

# Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes



# RIGES

[www.riges-uao.net](http://www.riges-uao.net)

**ISSN: 2521-2125**

**Numéro 10**

**Juin 2021**



Publiée par le Département de Géographie de l'Université Alassane OUATTARA de Bouaké

## ADMINISTRATION DE LA REVUE

### *Direction*

Arsène DJAKO, Professeur Titulaire à l'Université Alassane OUATTARA (UAO)

### *Secrétariat de rédaction*

- **Joseph P. ASSI-KAUDJHIS**, Professeur Titulaire à l'UAO
- **Konan KOUASSI**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Dhédé Paul Eric KOUAME**, Maître-Assistant à l'UAO
- **Yao Jean-Aimé ASSUE**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Zamblé Armand TRA BI**, Maître de Conférences à l'UAO
- **Kouakou Hermann Michel KANGA**, Maître-Assistant à l'UAO

### *Comité scientifique*

- **HAUHOUOT** Asseypo Antoine, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **ALOKO** N'Guessan Jérôme, Directeur de Recherches, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **BOKO** Michel, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Benin)
- **ANOH** Kouassi Paul, Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët Boigny (Côte d'Ivoire)
- **MOTCHO** Kokou Henri, Professeur Titulaire, Université de Zinder (Niger)
- **DIOP** Amadou, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **SOW** Amadou Abdoul, Professeur Titulaire, Université Cheick Anta Diop (Sénégal)
- **DIOP** Oumar, Professeur Titulaire, Université Gaston Berger Saint-Louis (Sénégal)
- **WAKPONOU** Anselme, Professeur HDR, Université de N'Gaoundéré (Cameroun)
- **KOBY** Assa Théophile, Maître de Conférences, UFHB (Côte d'Ivoire)
- **SOKEMAWU** Koudzo, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **HECTHELI** Follygan, Professeur Titulaire, Université de Lomé (Togo)
- **KADOUZA** Padabô, Professeur Titulaire, Université de Kara (Togo)
- **GIBIGAYE** Moussa, Professeur Titulaire, Université Abomey-Calavi (Benin)



## EDITORIAL

La création de RIGES résulte de l'engagement scientifique du Département de Géographie de l'Université Alassane Ouattara à contribuer à la diffusion des savoirs scientifiques. RIGES est une revue généraliste de Géographie dont l'objectif est de contribuer à éclairer la complexité des mutations en cours issues des désorganisations structurelles et fonctionnelles des espaces produits. La revue maintient sa ferme volonté de mutualiser des savoirs venus d'horizons divers, dans un esprit d'échange, pour mieux mettre en discussion les problèmes actuels ou émergents du monde contemporain afin d'en éclairer les enjeux cruciaux. Les rapports entre les sociétés et le milieu naturel, la production agricole, l'amélioration des conditions de vie des populations rurales et urbaines, le développement territorial ont fait l'objet d'analyse dans ce présent numéro. RIGES réaffirme sa ferme volonté d'être au service des enseignants-chercheurs, chercheurs et étudiants qui s'intéressent aux enjeux, défis et perspectives des mutations de l'espace produit, construit, façonné en tant qu'objet de recherche. A cet effet, RIGES accueillera toutes les contributions sur les thématiques liées à la pensée géographique dans cette globalisation et mondialisation des problèmes qui appellent la rencontre du travail de la pensée prospective et de la solidarité des peuples.

**Secrétariat de rédaction  
KOUASSI Konan**

## COMITE DE LECTURE

- KOFFI Brou Emile, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Joseph P., Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- BECHI Grah Félix, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- MOUSSA Diakité, Professeur Titulaire, UAO (Côte d'Ivoire)
- VEI Kpan Noël, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- LOUKOU Alain François, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- TOZAN Bi Zah Lazare, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- ASSI-KAUDJHIS Narcisse Bonaventure, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- SOKEMAWU Koudzo, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- HECTHELI Follygan, Professeur Titulaire, U L (Togo)
- KOFFI Yao Jean Julius, Maître de Conférences, UAO (Côte d'Ivoire)
- Yao Jean-Aimé ASSUE, Maître de Conférences, UAO
- Zamblé Armand TRA BI, Maître de Conférences, UAO

## Sommaire

<p><b>AKADJE-Konan Léocadie Marie-Claude</b></p> <p><i>Suivi spatio-temporel de la mangrove du complexe Sassandra-Dagbégo</i></p>	5
<p><b>DIOP Khalifa, CISSÉ Ahmadou Bamba</b></p> <p><i>Salinisation et risques pour l'agriculture périurbaine à Pikine : analyse des résultats du suivi de l'évolution saisonnière et interannuelle (2016-2017) de la minéralisation des eaux d'irrigation à travers la conductivité électrique</i></p>	21
<p><b>TOFFA Yessia, FANDOHAN Adandé Belarmain, AVOCEVOU-AYISSO Carolle, SODE Akoeugnigan Idelphonse</b></p> <p><i>Distribution potentielle des habitats favorables au genre <i>Cochlospermum Kunth</i> et identification des zones prioritaires pour une conservation résiliente au changement climatique</i></p>	40
<p><b>ABIODOUN Adémola Frédéric, FANDOHAN Adandé Belarmain, TOKO IMOROU Ismaïla, GANGLO Jean Cossi</b></p> <p><i>Modélisation des habitats favorables à la conservation du buffle (<i>Syncerus caffer</i>) dans le contexte des changements climatiques au Bénin en Afrique de l'Ouest</i></p>	61
<p><b>Seausoliait Eusèbe KOUAKOU, Della André ALLA</b></p> <p><i>Les facteurs d'aléas d'inondation et d'érosion dans les petites localités ivoiriennes : cas des villes de Tiassale et N'douci (Sud de la Côte d'Ivoire)</i></p>	78
<p><b>Mamadou DIOMBERA</b></p> <p><i>Tourisme à Saly Portudal (Sénégal) : entre vulnérabilité et résilience face aux défis du changement climatique</i></p>	98
<p><b>LARE Konnegbéne</b></p> <p><i>L'exploitation des bas-fonds dans la Région des Savanes au Nord-Togo : un enjeu important pour un développement socio-économique local</i></p>	123
<p><b>DEGUI Jean-Luc, KOUADIO Kouakou Abraham</b></p> <p><i>Pratiques culturelles et dégradation forestière dans le département de Divo au sud de la Côte d'Ivoire</i></p>	149

<p><b>Drissa KONE, Seydou MARIKO, Abdoul Kadri KOLLI</b></p> <p><i>Rôle du marché de Nièna dans l'approvisionnement et la commercialisation du bétail en République du Mali</i></p>	164
<p><b>YANOGO Pawendkigou Isidore, SANOGO Salifou, YAMÉOGO Joseph</b></p> <p><i>La pastèque (citrullus lanatus), une opportunité pour les acteurs de la commercialisation dans la ville de Koudougou (Burkina Faso)</i></p>	177
<p><b>MASSAR Sène</b></p> <p><i>Le mode d'acquisition foncière à Pikine et à Diaminar : pratiques irrégulières et différenciées entre deux quartiers périphériques et populaires de la ville de Saint-Louis</i></p>	196
<p><b>NGUIJOI Gabriel Cyrille, MBOKA MADIBA Jean Jacques, NKOUNGOU Gregory José, JAKPOU NJIPNANG Doris Nadine, MENDOUGA Yanick, ESSE NDJENG M.P.</b></p> <p><i>Désertion et déperdition scolaire dans la Vallée du Ntem : L'attrait des « pétro-francs CFA » guinéens et gabonais sur les jeunes de l'extrême sud-Cameroun</i></p>	214
<p><b>Estelle ZUO-DIATE, Dominique COURET, Ousmane DEMBELE</b></p> <p><i>Urbanisation de la périphérie sud-est d'Abidjan : quand un roi impose sa volonté à l'Etat</i></p>	235
<p><b>ASSI-KAUDJHIS Narcisse, GNANKOUEEN Anicet Renaud</b></p> <p><i>Autoproduction de logements et aménagement de l'espace urbain à Bongouanou (Côte d'Ivoire)</i></p>	260
<p><b>OUEDRAOGO Rawelguy Ulysse Emmanuel, NIKIEMA Dayangnéwendé Edwige, Georges COMPAORE</b></p> <p><i>Prolifération et gestion des bouteilles à usage unique à Koudougou (Burkina-Faso)</i></p>	277

**DISTRIBUTION POTENTIELLE DES HABITATS FAVORABLES AU GENRE  
COCHLOSPERMUM KUNTH ET IDENTIFICATION DES ZONES PRIORITAIRES  
POUR UNE CONSERVATION RESILIENTE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

**TOFFA Yessia**, Doctorante, Unité de Recherche en Foresterie et Conservation des BioRessources, Ecole de Foresterie Tropicale, Université Nationale d'Agriculture,  
Email : yessitof@gmail.com

**FANDOHAN Adandé Belarmain**, Maître de Conférences, Unité de Recherche en Foresterie et Conservation des BioRessources, Ecole de Foresterie Tropicale, Université Nationale d'Agriculture,  
Email : bfandohan@gmail.com

**AVOCEVOU-AYISSO Carolle**, Maître de Conférences, Unité de Recherche en Foresterie et Conservation des BioRessources, Université Nationale d'Agriculture,  
Email : c.avocevou@gmail.com

**SODE Akoeugnigan Idelphonse**, Master, Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières, Université d'Abomey-Calavi, République du Bénin,  
Email : sdidelphonse@gmail.com

**Résumé**

Cette étude a pour objectif de modéliser la distribution actuelle du Genre *Cochlospermum* au Bénin, d'évaluer l'effet potentiel des changements climatiques sur cette distribution et d'identifier les habitats prioritaires pour une conservation résiliente au changement climatique. 1147 points d'occurrence ont été retenus, dont 48,64% proviennent des travaux de terrain et 51,36% de la base de données de *Global Biodiversity Information Facility*. Les modèles ont été construits en utilisant la méthode d'entropie maximale, l'outil zonation et six variables environnementales. Sous les conditions actuelles, 80% du territoire national est favorable au *Cochlospermum*. Le changement climatique projeté induira une extension des habitats favorables à la distribution du *Cochlospermum* de +10%. La priorisation spatiale des habitats favorables a révélé que les efforts de conservation du *Cochlospermum* au Bénin, devront se focaliser sur 20% du territoire du pays, dans sa partie Soudano-guinéenne.

**Mots clés :** Modélisation, zonation, Maxent, scenarios bioclimatiques, habitats prioritaires, Bénin

## Abstract

This study aimed to model the current distribution of *Cochlospermum* spp in Benin, to assess the potential effect of climate change on this distribution and to identify priority habitats for climate a resilient conservation. 1147 points of occurrence were identified, of which 48.64% came from fieldwork and 51.36% from the Global Biodiversity Information Facility database. The models were built using the maximum entropy method coupled with the zonation tool and six environmental variables. Under current conditions, 80% of the national territory was found to be favourable to *Cochlospermum*. The projected climate change will induce an extension of habitats that are favourable to *Cochlospermum* by + 10%. The spatial prioritization of favourable habitats has suggested that *Cochlospermum* conservation efforts in Benin should focus on 20% of the country's territory, in its Sudano-Guinean region.

**Keywords:** Modeling, zonation, Maxent, bioclimate scenarios, priority habitats, Benin

## Introduction

En Afrique, la connaissance des vertus des plantes et leur surexploitation par les populations surtout dans les zones rurales entraine une pression permanente rendant ces espèces vulnérables. Différentes parties de ces plantes sont utilisées à des fins diverses. Généralement, ces parties de plante utilisées se regroupent dans la catégorie des produits forestiers non ligneux. "Les produits forestiers non ligneux sont des biens d'origine biologique autres que le bois, provenant des forêts, d'autres terrains boisés ou provenant d'arbres hors forêt" (FAO, 1999, p. 63). Ces produits forestiers non ligneux sont de plus en plus perçus comme un des produits à fort potentiel pour la mise en place d'une agriculture climato intelligente et l'autonomisation financière des femmes en Afrique au Sud du Sahara (A. B. FANDOHAN *et al.*, 2015, p. 55). Une grande diversité de plantes sont localement connues pour pouvoir jouer ce rôle, dont deux espèces du Genre *Cochlospermum* Kunth en Afrique de l'Ouest (*Cochlospermum tinctorium* et *Cochlospermum planchonii*). Il s'agit d'espèces très réputées dans la médecine traditionnelle au Bénin en particulier et en Afrique de l'ouest en général. Théoriquement, il est projeté que ces espèces devraient être plus résistantes aux changements climatiques que les plantes exotiques qui pourraient perdre leur capacité génétique à faire face aux changements à la suite de nombreuses années de sélection (B. FANDOHAN *et al.*, 2011, p. 49). Malheureusement, au regard des observations récentes, les changements climatiques pourraient affectés aussi bien négativement que positivement les plantes autochtones (S. MARANZ, 2009, p. 1181). Il est donc nécessaire

d'évaluer l'impact potentiel des changements climatiques sur chaque espèce d'intérêt afin de mieux mettre en place une politique de priorisation des espèces à valoriser dans le cadre d'une agriculture climato-intelligente. Plusieurs travaux antérieurs se sont penchés sur la question en abordant deux aspects principaux : l'impact des changements climatiques sur la distribution potentielle des habitats favorables aux espèces à forte valeur socio-économiques (A. CUNI-SANCHEZ *et al.*, 2010, p. 191 ; S. BOUROU *et al.*, 2012, p. 253 ; R. I. AGBO *et al.*, 2019, p. 595) ; l'efficacité des réseaux d'aires protégées à conserver des habitats favorables à ces espèces en dépit des dynamiques spatio-temporelles de ces habitats, pouvant résulter des changements climatiques (B. FANDOHAN *et al.*, 2011, p. 49 ; B. FANDOHAN *et al.*, 2013, p. 450 ; G. N. GOUWAKINNOU, 2013, p. 1 ; R. IDOHOU *et al.*, 2017, p. 527). La question qui échappe souvent aux radars scientifiques est celle de savoir la proportion d'habitats actuellement favorables à une espèce donnée susceptible d'être peu affectée par les changements climatiques. Au regard de toutes les incertitudes liées aux changements climatiques, cette question est cependant l'une des plus pertinentes à investiguer pour mieux guider les prises de décision en matière de production et de conservation de ces plantes.

Pour apporter une réponse à cette question, la présente étude a utilisé le genre *Cochlospermum* comme taxon type. Elle a pour Objectif d'évaluer l'impact potentiel des changements climatiques sur la répartition géographique des habitats favorables au genre *Cochlospermum* et vise à mieux orienter les choix des zones où ce genre sera mieux conservé et produit dans un contexte de changement climatique. Pour ce faire, la méthode de l'Entropie Maximale MaxEnt en combinaison avec l'analyse spatiale et les techniques de priorisation de la conservation dans l'espace sous les logiciels ZONATION et ARCGIS ont été utilisés. En dépit des faiblesses de cet algorithme, il constitue l'un des plus susceptibles de générer des informations biogéographiques utiles sur les habitats favorables et non favorables aux espèces (J. ELITH *et al.*, 2011, p. 43 ; S. J. PHILLIPS *et al.*, 2017, p. 887). Il constitue de ce fait un outil fiable en matière de prise de décision et de conservation des espèces.

Spécifiquement, il s'agit d'évaluer la distribution actuelle des habitats favorables au Genre *Cochlospermum*; d'évaluer l'effet potentiel des changements climatiques sur cette distribution à l'horizon 2055 suivant les scénarios climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5 et enfin d'identifier les zones prioritaires pour une conservation à moyen terme du Genre *Cochlospermum* au Bénin au regard des deux scénarii considérés.



## 1. Méthodologie

### 1.1. Milieu d'étude

La présente étude a été conduite au Bénin (6°25'N-12°30'N et 0°45'E-4°E). C'est un pays de l'Afrique de l'ouest d'une superficie d'environ 112622 km<sup>2</sup> dont 22,7% sont juridiquement protégés (C. A. ADOMOU, 2005, p. 4). Sur le plan climatique, le Bénin est subdivisé en trois régions principales :

- La zone semi-aride, avec un régime pluviométrique unimodal, une pluviométrie annuelle < 1000 mm par an et une plage de température annuelle entre 24-31°C ;
- la zone sub-humide au centre, avec un régime pluviométrique moyen variant entre 900-1110 mm par an, et des températures annuelles comprises entre 25-29 °C ;
- et, au Sud du pays, la zone humide, avec un régime pluviométrique bimodale, des précipitations moyennes d'environ 1200 mm par an, et des températures annuelles qui varient entre 25-29°C (C. A. ADOMOU, 2005, p. 6).

### 1.2. Description des deux espèces du Genre *Cochlospermum* présentes au Bénin (A. AKOEGNINOU et al., 2006, p. 479)

Les deux espèces du Genre *Cochlospermum* présentes au Bénin ont fait l'objet de la présente étude (*Cochlospermum tinctorium* et *Cochlospermum planchonii*). *Cochlospermum tinctorium* est un arbuste qui peut atteindre 10 mètres de haut. Ces feuilles sont alternes, palmées lobé de stipules. L'inflorescence est constituée de fleurs jaunes aux couleurs vives qui sont régulières et portées en grappes ou en panicules. Les fruits sont allongés, 3-5 valves, capsules contenant des graines qui sont intégrées dans de la mousse de coton. Les graines sont en forme de haricot de couleur brune à noire. Il contient un endosperme huileux avec un large cotylédon, c'est une plante typique des savanes et aussi observée sur des terres agricoles en jachère, et les sols à cuirasse latéritique. Les fleurs ont des sépales elliptiques oblongs (long : 10-17 mm), des pétales oblongs et jaunes (long : 20-50 mm), groupées en panicules ou en racèmes terminaux et axillaires (long : 5-15 cm). Les Capsules sont obovoïdes à fusiformes ellipsoïdes (long : 45-60 mm, diam : 20-50 mm). *Cochlospermum planchonii* est un arbuste de plus petite taille dont les feuilles sont minces, avec une racine souterraine ligneuse pouvant atteindre jusqu'à 2,5 mètres de haut. C'est une plante dicotylédone vivace typique de zones relativement plus arrosées que celle de prédilection de *C. tinctorium*. Ces fruits sont des capsules ovoïdes ressemblant à celle du cotonnier contenant des graines noires recouvertes de longs poils blanchâtre. Les feuilles sont alternes, vert foncé et quasiment glabres. L'inflorescence terminale qui la caractérise présente de grandes fleurs d'or. Les deux espèces sont phénotypiquement voisines sauf au niveau de la morphologie foliaire où

*C. tinctorium* présente des lobes plus profonds comparés à *C. planchonii*. Une différence majeure se trouve au niveau phénologique où *C. tinctorium* fleurit en saison sèche alors que *C. planchonii* fleurit en saison pluvieuse. Il a cependant des soupçons d'existences d'hybrides des deux. La figure 1 présente une photo des deux espèces.

**Figure 1: *Cochlospermum tinctorium* (à gauche) *Cochlospermum planchonii* (à droite)**

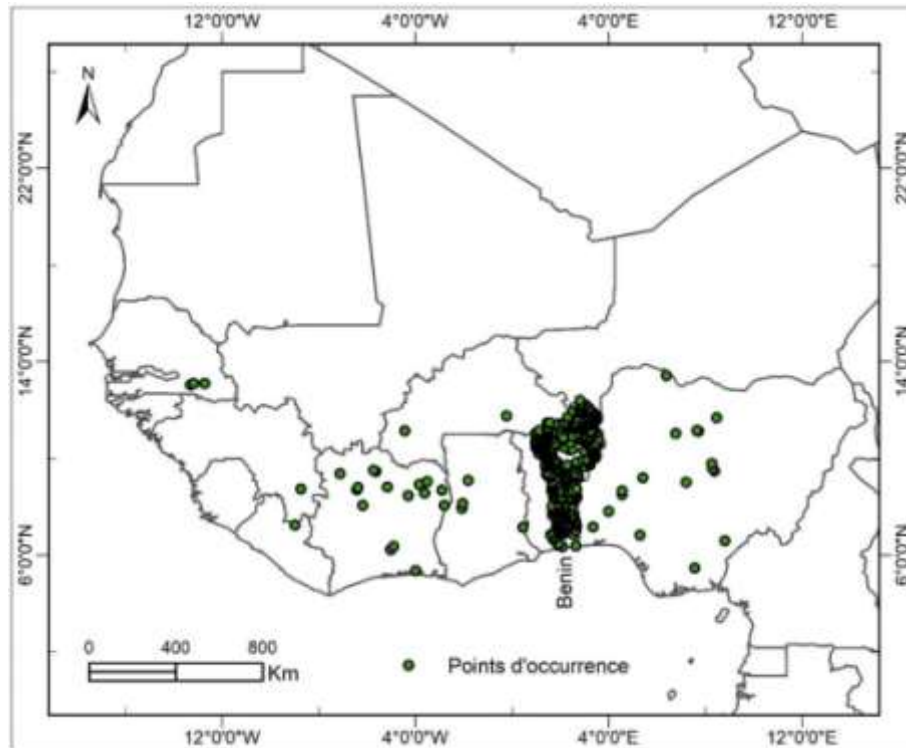


Source : Clichés TOFFA Y. (2020)

### **1.3. Collecte de données et variables environnementales**

Dans le cadre de cette étude, les données d'occurrence (coordonnées géographiques) des deux espèces cibles (figure 2) ont été collectées lors des travaux de terrain et ajoutées aux données d'occurrence recueillies sur le site Global Biodiversity Information Facility (GBIF, [www.gbif.org](http://www.gbif.org), consulté le 03 mars 2020) au niveau de l'Afrique de l'Ouest. Un nettoyage des données a été effectué pour éliminer les doublons. Au total 1147 points de présence ont été considérés avec 48,64% provenant des travaux de terrain et 51,31% du site de GBIF.

Figure 1 : Localisation des points d'occurrences utilisés pour la modélisation



Source : A partir de données terrains, des données GBIF et des données spatiales de <http://www.dioa-gis.org>, 2020

Les variables environnementales utilisées ont été téléchargées le site d'Africlim (<http://www.york.ac.uk/environment/research/kite/resources/>, consulté le 03 mars 2020) (P. J. PLATTS *et al.*, 2015, p. 103) avec la résolution 2,5 minutes (150 arc-seconds). Ces données climatiques sont constituées de 21 variables bioclimatiques dérivées des températures maximales et minimales mensuelles et précipitations annuelles par interpolation des données des stations météorologiques de *Worldclim* (<http://www.worldclim.org>) pour la période 1970-2000. Une variable additionnelle a été générée : l'inverse de l'indice d'aridité. L'indice d'aridité est le rapport entre les précipitations moyennes annuelles (*bio12*) et l'évapotranspiration potentielle (*pet*), calculée d'après C. W. THORNTHWAITE (1948, p. 55). C'est une approximation de la disponibilité en eau, facteur le plus déterminant de la distribution des plantes dans le milieu d'étude (R. J. SCHOLLES, 1997, p. 250). Elle varie entre 0 et 1. La variable *Arid* prise en compte dans ce travail est l'inverse de l'indice d'aridité. Elle a été préférée à ce dernier afin que la magnitude des différentes variables prises en compte dans le modèle, soit à peu près de même grandeur. Cela permet de réduire les biais de contribution des variables au modèle dus à une forte variation de magnitude de leur valeur. Des variables ayant de grandes magnitudes pourraient en effet artificiellement peser sur la contribution au modèle. Pour les projections futures, les modèles

climatiques agrégés (ensemble GCM-RCMs) ont été considérés sous les scénarios climatiques RCP 4.5 et RCP 8.5 à l'horizon 2055. Les prédictions ont été exécutées selon deux des quatre scénarios élaborés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat dans son cinquième rapport d'évaluation (AR5): les voies de concentration représentative du milieu du 21<sup>e</sup> siècle (*Representative Concentration Pathways*, RCP) RCP 4.5 et RCP 8.5. Les autres scénarios RCP n'ont pas été utilisés, car les tendances des RCP pour la zone d'étude ne divergent vraiment que vers la fin du siècle en cours (IPCC, 2013, p. 21). D'ici le milieu du 21<sup>e</sup> siècle, le RCP 4.5 prévoit que les températures dépasseront le niveau industriel d'au moins 1,48 °C en Afrique de l'Ouest, le CO<sub>2</sub> atmosphérique atteignant 500 ppm (IPCC, 2013, p. 29). Selon les projections plus extrêmes du RCP 8.5, les températures devraient augmenter de 2,8 °C et le CO<sub>2</sub> atmosphérique atteindre plus de 550 ppm. La résolution 2,5 mn (5 km x 5 km) a été préférée à celle 30 secondes (1 km x 1 km) afin de réduire l'autocorrélation spatiale entre les données.

#### ***1.4. Approche de modélisation et validation du modèle***

##### ***1.4.1. Principe de modélisation avec Maxent***

L'approche de modélisation utilisée dans cette étude est celle de l'Entropie Maximale (Maxent) qui constitue l'une des techniques les plus puissantes utilisées pour estimer la probabilité d'occurrence d'un taxon dans une zone donnée en se basant sur les conditions environnementales correspondantes (S. J. PHILLIPS *et al.*, 2006, p. 231 ; 2017, p. 887). Maxent est une méthode statistique d'apprentissage machine qui estime la distribution la plus uniforme (entropie maximale) des points d'occurrence au sein de la zone d'étude, en tenant compte de la contrainte que la valeur moyenne de chaque variable environnementale sous cette distribution estimée, apparie sa moyenne empirique. Un développement récent de l'approche a montré que c'est une technique de modélisation basée sur les processus ponctuels hétérogènes de Poisson, appelés IPP (D. I. WARTON et L. C. SHEPHERD, 2010, p. 1383; W. FITHIAN et T. HASTIE, 2013, p. 1917). Les modèles IPP conduisent à une estimation d'abondance relative de l'espèce qui peut être ensuite transformée en une probabilité de présence à l'aide d'une fonction de lien appropriée (S. J. PHILLIPS *et al.*, 2017, p. 887). La fonction de lien par défaut dans la version actuelle de Maxent est celle de *cloglog* qui a été considérée pour la présente étude.

#### **1.4.2. Calibration et validation des modèles**

Une analyse de corrélation entre les variables bioclimatiques a été réalisée avec le programme ENMtools (D. L. WARREN *et al.*, 2010, p. 607) et seuls les variables ayant un coefficient de corrélation absolument inférieur ou égale à 0,80 ont été considérés (J. ELITH *et al.*, 2010, p. 330). Sur les 22 variables identifiées, six (6) ont été considérées compte tenu de l'écologie du Genre *Cochlospermum* et des facteurs bioclimatiques qui ont une influence significative dans la zone d'étude. Il s'agit de: *bio6* (la température minimale du mois le plus froid), *arid* (l'indice de sécheresse); *bio2* (la variation journalière moyenne des températures); *bio3* (l'iso-thermalité); *bio14* (pluviométrie du mois le plus sec); *MI* (l'indice d'humidité annuelle). Le test de Jackknife a été effectué sur les 6 variables bioclimatiques sélectionnées afin de déterminer celles qui ont donné une meilleure contribution aux modèles.

La méthode de validation croisée avec cinq répétitions a été utilisée lors du calibrage des modèles avec *Maxent*, version 3.3.4. A cet effet, 20% des données d'occurrences ont servi à l'évaluation des modèles tandis que 80% ont servi à leur calibration et cela de façon itérative. L'évaluation de la performance des modèles a été effectuée à l'aide de la valeur des statistiques *AUC* (*Area Under the ROC Curve*) et *TSS* (*True Skill Statistics*). En pratique, l'*AUC* donne la probabilité que la puissance prédictive d'un modèle soit meilleure que la prédiction aléatoire (*AUC* = 0,5). Un modèle avec une valeur *AUC* proche de 1 (*AUC* supérieure à 0,75) est réputé avoir un bon ajustement. Le *TSS* est une mesure de la capacité du modèle à détecter avec précision les vraies présences (sensibilité) et les vraies absences (spécificité). Un *TSS* inférieur à 0 indique une prédiction aléatoire, tandis qu'une valeur proche de 1 (*TSS* supérieur à 0,5) suggère un bon pouvoir prédictif (O. ALLOUCHE *et al.*, 2006, p. 1223). Ces statistiques ont été utilisées pour juger au mieux la qualité du modèle. Une cartographie des habitats favorables au Genre *Cochlospermum* a été faite suivant chacun des deux scénarios considérés dans ArcGIS 10.1 après importation des résultats issus de la modélisation par *Maxent*. L'indicateur de la qualité des habitats favorables aux espèces a été la distribution de probabilité de présence générée par *Maxent*.

#### **1.5. Priorisation des habitats pour une conservation à long terme**

Le programme *Zonation* version 4.0.0 a servi à l'implémentation de la priorisation spatiale d'habitats favorables au Genre *Cochlospermum* pour identifier les habitats prioritaires (A. MOILANEN, 2007, p. 571). *Zonation* est l'un des meilleurs outils de plus en plus utilisé pour la priorisation et la conservation spatiale à petite et grande échelle

de planification de la conservation des espèces. C'est un outil qui procède par classification hiérarchique des grilles du paysage par enlèvement des grilles de moindre valeur de façon itérative (A. MOILANEN *et al.*, 2011, p. 1419). Cette classification assure la connectivité entre différents pas de temps considérés (pour notre cas, les modèles du présent et du futur ont été considérés). Elle s'assure d'un équilibre simultané entre les deux temps considérés. De ce fait, elle rend possible l'identification des parties de l'écosystème qui possèdent une plus forte priorité de conservation à long terme dans un contexte de changement climatique (A. MOILANEN *et al.*, 2011, p. 1419).

Par ailleurs, pour atteindre notre objectif de classification d'habitats pour la sélection des zones résilientes au changement climatique, des interactions écologiques ont été incorporées aux modèles en définissant un fichier d'interaction dans les données d'entrée. Cela a permis d'assurer la connectivité des habitats de bonnes qualités entre les répartitions présentes et futures du Genre *Cochlospermum* à l'horizon 2055. Par suite, 20% des meilleurs habitats classifiés ont été considérés comme zones prioritaires pour la conservation du Genre *Cochlospermum* à long terme. Enfin, une analyse de lacunes de représentation des habitats prioritaires a été effectuée en superposant la carte du réseau national d'aires protégées du Bénin aux cartes issues de la classification par *Zonation*.

## 2. Résultats

### 2.1. Contribution des variables et validation du modèle

Les résultats de Maxent révèlent que la température minimale du mois le plus froid (*bio6*), l'indice d'aridité ( $1/Arid$ ) et la variation journalière moyenne des températures (*bio2*) sont les variables qui ont le plus contribué au modèle (tableau 1). Par ailleurs, les valeurs obtenues pour l'importance de permutation des variables confirment que les variables *bio6*, *Arid* et *bio2* sont celles ayant le plus d'impact sur la performance du modèle avec une plus grande valeur (37,2%) pour la variable *bio2*.



**Tableau 1 : Contribution des variables environnementales à la distribution du Genre Cochlospermum (*C. tinctorium* et *C. planchonii*)**

Code des Variables	Signification	Pourcentage de contribution (%)	l'Importance de Permutation(%)
bio6	Température minimale du mois le plus froid	38,1	31,4
Arid	Inverse de l'Indice d'aridité (pet/bio12)	25,2	13,8
bio2	Variation journalière moyenne des températures (temp max - temp min) (moyenne mensuelle)	17,2	37,2
bio3	Iso thermalité [(Bio1/Bio7) * 100]	9,9	9,1
Mi	Indice d'humidité annuel	4,9	6,3
bio14	pluviométrie du mois le plus sec	4,7	2,3

Source : A partir des résultats de modélisation de Maxent

Les résultats du test de Jackknife sur l'importance de la contribution individuelle de chaque variable (incluse isolément ou omise dans le calibrage du modèle) montrent que la variable environnementale *bio2* renferme plus l'information que les autres variables. Son omission diminuerait donc le pouvoir prédictif du modèle (figure 3). La valeur moyenne de l'AUC est de  $0,918 \pm 0,001$  (Moyenne  $\pm$  Erreur standard) indiquant une très bonne capacité des modèles à prédire la distribution du Genre *Cochlospermum*. Cette performance est confirmée par la valeur moyenne du TSS qui est  $0,807 \pm 0,007$  (Moyenne  $\pm$  Erreur standard).

**Figure 2 : Importance des variables environnementales avec le test de Jackknife.**



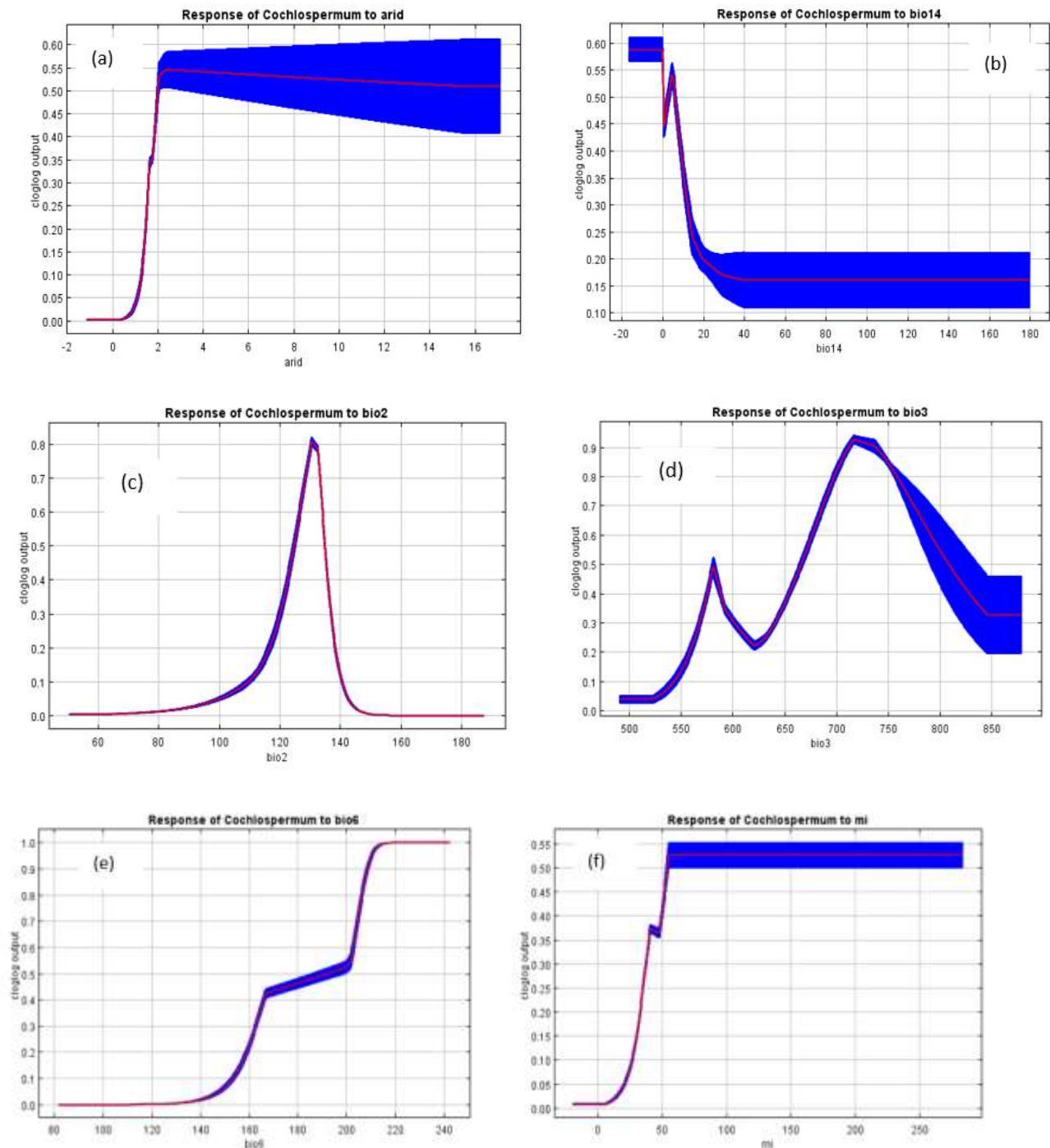
Source : A partir des résultats de modélisation de Maxent

Légende : La barre verte indique la perte en gain d'information du modèle lorsque la variable considérée est omise dans le modèle tandis que celle de couleur bleue indique le gain d'information du modèle lorsque la variable considérée est intégrée seule dans le modèle. La barre rouge montre le gain d'information de référence (modèle avec toutes les variables considérées).

Les courbes de réponses montrent comment la probabilité de présence du Genre *Cochlospermum* change au fur et à mesure que l'on fait varier chaque variable environnementale, en conservant toutes les autres à leur valeur moyenne d'échantillonnage (figure 4).

Ainsi, la probabilité de présence du Genre *Cochlospermum* est élevée pour des valeurs de l'indice d'aridité ( $1/Arid$ ) comprises en 0,063 et 0,5 (figure 4a). Cela montre que ce Genre a globalement une préférence pour les milieux arides, semi-arides et subhumides secs. La courbe de réponse de *Cochlospermum* à la pluviométrie du mois le plus sec (*bio14*) a montré que la probabilité de présence est plus élevée pour les faibles pluviométries (0 à 10 mm), tandis qu'elle diminue jusqu'à 0,15 pour des valeurs de pluviométries comprises entre 10 mm à 30mm avant de se stabiliser pour des valeurs de pluviométrie allant de 30mm jusqu'à 180 mm. La courbe de réponse du Genre à *bio2* (température journalière moyenne mensuelle) a montré que les probabilités de présence les plus élevées sont observées pour des valeurs de *bio2* comprises entre 12°C et 14°C avec un maximum de 0,8 atteint à 13°C environ. La présence de *Cochlospermum* est donc facilitée par un intervalle de températures journalières relativement faible. La réponse du Genre à la variable *bio3* (iso-thermalité) suggère une importance de la variabilité mensuelle de la température journalière rapportée à celle de l'année dans sa répartition spatiale. Les variations extrêmes de la température journalière mensuelle semblent ne pas avoir une grande influence sur sa distribution. La réponse du Genre à *bio6* (température minimale du mois le plus froid) suggère que la probabilité de sa présence dans les milieux à température supérieure à 20°C est plus élevée. La courbe de réponse du Genre à l'indice d'humidité annuel a montré qu'au-dessus d'un seuil d'humidité (0,51), sa probabilité de présence n'augmente plus.

**Figure 4 : Courbes de réponse montrant les relations entre les probabilités de présence du Genre *Cochlospermum* et les six variables bioclimatiques utilisées**

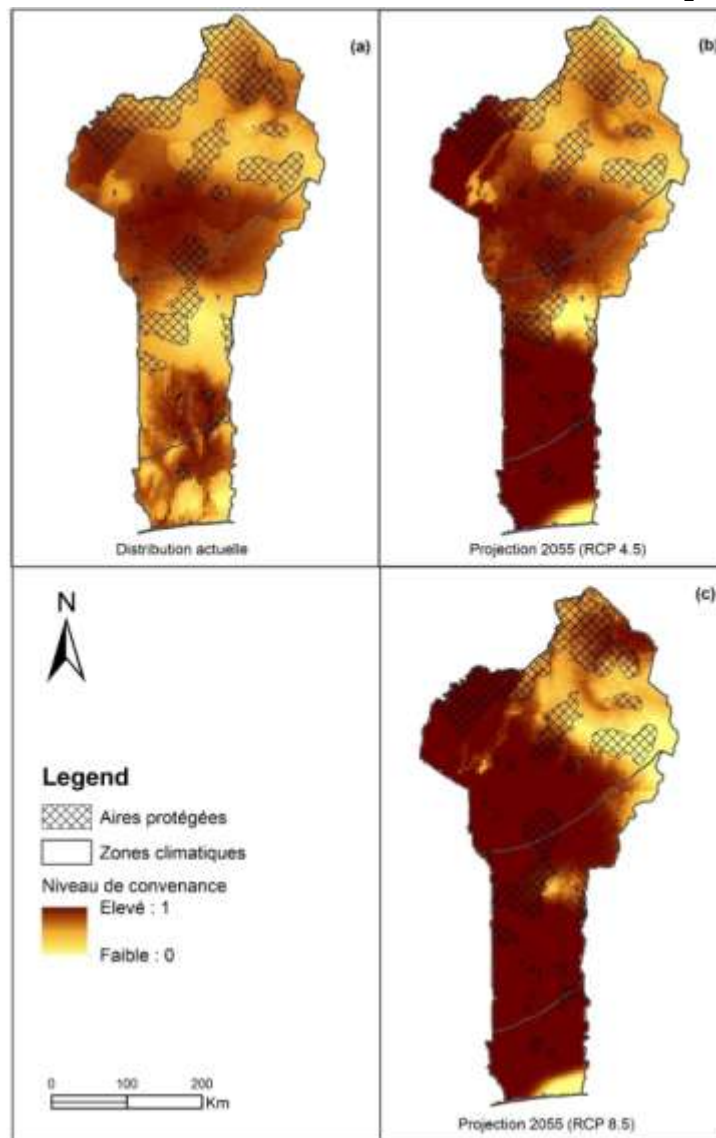


Source : A partir des données bioclimatiques d'Africlim (P.J. Platts et al., 2015, p. 103) et des résultats de modélisation de Maxent

## 2.2. Répartition actuelle et future des habitats favorables au Genre *Cochlospermum*

La distribution actuelle de *Cochlospermum* montre une forte probabilité de présence principalement dans la zone semi-aride du Bénin mais également dans la zone subhumide jusqu'à sept degrés de latitude Nord (7°N). Cette probabilité d'occurrence diminue progressivement en dessous de ce seuil où on a les régions plus arrosées du pays (Figure 5a). Les projections à l'horizon 2055 qui anticipent une aridification plus ou moins sévère des conditions climatiques du Bénin comme les scénarios RCP 4.5, RCP 8.5, sont favorables à une augmentation de l'aire d'occurrence du Genre (figure 5 b ; c).

Figure 5 : Distribution actuelle et futur du *Cochlospermum*

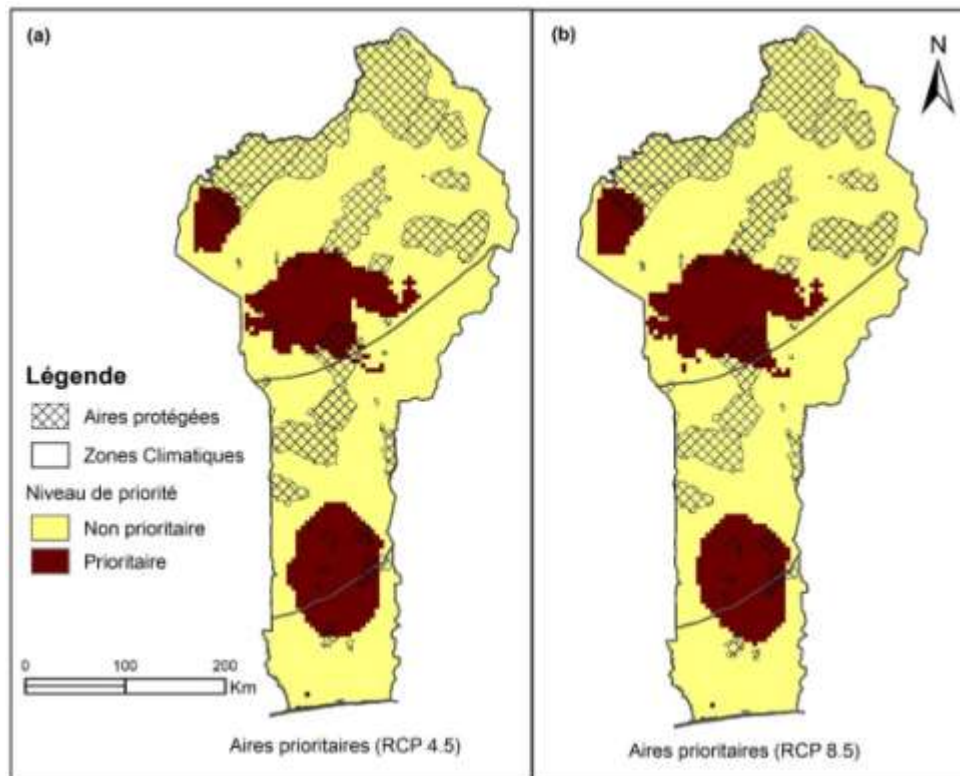


Source : A partir des données bioclimatiques d'Africlim (P.J. Platts et al., 2015, p. 103) et des résultats de modélisation de Maxent

### 2.3. Distribution des habitats prioritaires

La superficie des habitats prioritaires du Genre *Cochlospermum* au niveau des trois zones bioclimatiques du Bénin ne change pas d'un scénario climatique à l'autre. La tendance globale montre qu'environ 20% de la superficie totale du Bénin serait favorable au Genre *Cochlospermum* à l'horizon 2055 (figure 6a ; b ; tableau 2). De même, environ un cinquième (20%) des zones prioritaires est couvert par le réseau national d'aires protégées, notamment dans la zone soudano-guinéenne (figure 6a ; b).

Figure 6 : Aires prioritaires suivant les scénarios RCP 4.5 et RCP8.5



Source : A partir des données bioclimatiques d'Africlim (P.J. Platts et al., 2015, p. 103) et des résultats de modélisation de Maxent

**Tableau2 : Répartition des habitats prioritaires par scenario climatique d'ici 2055**

Bénin	Superficie approximative (Km <sup>2</sup> )			Proportion prioritaire du territoire (%)
	Prioritaire	Non prioritaire	Total*	-
<b>RCP 4.5</b>	22536,76	90085,24	112622	20,01
<b>RCP 8.5</b>	22536,76	90085,24	112622	20,01

\*exclus les îles ; Source : A partir des résultats de modélisation de Maxent

### 3. Discussion

Malgré les nombreuses critiques autour de la méthode du principe d'entropie maximum utilisée, elle constitue l'une des techniques les plus performantes en matière d'estimation de la probabilité d'occurrence d'une espèce ou d'un groupe taxonomique sur la base des conditions environnementales correspondantes (S. J. PHILLIPS *et al.*, 2006, p. 231 ; S. J. PHILLIPS *et al.*, 2017, p. 887). C'est une approche qui donne la possibilité d'utiliser les données de présence uniquement. La non prise en compte de données de vraies absences est une faiblesse de cette approche. Cependant, les modèles tournés avec les données d'absence sont susceptibles de générer des probabilités peu fiables de détection des espèces (B. A. WINTLE *et al.*, 2004, p. 703; D. R. MACKENZIE, 2005, p. 1105). Cette étude n'a pas non plus pris en compte la réponse écophysologique des espèces de ce Genre aux modifications des conditions climatiques de leurs habitats. Toutefois, l'utilité des résultats obtenus à partir de données d'absence seule pour l'élaboration de stratégie de conservation a également été mise en évidence par plusieurs études antérieures (D. L. WARREN et S. N. SEIFERT, 2011, p. 335 ; M. W. SCHWARTZ, 2012, p. 149 ; B. FANDOHAN *et al.*, 2011, p. 49). Les résultats de cette étude demeurent donc pertinents pour des actions de conservation.

Les changements climatiques sont susceptibles d'entraîner une dynamique spatiotemporelle de la distribution des habitats favorables aux espèces. Cependant, avec les incertitudes liées aux projections climatiques, il est nécessaire que les stratégies de conservation à long terme accordent un intérêt particulier aux habitats où les espèces peuvent persister à la fois dans le présent et dans le futur. Ce travail prend en compte cette dimension et présente une étude de cas sur le Genre *Cochlospermum* au Bénin. Globalement, près de 70% de la superficie totale du Bénin est actuellement potentiellement favorable au Genre *Cochlospermum*. Il supporte bien les pluviométries annuelles comprises entre 900 mm et 1500 mm. La probabilité de contact du Genre fut



positivement corrélée avec l'aridité. Ainsi, les prédictions d'aridification des scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 suggèrent une extension de l'aire potentiellement favorable au Genre à plus de 80% de la superficie totale du milieu d'étude. Cela suggère que le phénomène de réchauffement climatique impacterait positivement la distribution du *Cochlospermum* au Bénin. Des observations similaires ont été faites pour d'autres espèces de savanes comme *Adansonia digitata* (A. CUNI-SANCHEZ *et al.*, 2011, p. 234), *Lonchocarpus sericeus* et *Anogeissus leiocarpa* (A. J. GBETOHO *et al.*, 2017, p. 43). Par contre, des impacts négatifs ont été prédits pour d'autres espèces telles que *Borassus aethiopum* (V. K. SALAKO *et al.*, 2019, p. 1513). Les différences pourraient être dues à une divergence notoire entre les conditions bioclimatiques caractérisant les points d'occurrence de ces différentes espèces. Pour d'autres espèces comme *Tamarindus indica*, les tendances varient en fonction du scénario bioclimatique utilisé (B. FANDOHAN *et al.*, 2013, p. 450).

Une bonne partie des aires favorables (80%) au Genre étudié se retrouvent hors du réseau national d'aires protégées. Bien que la conservation *in situ* soit considérée comme meilleure pour les espèces, il a été démontré que dans l'anthropocène, les jardins de cases, les parcs agroforestiers et les zones de cultures en général joueront un rôle majeur dans les stratégies de conservation à long terme (R. J. ZOMER *et al.*, 2009, p. 46). Cette option est davantage valable pour des arbustes occupant très peu d'espaces comme les espèces du Genre *Cochlospermum*.

## Conclusion

Cette étude menée au Bénin, a estimé l'aire bioclimatique totale propice au Genre *Cochlospermum* sous les conditions climatiques actuelles et futures. Elle a également identifié les habitats potentiels actuels qui resteraient propices à ce Genre à l'horizon 2055, sous un climat changeant. Il s'est avéré que l'essentiel des habitats actuels du Genre *Cochlospermum* resteront favorables à sa conservation à l'horizon 2055. Vingt pourcent (20 %) de ces zones font partie du réseau national d'aires protégées. Cela suggère que les aires protégées nationales pourront garantir la conservation du Genre dans un contexte de changement climatique. Toutefois les zones anthropisées pourraient offrir une meilleure garantie pour sa conservation à long terme. Nos résultats pourraient soutenir la prise de décision à l'échelle nationale pour la conservation à long terme du Genre *Cochlospermum*.

## Remerciements

Nous remercions le Gouvernement de la République du Bénin et le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique pour avoir financé ce travail à travers une Bourse d'Etude Doctorale octroyée à Y. TOFFA, et le programme WASCAL pour un financement additionnel à travers le WASCAL BLOC AWARD. Une partie du financement a également été couverte par le deuxième auteur du travail, A. B. FANDOHAN.

## Références bibliographiques

ADOMOU Cossi Aristide, 2005, *Vegetation Patterns and Environmental gradients in Benin. Implications for biogeography and conservation*, Ph.D. Thesis, Wageningen University, Wageningen.

AGBO Relique Ignace, IDOHOU Rodrigue, VIHOTOGBÉ Romaric, MISSIHOUN Antoine Abel, DAGBA Rollande Aladé, ASSOGBADJO Achille Ephrem et AGBANGLA Clément, 2019, « Spatio-temporal dynamics of suitable habitats for *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. (Caesalpiniaceae), a priority food tree species in Benin (West Africa) », *Modeling Earth Systems and Environment*, 5, p. 595–604 [doi.org/10.1007/s40808-018-0550-x](https://doi.org/10.1007/s40808-018-0550-x)

AKOEGNINOU Akpovi, VAN DER BURG Willem Joost et VAN DER MAESEN Laurentius Josephus Gerardus, 2006, *Flore analytique du Bénin*, Blackhuys Publishers, Cotonou et Wageningen.

ALLOUCHE Omri, TSOAR Asaf et KADMON Ronen, 2006, « Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS) », *Journal of Applied Ecology*, 43, p. 1223–1232. doi: 10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x

BOUROU Sali, BOWE Colm, DIOUF Macoumba et VAN DAMME Patrick, 2012, « Ecological and human impacts on stand density and distribution of tamarind (*Tamarindus indica* L.) in Senegal », *African Journal of Ecology*, 50, 3, p. 253-265, [doi.org/10.1111/j.1365-2028.2012.01319.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2012.01319.x)

CUNI-SANCHEZ Aida, OSBORNE Patrick E et HAQ Nazmul, 2010, « Identifying the global potential for baobab tree cultivation using ecological niche modelling », *Agroforestry Systems*, 80, 2, p. 191–201, [doi.org/10.1007/s10457-010-9282-2](https://doi.org/10.1007/s10457-010-9282-2)

CUNI-SANCHEZ Aida, OSBORNE Patrick E et HAQ Nazmul, 2011, « Climate change and the African baobab (*Adansonia digitata* L.): the need for better conservation

strategies », *African Journal of Ecology*, 49, 2, p. 234-245, doi: 10.1111/j.1365-2028.2011.01257.x

ELITH Jane, KEARNEY Michael et PHILLIPS Steven, 2010, « The art of modelling range- shifting species », *Methods in Ecology and Evolution*, 1, 4, p. 330-342, doi: 10.1111/j.2041-210X.2010.00036.x

JANE Elith, PHILLIPS Steven J, HASTIE Trevor, DUDIK Miroslav, EN CHEE Yung et YATES Colin J, 2011, « A statistical explanation of MaxEnt for ecologists », *Diversity and distributions*, 17, 1, p. 43-57, doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x

FANDOHAN Adandé Belarmain, GOUWAKINNOU Nounagnon Gerard, DELEKE KOKO Kafui Ines Edna, GLELE KAKAI Romain et ASSOGBADJO Achille Ephrem, 2015, « Domesticating and conserving indigenous trees species: an ecosystem Based approach for adaptation to climate change in sub-Sahara Africa », *Revue CAMES Science de la Vie et de la Terre*, 03, 01, p. 55-60.

FANDOHAN Belarmain, ASSOGBADJO Achille Ephrem, GLÈLÈ KAKAI Roman Lucas et SINSIN Brice, 2011, « Effectiveness of a protected areas network in the conservation of *Tamarindus indica* L. (Leguminosae-Caesalpinioideae) in Benin », *African Journal of Ecology*, 49, 1, p. 40-50, doi.org/10.1111/j.1365-2028.2010.01228.x

FANDOHAN Belarmain, GOUWAKINNOU Gerard Nounagnon, FONTON Noel Houédougbe, SINSIN Brice et LIU Jian, 2013, « Impact des changements climatiques sur la répartition géographique des aires favorables à la culture et à la conservation des fruitiers sous-utilisés: cas du tamarinier au Bénin », *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*, 17, 3, p. 450-462, <https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php?id=10186>

FAO, 1999, « Vers une définition harmonisée des produits forestiers non ligneux », *Unasylva*, 50, 198, p. 63-64.

FITHIAN William et HASTIE Trevor, 2013, « Finite-Sample Equivalence in Statistical Models for Presence-Only Data », *Annals of Applied Statistics*, 7, 4, p. 1917-1939, doi: 10.1214/13-AOAS667.

GBETOHO Alain Jaures, AOUDJI Augustin KN, ROXBURGH Lizanne et GANGLO Jean Cossi, 2017, « Assessing the suitability of pioneer species for secondary forest

restoration in Benin in the context of global climate change », *Bois et Forêts des Tropiques*, 332, 2, p. 43-55, [doi.org/10.19182/bft2017.332.a31332](https://doi.org/10.19182/bft2017.332.a31332)

GOUWAKINNOU Gerard Nounagnon, 2013, « Using niche modeling to plan conservation of an indigenous tree species under changing climate: example of *Sclerocarya birrea* in Benin », *West African Research and Development - Sub-Saharan Africa*, 6, p. 1-8.

IDOHOU Rodrigue, ASSOGBADJO Achille Eprem, GLÈLÈ KAKAÏ Romain et PETERSON Andrew Townsend, 2017, « Spatio-temporal dynamic of suitable areas for species conservation in West Africa: eight economically important wild palms under present and future climates », *Agroforestry Systems*, 91, p. 527-540, [doi.org/10.1007/s10457-016-9955-6](https://doi.org/10.1007/s10457-016-9955-6)

IPCC, 2013, *Summary for Policymakers*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponible à : [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FIN\\_AL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FIN_AL.pdf).

MACKENZIE I Darryl et ROYLE J Andrew, 2005, « Designing occupancy studies: general advice and allocating survey effort », *Journal of Applied Ecology*, 42, p. 1105-1114, [doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01098.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01098.x)

MARANZ Steven, 2009, « Tree mortality in the African Sahel indicates an anthropogenic ecosystem displaced by climate change », *Journal of Biogeography*, 36, 1181-1193, [doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.02081.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.02081.x)

MOILANEN Atte, 2007, « Landscape Zonation, benefit functions and target-based planning: Unifying reserve selection strategies », *Biological Conservation*, 134, 571-579, doi: 10.1016/j.biocon.2006.09.008

MOILANEN Atte, ANDERSON J Barbara, EIGENBROD Felix, HEINEMEYER Andreas, ROY B David, GILLINGS Simon, ARMSWORTH R Paul, GASTON J Kevin et THOMAS D Chris, 2011, « Balancing alternative land uses in conservation prioritization », *Ecological Applications*, 21, 5, p. 1419-1426, [doi.org/10.1890/10-1865.1](https://doi.org/10.1890/10-1865.1)

PHILLIPS J Steven, ANDERSON P Robert, DUDIK Miroslav, SCHAPIRE E Robert et BLAIR E Mary, 2017, « Opening the black box: An open- source release of Maxent », *Ecography*, 40, 7, p. 887-893, [doi.org/10.1111/ecog.03049](https://doi.org/10.1111/ecog.03049)

PHILLIPS J Steven, ANDERSON P Robert et SCHAPIRE E Robert, 2006, « Maximum entropy modelling of species geographic distributions », *Ecological Modelling*, 190, p. 231-259.

PLATTS Philip John, OMENY A Peter et MERCHANT Rob, 2015, « AFRICLIM: high-resolution climate projections for ecological applications in Africa », *African Journal Ecology*, 53, p. 103-108, doi: 10.1111/aje.12180

SALAKO Valère Kolawolé, VIHOTOGBE Romaric, HOUEHANOU Thierry, SODE Idelphonse Akoeugnigan, et GLELE KAKAÏ Romain, 2019, « Predicting the potential impact of climate change on the declining agroforestry species *Borassus aethiopum* Mart. in Benin: A mixture of geostatistical and SDM approach », *Agroforestry Systems*, 93, 4, p. 1513-1530, [doi.org/10.1007/s10457-018-0262-2](https://doi.org/10.1007/s10457-018-0262-2)

SCHWARTZ W Mark, 2012, « Using niche models with climate projections to inform conservation management decisions », *Biological Conservation*, 155, p. 149-156, [doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.011](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.011)

SCHOLES J Robert, 1997, *African Savanna*, Cambridge University Press, Cambridge.

THORNTHWAITE Charles Warren, 1948, « An approach toward a rational classification of climate », *Geographic Review*, 38, p. 55-94.

WARREN L Dan, GLOR E Richard et TURELLI Michael, 2010, « ENMTools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models », *Ecography*, 33, p. 607-611, doi: 10.1111/j.1600-0587.2009.06142.x

WARREN L Dan et SEIFERT N Stephanie, 2011, « Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria », *Ecological Applications*, 21, 2, p. 335-342, [doi.org/10.1890/10-1171.1](https://doi.org/10.1890/10-1171.1)

WARTON I David et SHEPHERD C Leah, 2010, « Poisson point process models solve the “pseudo-absence problem” for presence-only data in ecology », *Annals of Applied Statistics*, 4, p. 1383-1402, doi: 10.1214/10-AOAS331.

WINTLE A Brendan, MCCARTHY A Michael, PARRIS M Kirsten et BURGMAN A Mark, 2004, « Precision and bias of methods for estimating point survey Detection probabilities », *Ecological Applications*, 14, 3, p. 703-712, [doi.org/10.1890/02-5166](https://doi.org/10.1890/02-5166)

ZOMER John Robert, TRABUCCO Antonio, COE Ric, et PLACE Frank, 2009, *Trees on farm: An analysis of global extent and geographical patterns of agroforestry*, ICRAF working paper no 89, World Agroforestry Centre, Nairobi, <http://www.worldagroforestry.org/down>