prolongée pouvant aller jusqu'à huit (8) mois [37]. Bien que le karité soit connu comme une espèce se développant sur une diversité de sol, il est moins présent au niveau des ripisylves, les sols argileux et les stations marécageuses soumises aux inondations prolongées [38]. Cela explique le fait que les habitats favorables à *V. paradoxa* soient plus représentés dans la partie septentrionale du pays et moins représentés dans les zones avec un indice d'humidité élevé : zones écologiques IV et V. En particulier, le sud-est du Togo est assez reconnu pour ces sols argileux à hydromorphes, par conséquent non favorable au développement du karité.

Néanmoins, le modèle présente certaines limites telles que la non-prise en compte des paramètres démographiques (fécondité, mortalité, croissance) et la dynamique des populations. Or, la capacité de dispersion des espèces ainsi que leur structure sont des facteurs déterminants dans l'impact potentiel du changement climatique sur leurs habitats. Cependant la prise en compte de ces paramètres dans la modélisation paraît plus contraignante et difficile surtout à une grande échelle. Les variabilités microclimatiques et génétiques restent aussi des paramètres permettant une amélioration des modèles.

Certains habitats favorables actuels correspondent à des endroits où l'espèce n'est pas réellement présente. Des études antérieures ont démontré que la niche fondamentale d'une espèce est presque toujours plus grande que sa niche réalisée [30, 39]. Ce dernier n'est qu'une partie de la niche réalisée, l'espèce étant souvent contrainte par la présence et les interactions d'autres espèces [40].

Les habitats favorables à la culture de *V. paradoxa* sont localisés principalement dans la zone des plaines du nord et dans les savanes soudano-guinéennes (zone écologique I et II). Les conditions climatiques de ces zones satisfont l'optimum écologique existentiel de l'espèce [36]. Les habitats inappropriés pour l'espèce se retrouvent au sud-ouest du pays dans les zones à deux saisons pluvieuses et dans la partie méridionale du pays correspondant aux zones écologiques IV et V. Les températures et les fortes précipitations qui prévalent dans ces zones sont moins favorables à l'espèce.

L'habitat du karité à l'horizon 2055 varie selon les types de scénarii considérés. Ces projections climatiques indiquent que la superficie des habitats actuellement favorables à la culture du karité au Togo ne restera pas stable dans le futur. Ces variations prévisionnelles ont été largement rapportées dans la littérature [41, 42]. De façon générale, les habitats potentiels actuels du karité connaîtront une régression au détriment des habitats moyennement, peu et non favorables. Cette réduction pourrait être liée à la transition prévue vers un climat légèrement plus aride. Les températures élevées pourraient provoquer un avortement des fleurs et réduire considérablement la qualité des fruits [10]. La réduction et le changement de l'habitat du karité suite aux changements climatiques ont également été rapportés au Burkina Faso [12]. Ces résultats sont contraires à ceux de Platts *et al.* [11] qui suggèrent que les habitats favorables à *V. paradoxa* s'étendraient. Cette divergence serait liée aux conditions climatiques, à la taille de leurs zones d'étude et au nombre de points de présences utilisés dans la modélisation. Il est démontré que la précision du modèle augmente avec la taille du nombre de points de présence [43]. Par ailleurs, l'augmentation de la taille de la zone d'étude réduit la prise en compte de contraintes locales.

La présente étude prédit les zones écologiques I et III, en particulier la zone I comme des zones prioritaires de conservation et de mise en culture du karité au Togo. Les zones des montagnes du Togo et des plaines côtières demeurent très faiblement prioritaires. En fonction des régions : la Kara, la Centrale et le sud-est et nord-Est de la région des Plateaux sont des zones prioritaires. En plus de permettre le classement de la viabilité des zones, cette information permet de mieux juger le rapport coût et conservation/valorisation. Ce type d'information s'avère important pour mieux raisonner les choix des aires de conservation, de valorisation et de mise en culture des espèces. Les proportions des habitats prédites très favorables sont globalement supérieures aux habitats de priorité élevée. Ce qui signifie qu'une zone favorable n'est pas forcément une zone prioritaire pour la conservation ou de valorisation. Ceci se justifie par la dynamique de l'habitat suite aux variabilités climatiques futures.

## 5. CONCLUSION

La présente étude met en lumière les principales variables environnementales intervenant dans la distribution du karité au Togo ainsi que l'impact probable du changement climatique sur l'habitat de l'espèce à l'horizon 2055. Le nombre de mois secs est la variable environnementale ayant le plus contribué (56,60 %) à la distribution du karité. Sous les conditions climatiques actuelles, 69,62 % du territoire togolais sont prédits très favorables à la culture du karité avec une forte concentration dans la région de la Kara, la région des Savanes et la région Centrale. À l'horizon 2055, les habitats très favorables diminueront. Cette régression est plus importante sous le scénario RCP 8.5. Les résultats sur les aires de priorisation constituent un atout indéniable pour l'optimisation des investissements de la conservation, la valorisation et la mise en culture de l'espèce au Togo. Les zones les plus prioritaires se retrouvent plus dans les zones écologiques I et III. Sur le plan administratif, la région de la Kara est la plus conseillée pour la mise en œuvre de la culture. La prise en compte de ces résultats dans les politiques de développement contribuerait à garantir une conservation et une utilisation durable du karité au Togo. Compte tenu de l'importance socio-économique de l'espèce, des opérations de plantation devraient être promues et couplées aux programmes de restauration des paysages forestiers en cours au Togo. Des institutions de recherches agronomiques et forestières devraient mettre en place les bonnes pratiques culturales et promouvoir des nouvelles techniques de multiplication végétative comme le greffage, le marcottage et le bouturage.

## REMERCIEMENTS

Cet article est rédigé dans le cadre du programme postdoctoral « the Islamic Development Bank and The World Academy of Sciences Postdoctoral Fellowships Programme (IsDB-TWAS) ». Les auteurs remercient tous ceux qui ont contribué dans la collecte des données de terrain en particulier Dr Koutchoukalo Aleza de l'Agence Nationale de Protection Civile (ANPC) du Togo.

## RÉFÉRENCES

1. Poudyal M., 2011. Chiefs and Trees: Tenures and Incentives in the Management and Use of Two Multipurpose Tree Species in Agroforestry Parklands in Northern Ghana. *Society & Natural Resources* Vol. 24(10) : 1063-1077.
2. Bup D.N., Mohagir A.M., Kapseu C. & Mouloungui Z., 2014. Production zones and systems, markets, benefits and constraints of shea (*Vitellaria paradoxa* Gaertn) butter processing. *OCL* Vol. 21(2) : D206.
3. Choungou Nguekeng P.B., Hendre P., Tchoundjeu Z., Kalousová M., Tchanou Tchaptcha A.V., Kyereh D., Masters E. & Lojka B., 2021. The Current State of Knowledge of Shea Butter Tree (*Vitellaria paradoxa* CF Gaertner.) for Nutritional Value and Tree Improvement in West and Central Africa. *Forests* Vol. 12(12) : 1740.
4. Diarassouba N., Koffi K.E., N'Guessan K.A., Van Damme P. & Sangare A., 2008. Connaissances locales et leur utilisation dans la gestion des parcs à karité en Côte d'Ivoire. *Afrika Focus* Vol. 21(1) : 77-96.
5. Kpegba K., Kpokanu S.A., Simalou O., Novidzro K.M. & Koumaglo K.H., 2017. Evaluation des techniques de production du beurre de karité au Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* Vol. 11(4) : 1577-1591.
6. Atato A., Wala K., Batawila K., Woegan A.Y. & Akpagana K., 2010. Diversité des Fruitières Ligneux Spontanés du Togo. *Fruit Veg. Cereal Sci. Biotechno.* Vol. 4(Special Issue 1) : 1-9.
7. Saidou A., Balogoun I., Kone B., Gnangle C. & Aho N., 2012. Effet d'un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* CF Gaertn) sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea mays*) en zone Soudanienne du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* Vol. 6(5) : 2066-2082.
8. Kadévi K., 2001. *Statistiques sur les Produits Forestiers Non Ligneux (PNFL) dans la république togolaise*. In. FAO, 40.
9. Aleza K., Villamor G.B., Nyarko B.K., Wala K. & Akpagana K., 2018. Shea (*Vitellaria paradoxa* Gaertn CF) fruit yield assessment and management by farm households in the Atacora district of Benin. *Plos one* Vol. 13(1) : 20.
10. Dao M.C.E. & Pare E., 2015. Perceptions paysannes de l'effet du changement climatique sur le karité et stratégies d'adaptation au Burkina Faso: Farmers' perceptions of the effect of climate change on shea tree and adaptation strategies in Burkina Faso. *Sciences Naturelles et Appliquées* Vol. 34(81-92).
11. Platts P.J., Poudyal M. & McClean C.J., 2010. *Modelling Shea under climate scenarios*. In., University of York, UK, 14.
12. Dimobe K., Ouédraogo A., Ouédraogo K., Goetze D., Stein K., Schmidt M., Nacoulma B.M.I., Gnoumou A., Traoré L. & Porembski S., 2020. Climate change reduces the distribution area of the shea tree (*Vitellaria paradoxa* CF Gaertn.) in Burkina Faso. *Journal of Arid Environments* Vol. 181(104237).
13. Avaligbé Y.J.F., Chabi F.O., Gnanglè C.P., Bello O.D., Yabi I., Ahoton L. & Saidou A., 2021. Modelling the Current and Future Spatial Distribution Area of Shea Tree (*Vitellaria paradoxa* CF Gaertn) in the Context of Climate Change in Benin. *American Journal of Climate Change* Vol. 10(3) : 263-281.

14. Brunel J.-F., Hiepko P. & Scholz H., 1984. Flore analytique du Togo: phanérogames. *Englera* Vol. : 3-751.
15. Ern H., 1979. Die Vegetation Togos. Gliederung, Gefährdung, Erhaltung. *Willdenowia* Vol. 9(295-312).
16. Akpagana K. & Bouchet P., 1994. Etat actuel des connaissances sur la flore et la végétation du Togo. *Acta botanica gallica* Vol. 141(3) : 367-372.
17. Folega F., Atakpama W., Kanda M., Wala K., Batawila K. & Akpagana K., 2019. Agroforestry parklands and carbon sequestration in tropical Sudanese region of Togo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* Vol. 7(4) : 563-570.
18. Atakpama W., Atoemne K., Egbelou H., Padakale E., Batawila K. & Akpagana K., 2022. Distribution et démographie des parcs à rôniers dans la Région des Savanes du Togo. *African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences* Vol. 5(2) : 290-302.
19. Dourma M., Wala K., Guelly K.A., Bellefontaine R., Deleporte P., Akpavi S., Batawila K. & Akpagana K., 2012. Typologie, caractéristiques structurales et dynamique des faciès forestiers fragiles à *Isobertinia* spp. en vue de leur gestion au Togo. *Bois et forêts des tropiques* Vol. 313(3) : 19-34.
20. Wala K., Guelly A.K., Batawila K., Dourma M., Sinsin B. & Akpagana K., 2009. *Traditional agroforestry systems in Togo: variability according to latitude and local communities*. In Parotta JA, Oteng-Yeboah A & Cobbinah J (eds): *Traditional Forest-Related Knowledge and Sustainable Forest Management in Africa*. IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations) Secretariat, Accra, Ghana, 21-27.
21. Arbonnier M., 2002. *Arbres, arbustes et lianes d'Afrique de l'Ouest*. 2e ed. CIRAD, MNHN, 673 p.
22. Ruysen B., 1957. Le karité au Soudan. *Agronomie Tropicale* Vol. 12(3) : 279-306.
23. MERF/GIZ, 2016. *Résultats de l'Inventaire Forestier National (IFN) du Togo*. In. ProREDD, Lomé, Togo, 68.
24. Fitzpatrick M.C. & Hargrove W.W., 2009. The projection of species distribution models and the problem of non-analog climate. *Biodiversity Conservation* Vol. 18(8) : 2255-2261.
25. Platts P.J., Omeny P. & Marchant R., 2015. AFRICLIM: high-resolution climate projections for ecological applications in Africa. *African Journal of Ecology* Vol. 53(103-108).
26. Meinshausen M., Smith S.J., Calvin K., Daniel J.S., Kainuma M.L., Lamarque J.-F., Matsumoto K., Montzka S.A., Raper S.C. & Riahi K., 2011. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change* Vol. 109(1) : 213-241.
27. IPCC, 2014. *Summary for Policymakers*. In Cambridge CUP (ed) *Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom and New York, NY, USA.
28. Phillips S.J., Anderson R.P. & Schapire R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* Vol. 190(231-259).
29. Urbina-Cardona J.N. & Loyola R.D., 2008. Applying niche-based models to predict endangered-hyloid potential distributions: are neotropical protected areas effective enough? *Tropical Conservation Science* Vol. 1(4) : 417-445.
30. 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* Vol. 26(1) : 23-38.
31. Moukrim S., Lahssini S., Rifai N., Menzou K., Mharzi-Alaoui H., Labbaci A., Rhazi M., Wahby I., El Madihi M. & Rhazi L., 2020. Modélisation de la distribution potentielle de *Cedrus atlantica* Manetti au Maroc et impacts du changement climatique. *Bois & Forêts des Tropiques* Vol. 344(3-16).
32. Araújo M.B., Pearson R.G., Thuiller W. & Erhard M., 2005. Validation of species–climate impact models under climate change. *Global Change Biology* Vol. 11(9) : 1504-1513.
33. Moukrim S., Lahssini S., Rhazi M., Alaoui H.M., Benabou A., Wahby I., El Madihi M., Arahou M. & Rhazi L., 2018. Climate change impacts on potential distribution of multipurpose agro-forestry species: *Argania spinosa* (L.) Skeels as case study. *Agroforestry Systems* Vol. 93(4) : 1209-1219.
34. Rabenandrasana J.C.N., Randrianasolo H., Randrianarisoa J. & Ranoasy H., 2018. *Manuel de mise en œuvre de l'outil « Zonation » : cas du paysage CAZ. version 2.1*. Madagascar: Conservation International, 55 p.
35. Boffa J.-M., 2000. Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne : clés de la conservation et d'une gestion durable. *Unasylva* Vol. 34(200) : 11-17.
36. Nouvellet Y., Kassambara A. & Besse F., 2006. Le parc à karités au Mali: inventaire, volume, houppier et production fruitière. *Bois et Forêts des Tropiques* Vol. 287(1) : 5-20.
37. Vermilye K.L., 2004. *Vitellaria paradoxa and the feasibility of a Shea butter project in the North of Cameroon*. University of Montana 83 p.
38. Oyen L.P.A. & Lemmens R.H.M.J., 2002. Ressources végétales de l'Afrique tropicale. *Précurseurs* Vol. : 107-172.
39. Pearson R.G. & Dawson T.P., 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global ecology and biogeographie* Vol. 12(5) : 361-371.
40. Van Dyke F., 2008. *Conservation biology: foundations, concepts, applications*. Springer Science & Business Media, 477 p.

41. Araújo M.B. & New M., 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in ecology evolution* Vol. 22(1) : 42-47.
42. Fandohan A.B., Oduor A.M., Sodé A.I., Wu L., Cuni-Sanchez A., Assédé E. & Gouwakinnou G.N., 2015. Modeling vulnerability of protected areas to invasion by *Chromolaena odorata* under current and future climates. *Ecosystem Health and Sustainability* Vol. 1(6) : 1-12.
43. Benkendorf D.J. & Hawkins C.P., 2020. Effects of sample size and network depth on a deep learning approach to species distribution modeling. *Ecological Informatics* Vol. 60(101137) : .