

Efficacité des aires protégées dans la conservation d'habitats favorables prioritaires de ligneux de valeur au Bénin

Sessi Gilles Christian ADJHOSSOU^{1,2}

Gérard Nounagnon GOUWAKINNOU^{2,3}

Dèhouégnon Thierry HOUEHANOU^{2,4,6}

Akoeugnigan Idelphonse SODE^{3,6}

Alain Sèakpo YAOITCHA^{2,5}

Marcel Romuald Benjamin HOUINATO²

Brice SINSIN²

¹ Direction générale des forêts
et des ressources naturelles (DGFRN)
BP 393, Cotonou
République du Bénin

² Université d'Abomey-Calavi (UAC)
Faculté des Sciences agronomiques (FSA)
Laboratoire d'écologie appliquée (LEA)
01 BP 526, Cotonou
République du Bénin

³ Université de Parakou
École nationale supérieure d'aménagement
et de gestion des aires protégées (ENSAGAP)
BP 287, Kandi
République du Bénin

⁴ Université de Parakou
École nationale supérieure des sciences
et techniques agronomiques de Djougou
BP 73, Djougou
République du Bénin

⁵ Institut national des recherches agricoles
du Bénin (INRAB)
01 BP 884, Cotonou
République du Bénin

⁶ Université d'Abomey-Calavi (UAC)
Faculté des Sciences agronomiques (FSA)
Laboratoire de biomathématiques
et d'estimations forestières (Labef)
01 BP 526, Cotonou
République du Bénin

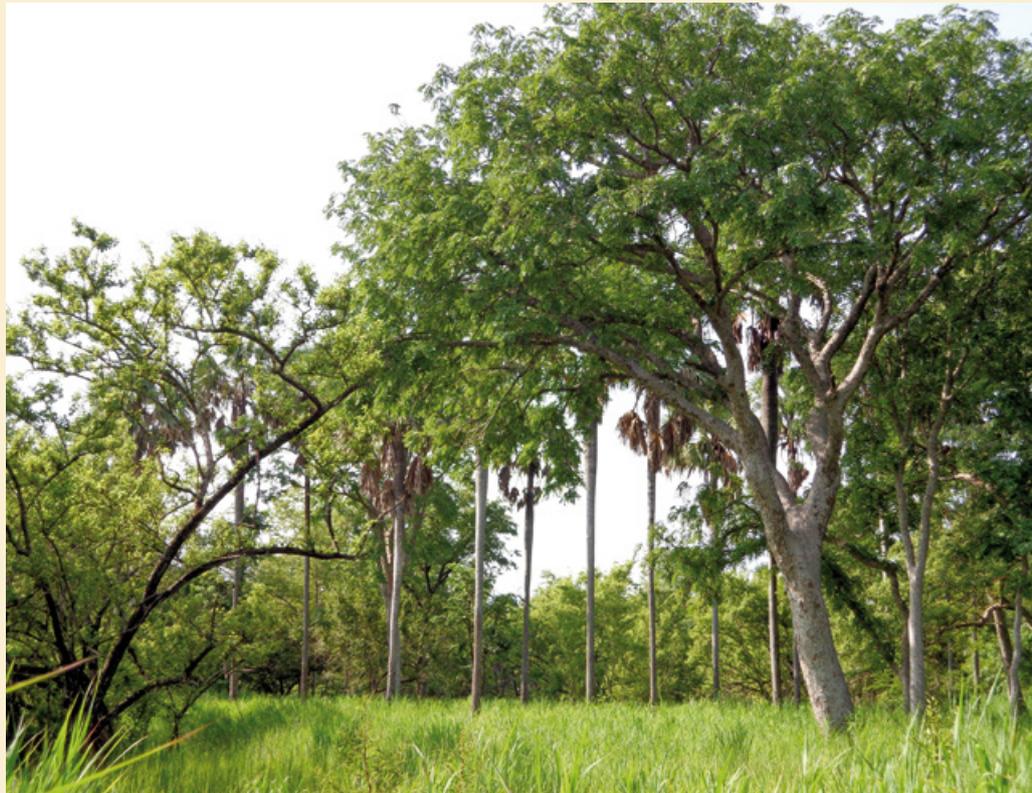


Photo 1.

Daniellia oliveri dans la forêt classée des Trois Rivières.
Photo S. G. C. Adjahossou.

RÉSUMÉ

EFFICACITÉ DES AIRES PROTÉGÉES DANS LA CONSERVATION D'HABITATS FAVORABLES PRIORITAIRES DE LIGNEUX DE VALEUR AU BÉNIN

L'objectif de cette étude est d'évaluer au Bénin l'efficacité du réseau des aires protégées dans la conservation des habitats favorables et prioritaires de certaines espèces ligneuses d'importance socio-économique. Il s'agit de *Azelia africana*, *Anogeissus leiocarpa*, *Burkea africana*, *Daniellia oliveri*, *Detarium microcarpum*, *Prosopis africana* et *Khaya senegalensis*. Les techniques basées sur le principe d'entropie maximale (Maxent) combinées avec les SIG ont été utilisées pour projeter les habitats favorables de ces sept espèces ; le logiciel Zonation a été utilisé pour la modélisation des habitats prioritaires. Les points de présence des espèces ont été collectés et associés aux variables bioclimatiques dérivées de la température mensuelle et de la pluviométrie obtenues à partir de la base de données en ligne de AfriClim, ainsi qu'à la variable édaphique (sol). En terme de déterminisme environnemental, les variables bioclimatiques telles que l'écart diurne moyen de la température (Bio2), les précipitations annuelles moyennes (Bio12), l'évapotranspiration potentielle (ETP) et la variable biophysique sol, sont prédictives pour les distributions des sept espèces. Les habitats protégés plus favorables aux sept essences dans la zone guinéenne commencent aux limites de la forêt classée de Kétou (7°43'N), dans la zone soudano-guinéenne, à partir de la latitude de la forêt classée d'Agoua (8°30'N), et dans la zone soudanienne à partir de la latitude de la Pendjari (10°35'N). Pour la conservation des habitats prioritaires, l'étude de représentation révèle que, dans les zones soudanaises (9°75'-12°27'N), guinéenne (6°50'-7°40'N) et soudano-guinéenne, les aires protégées sont respectivement efficaces, peu efficaces et non efficaces.

Mots-clés : habitats favorables, déterminisme environnemental, aires protégées, habitats prioritaires, Bénin.

ABSTRACT

EFFECTIVENESS OF PROTECTED AREAS FOR THE CONSERVATION OF FAVOURABLE AND PRIORITY HABITATS FOR VALUABLE TREE SPECIES IN BENIN

The aim of this study was to assess the effectiveness of protected areas in Benin for the conservation of favourable and priority habitats for the following tree species of socio-economic importance: *Azelia africana*, *Anogeissus leiocarpa*, *Burkea africana*, *Daniellia oliveri*, *Detarium microcarpum*, *Prosopis africana* and *Khaya senegalensis*. We combined maximum entropy (Maxent) techniques with GIS to predict potentially favourable areas for cultivating and conserving these species. Zonation software was used to model priority habitats. Data points where the species were present were collected and linked to bioclimatic variables derived from monthly temperature and rainfall figures from the AfriClim database and to edaphic (soil) variables. In term of environmental determinism, the most favourable areas were predicted by bioclimatic variables such as mean diurnal temperature range (Bio2), mean annual rainfall (Bio12), potential evapotranspiration (PET) and a biophysical ground variable. The most favourable protected areas for the seven tree species extended northwards from the Ketou listed forest (7°43'N) in the Guinean zone, from the Agoua listed forest (8°30'N) in the Sudano-Guinean zone and from the Pendjari National Park area (10°35'N) in the Sudanian zone. Gap analysis of habitat conservation showed that the protected area network was effective in the Sudanian zone (9°75'-12°27'N), minimally effective in the Guinean zone (6°50'-7°40'N) and not effective at all in the Sudano-Guinean zone.

Keywords: favourable habitats, environmental determinism, protected areas, priority habitats, Benin.

RESUMEN

EFICACIA DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS EN LA CONSERVACIÓN DE HÁBITATS PROPICIOS PRIORITARIOS DE ESPECIES LEÑOSAS DE VALOR EN BENÍN

Este estudio tenía como objetivo la evaluación en Benín de la eficacia de la red de áreas protegidas en la conservación de hábitats propicios y prioritarios de algunas especies leñosas importantes desde el punto de vista socioeconómico. Se trata de *Azelia africana*, *Anogeissus leiocarpa*, *Burkea africana*, *Daniellia oliveri*, *Detarium microcarpum*, *Prosopis africana* y *Khaya senegalensis*. Se utilizaron técnicas basadas en el principio de máxima entropía (MaxEnt) combinadas con SIG para predecir los hábitats propicios de estas siete especies. Se utilizó el software Zonation para la modelación de hábitats prioritarios. Se recopilaron los registros de presencia de especies y se asociaron a las variables bioclimáticas, derivadas de la temperatura mensual y la pluviometría y extraídas de la base de datos en línea de AfriClim, así como a la variable edáfica. En término de determinismo ambiental, las variables bioclimáticas como el promedio de variación diurna de la temperatura (Bio2), la precipitación media anual (Bio12), la evapotranspiración potencial (ETP) y la variable biofísica "suelo" sirven para predecir la distribución de las siete especies. Las áreas protegidas más idóneas para dichas especies comienzan en los límites del bosque reservado de Kétou (7°43'N), en la zona climática guineana, a partir de la latitud del bosque reservado de Agoua (8°30'N), en la zona sudano-guinéana, y a partir del parque de Pendjari (10°35'N), en la zona sudanesa. Para la conservación de hábitats prioritarios, el estudio de representación revela que las áreas protegidas son eficaces en la zona sudanesa (9°75'-12°27'N), poco eficaces en la guineana (6°50'-7°40'N) y nada eficaces en la sudano-guinéana.

Palabras clave: hábitats propicios, determinismo ambiental, áreas protegidas, hábitats prioritarios, Benín.

Introduction

Beaucoup d'espèces se raréfient dans leurs habitats naturels à cause des menaces pesant sur la biodiversité. Le principal facteur d'appauvrissement de la diversité spécifique est représenté par la perte, la fragmentation ou la modification des habitats naturels, dues à la surexploitation, l'agriculture, aux feux de végétation et au surpâturage (Hargitt, 1994 ; McNeely, 1996). Sala *et al.* (2001) ajoutent à ces facteurs la pollution et le changement climatique, devenu une menace additionnelle pour les populations végétales et animales. Étant donné que les fluctuations climatiques influencent la biodiversité et déterminent la répartition spatiale des aires géographiques favorables, le changement climatique constitue une question environnementale cruciale qu'il importe d'intégrer dans la planification de la conservation (Fandohan *et al.*, 2013).

La mise en œuvre d'un schéma de développement intégrant la conservation des ressources naturelles tout en luttant contre leur dégradation constitue le seul moyen de relever les défis socio-économiques du continent africain. Alors qu'au sud du Sahara, plus de 200 espèces végétales forestières sont considérées comme éteintes (Hilton-Taylor, 2000), au Bénin, 280 espèces végétales sont menacées de disparition et 90 % présentent une probabilité élevée d'extinction (Adomou, 2005). Parmi elles, 19 sont d'intérêt régional pour la conservation et 10 figurent sur la Liste rouge de l'UICN (Adomou, 2005). *Azelia africana* et *Khaya senegalensis* sont deux de ces espèces menacées, déjà inscrites sur la Liste rouge de l'UICN alors qu'elles semblent même en danger critique d'extinction au Bénin (Adomou *et al.*, 2006). Au-delà de ces deux espèces assez connues pour leur utilité comme source de fourrage pour le bétail et comme bois d'œuvre très prisé dans le commerce international du bois, d'autres espèces comme *Daniellia oliveri* et *Anogeissus leiocarpa* se révèlent très vulnérables aux pressions anthropiques et sont de plus en plus rares (Houehanou *et al.*, 2013).

L'exploitation est donc reportée vers d'autres espèces végétales, parmi lesquelles peuvent être citées *Detarium microcarpum*, *Prosopis africana* et *Burkea africana*. Pour amoindrir les pressions sur ces ressources végétales en particulier, et sur les ressources naturelles de manière plus large, plusieurs stratégies de conservation ont été adoptées, dont celle de la conservation *in situ*. Les aires protégées représentent l'option la plus efficace et la plus couramment adoptée pour cette forme de conservation.

Selon la Liste des Nations unies, le monde compte 209 429 aires protégées, avec une couverture totale de 32 868 673 km² (soit une superficie plus grande que l'Afrique), représentant 3,41 % des zones marines et 14,0 % des zones terrestres, soit 15,4 % de la superficie totale

terrestre si l'on exclut l'Antarctique (Deguignet *et al.*, 2014). Cependant, les investigations récentes sur l'efficacité des aires protégées ont révélé que, malgré l'extension géographique de la couverture de ces aires, celles-ci n'assuraient pas la protection nécessaire aux espèces, écosystèmes et sites clés (Butchart *et al.*, 2015).

Face à cette problématique, il est important de se demander jusqu'à quel point les aires protégées du Bénin conservent efficacement la diversité biologique. Il s'agit plus précisément d'évaluer l'aire favorable à la distribution et à la conservation des espèces ligneuses citées plus haut, de déterminer les aires abritant les niveaux de richesse spécifique les plus élevés, et d'estimer l'étendue de l'aire couverte par les aires protégées. L'identification des limites des habitats favorables mais aussi des points de concentration des espèces permet en particulier de connaître les endroits propices à leur sylviculture (Fandohan *et al.*, 2013). Elle permet également de prendre des décisions sur les lieux où les efforts de conservation doivent être concentrés pour un impact optimal, et ce dans un contexte de ressources financières limitées.

Des scientifiques se sont investis dans le domaine de la conservation spatiale à grande échelle en recourant à des outils méthodologiques appropriés (ResNet, Zonation, par exemple). En Guinée équatoriale, Zafra-Calvo *et al.* (2010) ont utilisé le logiciel ResNet pour modéliser des aires prioritaires de conservation et de restauration des paysages post-cultivés dans le plan de réserve de biosphère de Bioko. Le logiciel Zonation a été utilisé aux États-Unis (au Nord-Ouest du Pacifique), en Italie et au Nord de l'Inde, respectivement par Carlos *et al.* (2009) pour optimiser la résilience du réseau de réserves face aux changements climatiques dans le cadre de la planification de la conservation d'espèces multiples, par Girardello *et al.* (2009) pour identifier des aires prioritaires de conservation des papillons, et par Pawar *et al.* (2007) pour évaluer la conservation des amphibiens et reptiles dans les aires prioritaires.

Notre étude s'est appuyée sur le programme Zonation, qui permet la modélisation des habitats prioritaires, d'une part, en retenant simultanément la qualité d'habitat et la connectivité de sept espèces cibles (*Azelia africana*, *Anogeissus leiocarpa*, *Burkea africana*, *Daniellia oliveri*, *Detarium microcarpum*, *Prosopis africana* et *Khaya senegalensis*) et, d'autre part, en fournissant une méthode quantitative de gestion durable de la biodiversité (Moilanen *et al.*, 2012). De façon spécifique, cette recherche avait pour objet d'identifier les habitats naturels prioritaires à la conservation des espèces cibles, d'une part, et d'apprécier l'efficacité du réseau national des aires protégées dans la conservation de ces habitats prioritaires, d'autre part.

Matériel et méthodes

Les données d'occurrence (coordonnées géographiques) des espèces cibles (figure 1) ont été collectées à partir de travaux de terrain. Afin de s'assurer que les données de présence des espèces étudiées couvraient le plus possible la région où elles sont régies par les mêmes facteurs climatiques (Fitzpatrick *et al.*, 2009), les coordonnées de présence de chaque espèce ont été collectées dans son aire de distribution en Afrique de l'Ouest. Ces données additionnelles ont été obtenues à partir de GBIF (Global Biodiversity Information Facility, www.gbif.org) et des articles publiés sur certaines de ces espèces (tableau I). Cependant, certains points de présence figurant dans la base de données de GBIF ne disposent pas de coordonnées géographiques (longitude et latitude) mais sont en complément stockés avec la localité et le pays dans lesquels ils ont été obtenus. Pour ces points, les « Gazettiers »¹ des pays dans lesquels ils se trouvent ont été utilisés pour identifier leurs coordonnées géographiques à l'aide de l'outil d'identification d'ArcGIS 10.1.

Les données d'occurrence provenant de GBIF et datant d'avant 1950, ainsi que celles dont les coordonnées sortent de l'aire de distribution naturelle de l'espèce, ont été omises. Les données climatiques actuelles de résolution 30 secondes ont été obtenues en ligne sur le site AfriClim². Elles sont composées de 21 variables bioclimatiques relatives à la température et l'humidité (Platts et Marchant, 2015). Les points de présence des espèces ont été associés aux variables bioclimatiques, sélectionnées après analyse de corrélation (Warren *et al.*, 2010), ainsi qu'à la variable édaphique (sol) pour simuler les aires favorables

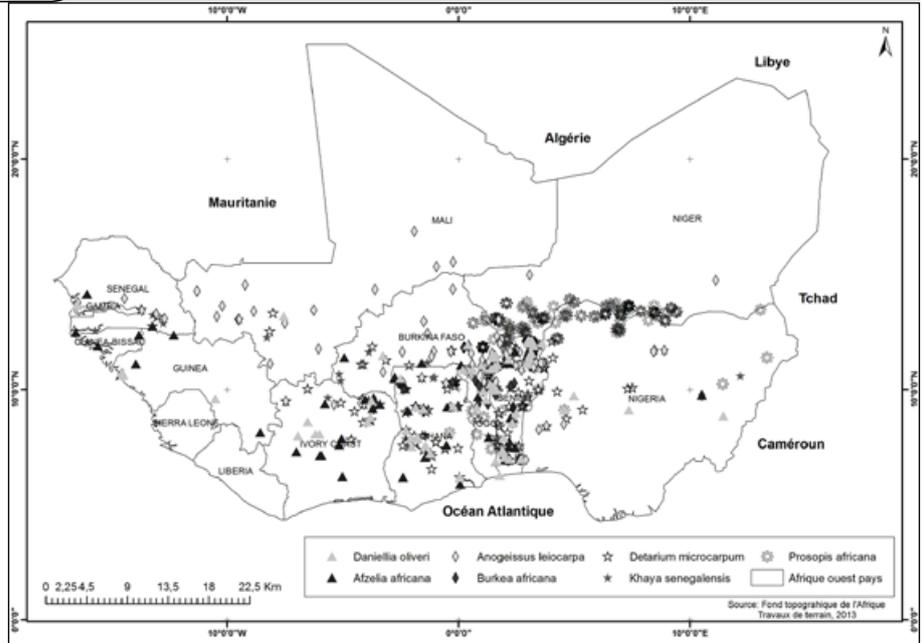


Figure 1. Localisation des points de présence utilisés pour la modélisation.

aux espèces à partir de l'algorithme de Maxent (Phillips *et al.*, 2006). Pour chaque espèce, la simulation dans Maxent a été répétée cinq fois en utilisant la méthode de validation croisée au cours de laquelle 80 % des points ont servi à la calibration et 20 % à la validation des modèles. La valeur du *10 percentile training presence logistic threshold* a été utilisée comme seuil de probabilité pour définir les niveaux de convenue d'habitat pour chaque espèce (Liu *et al.*, 2013). La probabilité d'occurrence en dessous du seuil est considérée comme caractérisant un habitat moins favorable pour l'espèce, et celle située au-dessus de ce seuil correspond à un habitat plus favorable pour l'espèce (tableau II).

¹ <http://www.diva-gis.org/datadown>

² <http://www.york.ac.uk/environment/research/kite/resources/>

Tableau I.
Type de points de présence utilisés et sources.

Espèces	Sources			
	Travaux de terrain		GBIF	
	Nombre de points	(%)	Nombre de points	(%)
<i>Afzelia africana</i>	50	54,45	41	45,55
<i>Anogeissus leiocarpa</i>	88	55,70	70	44,30
<i>Burkea africana</i>	60	74,07	21	25,93
<i>Daniellia oliveri</i>	50	57,47	37	42,53
<i>Detarium microcarpum</i>	69	56,09	54	43,91
<i>Khaya senegalensis</i>	48	65,75	25	24,25
<i>Prosopis africana</i>	162	61,60	74	38,40

Sources GBIF : Global Biodiversity Information Facility (www.gbif.org).

Tableau II.

Synthèse des probabilités de convenance selon le seuil 10 percentile training presence logistic threshold.

	<i>Afzelia africana</i>	<i>Anogeissus leiocarpa</i>	<i>Burkea africana</i>	Espèces <i>Daniellia oliveri</i>	<i>Detarium microcarpum</i>	<i>Khaya senegalensis</i>	<i>Prosopis africana</i>
Seuils	0,1724	0,1741	0,1846	0,2490	0,2096	0,2670	0,4541

Résultats et discussion

Les résultats de la modélisation des habitats favorables des sept espèces sous Maxent ont été utilisés comme données d'entrée dans Zonation 3.1.10 (Moilanen *et al.*, 2005). L'analyse a été conduite en donnant une priorité de conservation aux habitats favorables aux sept espèces cibles. En effet, l'algorithme de Zonation produit un classement hiérarchique de la valeur biologique du paysage, par l'enlèvement de façon itérative et une à une des grilles de moindre valeur, en utilisant la minimisation de la perte marginale comme critère de décision de la prochaine grille à enlever. À la fin de l'opération, il est possible d'identifier quelle partie de l'écosystème possède la plus forte priorité de conservation (Moilanen *et al.*, 2005).

Sur la base de la sortie du classement effectué dans le cadre de la présente étude, deux classes d'habitats prioritaires ont été définies. La classe ayant une probabilité en dessous du seuil de 0,85 a été considérée comme relevant d'un habitat non prioritaire aux espèces, et celle située au-dessus de ce seuil correspondait à l'habitat prioritaire (Moilanen *et al.*, 2005). Une analyse des carences de représentation des habitats favorables et prioritaires à chaque espèce cible à l'intérieur des aires protégées a été effectuée en superposant la carte du réseau national des aires protégées du Bénin aux cartes de distribution issues de Maxent. ArcGIS 10.1 a été utilisé pour la cartographie.

Validation du modèle et déterminisme environnemental de présence des espèces

Au seuil de 80 %, l'analyse des corrélations a permis d'identifier six variables moins corrélées et quatre plus prédictives selon les modélisations (tableau III). Le test de Jackknife effectué précise la contribution des variables sélectionnées à la prédiction de la distribution des espèces. Les valeurs moyennes de l'AUC au moins sensiblement égales à 0,90 suggèrent une bonne capacité du modèle à prédire les habitats favorables à chaque espèce. Les résultats révèlent, en termes de déterminisme environnemental, que l'écart diurne de la température (Bio2), les précipitations annuelles moyennes (Bio12), l'évapotranspiration potentielle (ETP) sont les variables les plus prédictives (tableau III). La variable biophysique sol prédit davantage les distributions des sept espèces (tableau III).

Selon Guisan et Zimmermann (2000), les paramètres directs tels que la température et les précipitations sont plus efficaces lorsque la modélisation de la distribution des espèces a une large étendue, contrairement aux paramètres indirects comme le sol qui ne sont pas plus efficaces mais sont plus enclins à introduire des erreurs dans le modèle. Cependant, l'introduction de la variable sol a permis de tenir compte des spécificités locales associées aux variables directes auxquelles elle est corrélée. Par conséquent, cette

Tableau III.

Contribution des variables sélectionnées pour la modélisation et validation du modèle (%).

Variables	Essences						
	<i>Afzelia africana</i>	<i>Anogeissus leiocarpa</i>	<i>Burkea africana</i>	<i>Daniellia oliveri</i>	<i>Detarium microcarpum</i>	<i>Khaya senegalensis</i>	<i>Prosopis africana</i>
Bio2 Écart diurne de la température ; moyenne mensuelle (max-min)	18,10	14,30	32,80	22,30	23,10	20,40	6,20
Bio12 Précipitations annuelles moyennes	8,50	25,80	8,60	6,90	14,30	16,50	10,70
Bio13 Précipitations de la période la plus humide	1,70	0,10	12,40	8,80	1,60	5,40	0,20
ETP (Évapotranspiration potentielle)	2,40	4,20	33,00	7,80	6,00	3,00	0,60
Degré de l'humidité du trimestre humide	11,30	5,30	1,70	1,70	11,70	0,80	0,00
Sol	58,00	52,00	11,4	52,60	43,30	53,90	82,40

variable devrait être plus efficace à des échelles plus petites que l'échelle nationale pour permettre d'ajouter aux distributions les détails qu'elles contiennent. Toutefois, selon Platts et Marchant (2015), à une résolution plus fine de 30 secondes, il n'y a ni agrégation ni réduction, ce qui corrobore la quantité de détails que la variable sol apporte aux contributions.

Distribution des habitats favorables

Les résultats de modélisation montrent globalement que :

▪ *Afzelia africana*

Les habitats qui sont actuellement plus favorables à *Afzelia africana* sont d'étendue variable et localisés à la fois dans les zones guinéo-congolaise (6°25'-7°30'N), soudano-guinéenne (7°30'-9°45'N) et soudanienne (9°45'-12°30'N) du Bénin (tableau IV).

▪ *Anogeissus leiocarpa*

Les habitats qui sont actuellement plus favorables à *Anogeissus leiocarpa* ont une étendue variable et sont localisés à la fois dans les zones guinéo-congolaise (6°25'-7°30'N), soudano-guinéenne (7°54'-9°94'N) et soudanienne (10°10'-12°41'N) du Bénin (tableau IV).

▪ *Burkea africana*

Les habitats qui sont actuellement plus favorables à *Burkea africana* ont une étendue variable et sont localisés à la fois dans les zones guinéo-congolaise (7°43'-7°48'N), soudano-guinéenne (7°80'-10°4N) et soudanienne (9°45'-12°30'N) du Bénin (tableau IV).

▪ *Daniellia oliveri*

Les habitats qui sont actuellement plus favorables à *Daniellia oliveri* sont d'étendue variable et localisés à la fois dans les zones guinéo-congolaise (6°25'-7°40'N), soudano-guinéenne (7°30'-9°45'N) et soudanienne (9°45'-12°30'N) du Bénin (tableau IV).

▪ *Detarium microcarpum*

Les habitats qui sont actuellement plus favorables à *Detarium microcarpum* ont une étendue variable et sont localisés dans une partie de la zone guinéo-congolaise (6°92'-7°60'N), soudano-guinéenne (7°30'-9°45'N) et soudanienne (9°45'-12°30'N) du Bénin (tableau IV).

▪ *Khaya senegalensis*

Les habitats qui sont actuellement plus favorables à *Khaya senegalensis* sont d'étendue variable et localisés dans une partie de la zone guinéo-congolaise (6°92'-7°60'N), soudano-guinéenne (7°54'-9°94'N) et soudanienne (9°30'-12°30'N) du Bénin (tableau IV).

Tableau IV.

Distribution des aires favorables selon les trois zones climatiques du Bénin.

Espèces	Zones climatiques					
	Guinéo-congolaise Habitats favorables		Soudano-guinéenne Habitats favorables		Soudanienne Habitats favorables	
	Latitudes	Aires protégées	Latitudes	Aires protégées	Latitudes	Aires protégées
<i>Afzelia africana</i> (figure 2)	6°25'-7°30'N	FC Djigbé, Lama et Kétou	7°30'-9°45'N	FC Ouari Maro, Monts Kouffé, Agoua, Dogo et Dassa	9°45'-12°30'N	Parcs W, Pendjari et FC Goroubi, Goungou, Mékrou et Trois Rivières
<i>Anogeissus leiocarpa</i> (figure 3)	6°25'-7°30'N	FC Lama et Kétou	7°54'-9°94'N	FC Monts Kouffé, Dogo, Atchérigbé, Dassa et Logozohè	10°10'-12°41'N	Parcs W et Pendjari
<i>Burkea africana</i> (figure 4)	7°43'-7°48'N	FC Kétou	7°80'-10°4N	FC Ouari Maro, Agoua, Dassa et Logozohè	9°45'-12°30'N	Parcs W et Pendjari
<i>Daniellia oliveri</i> (figure 5)	6°25'-7°40'N	FC Kétou	7°30'-9°45'N	FC Ouari Maro, Monts Kouffé, Agoua, Ouémé supérieur, Boukou, Kilibo, Dogo et Dassa	9°45'-12°30'N	FC Goroubi, Goungou, Mékrou et Trois Rivières
<i>Detarium microcarpum</i> (figure 6)	6°92'-7°60'N	FC Lama et Djigbé	7°30'-9°45'N	FC Atchérigbé, Ouari Maro, Monts Kouffé, Agoua, Ouémé supérieur, Boukou, Kilibo, Dogo et Dassa	9°45'-12°30'N	Parcs W, Pendjari et FC Goroubi, Goungou, Mékrou et Trois Rivières
<i>Khaya senegalensis</i> (figure 7)	6°92'-7°60'N	FC Kétou et Ahozon	7°54'-9°94'N	FC Dassa, Atchérigbé et Logozohè	9°30'-12°30'N	Parcs W, Pendjari et FC Goroubi, Goungou, Mékrou et Trois Rivières
<i>Prosopis africana</i> (figure 8)	6°75'-7°61'N	FC Lama et Kétou	7°54'-10°10'N	FC Dassa, Atchérigbé, Logozohè, Agoua	9°34'-12°40'N	Parcs W, Pendjari et FC Goroubi, Goungou, Mékrou et Trois Rivières

FC = forêt classée.

▪ *Prosopis africana*

Les habitats qui sont actuellement plus favorables à *Prosopis africana* ont une étendue variable et sont localisés dans une partie de la zone guinéo-congolaise (6°75'-7°61'N), soudano-guinéenne (7°54'-10°10'N) et soudanienne (9°34'-12°40'N) du Bénin (tableau IV).

Distribution des habitats prioritaires

L'analyse de cette représentation montre l'efficacité du réseau des aires protégées dans la conservation des aires prioritaires aux espèces, surtout dans la zone soudanienne du Bénin. Ainsi, il y a une forte concentration des habitats prioritaires protégés en zone soudanienne (10°00'-12°27'N). Il s'agit des forêts classées de Guéné, de Goroubi

et de Goungou, des zones tampons et cynégétiques de la Pendjari, du Mékrou, et des noyaux des parcs nationaux du W et de la Pendjari (figure 9). Ces aires prioritaires se révèlent dotées d'un grand nombre des essences cibles traitées, et sont donc d'une grande richesse spécifique. Il est urgent que de bonnes politiques de gestion de la biodiversité soient mises en œuvre pour assurer une conservation à long terme des populations des espèces cibles. Dans la zone guinéenne, seule la moitié supérieure (6°50'-7°00'N) de la forêt classée de la Lama est prioritaire (figure 9). Les espèces telles que *Khaya senegalensis*, *Daniellia oliveri*, *Anogeissus leiocarpa* et *Azelia africana* étant de potentielles espèces agroforestières, leur utilisation dans les systèmes agroforestiers en zone guinéenne, où il y a très peu d'aires protégées, pourrait être envisagée dans les politiques de reboisement.

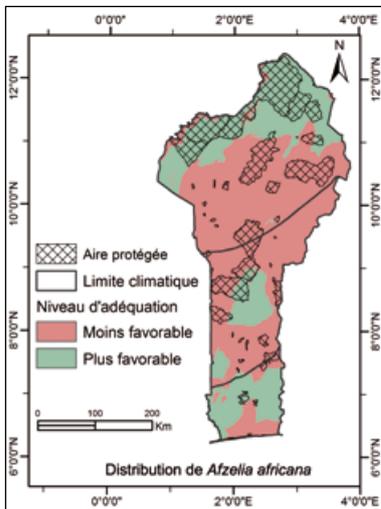


Figure 2. Distribution de *Azelia africana*.

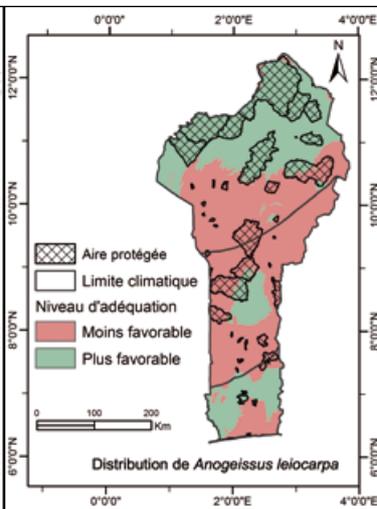


Figure 3. Distribution de *Anogeissus leiocarpa*.

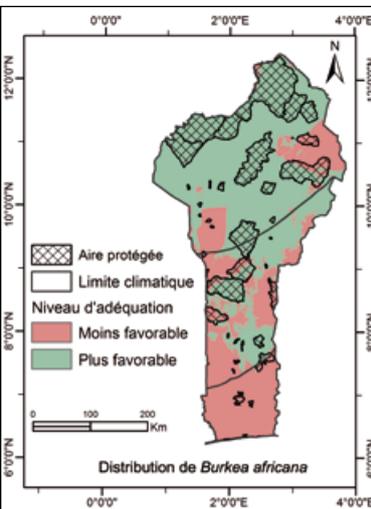


Figure 4. Distribution de *Burkea africana*.

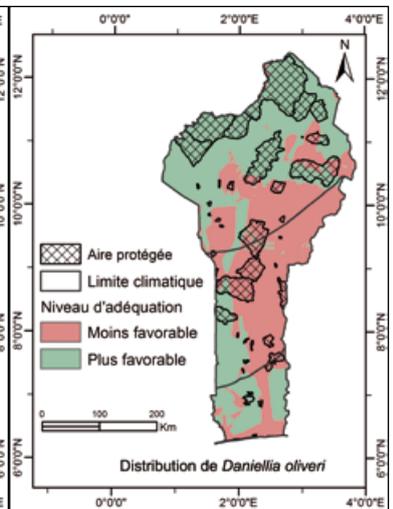


Figure 5. Distribution de *Daniellia oliveri*.

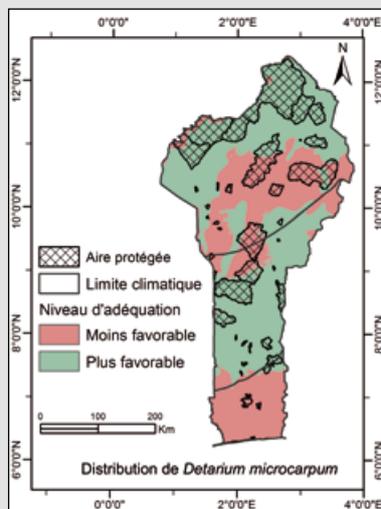


Figure 6. Distribution de *Detarium microcarpum*.

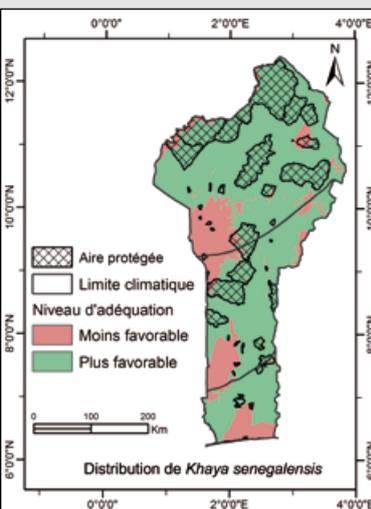


Figure 7. Distribution de *Khaya senegalensis*.

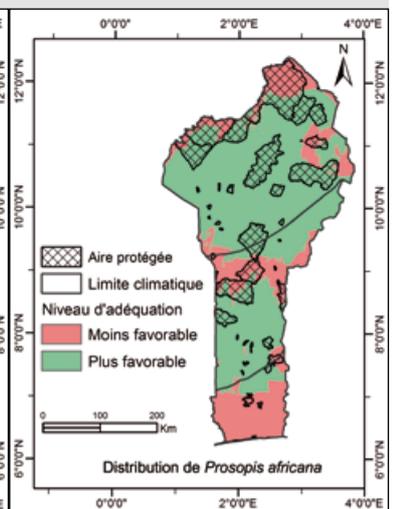


Figure 8. Distribution de *Prosopis africana*.

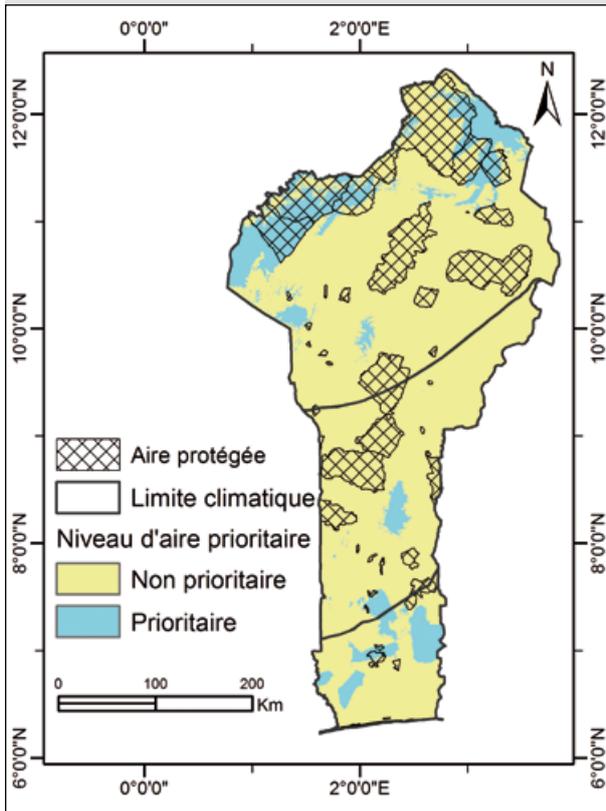


Figure 9.
Réseau des aires protégées prioritaires.

Par ailleurs, en zone soudano-guinéenne, les habitats prioritaires (8°04'-8°50'N) sont des écosystèmes non protégés constitués de formations saxicoles de savanes arborées et arbustives (figure 9). Ainsi, l'enrichissement des aires non protégées dans lesquelles les espèces se trouvent pourrait constituer l'une des mesures de conservation *in situ* des espèces.

Écosystèmes prioritaires et niveau d'anthropisation

Les courbes A et B de la figure 10 montrent la proportion de la distribution restante des espèces lorsque les grilles de moindre valeur sont enlevées de l'écosystème. Au niveau de la courbe A, on observe l'évolution de l'aire des habitats prioritaires de conservation des espèces sous l'emprise anthropique. Avec une diminution allant jusqu'à 40 % de l'aire initiale de distribution favorable aux sept espèces, l'aire de distribution prioritaire presque maximale connaît une diminution de près de 35 %. Entre 40 et 90 % de perte de l'aire initiale favorable aux sept espèces, l'aire prioritaire totale est diminuée de près de 55 %. Au-delà de 90 % de perte de l'aire initiale favorable aux sept espèces, l'aire de distribution prioritaire tend vers zéro (figure 10).

La courbe B représente la moyenne sur toutes les espèces. Lorsque la perte de superficie initiale des écosystèmes est comprise entre 0 et 10 %, presque toutes les sept espèces étudiées

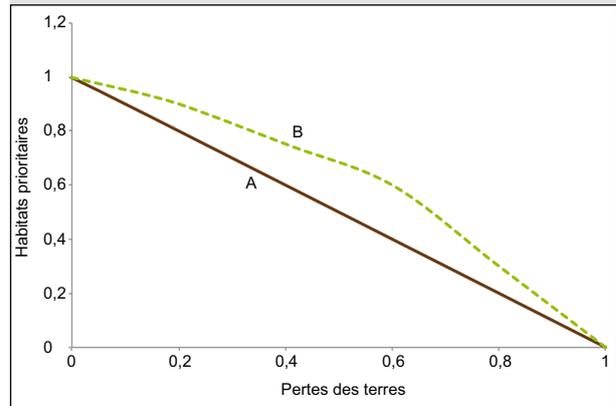


Figure 10.
Aire prioritaire en fonction des pertes d'aires.

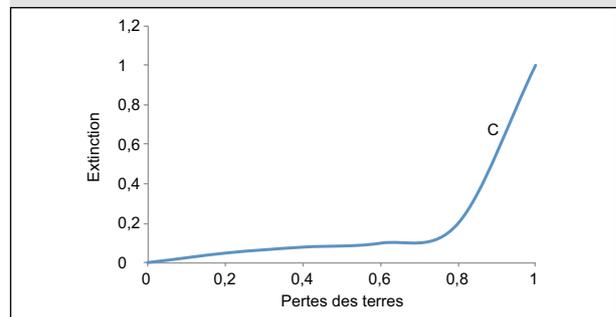


Figure 11.
Vulnérabilité en fonction des pertes d'aires.

sont rencontrées dans l'aire prioritaire ; mais entre 10 et 90 % de perte de l'aire initiale favorable aux sept espèces, les interactions interspécifiques conduisent à une diminution d'environ 70 % des sept espèces étudiées présentes dans les mêmes habitats prioritaires. Au-delà de 90 % de perte de l'aire initiale favorable aux sept espèces, à peine 20 % des espèces étudiées occupent les mêmes habitats prioritaires (figure 10).

Écosystèmes prioritaires et vulnérabilité des espèces étudiées

La courbe C de la figure 11 traduit l'évolution de la probabilité d'extinction des espèces étudiées en fonction de la perte des écosystèmes. Elle est basée sur le ratio entre le nombre d'espèces cibles et la superficie des habitats communs favorables (figure 11).

Pour une diminution proche de 80 % de la superficie initiale des habitats naturels favorables aux sept espèces, les essences étudiées semblent présenter un faible risque d'extinction à l'état sauvage. Par contre, à partir de 80 % de fragilisation des écosystèmes, ces espèces ont un fort taux d'extinction à l'état sauvage. En effet, entre 80 et 95 % de perte de superficie initiale des habitats naturels favorables aux sept espèces, les espèces cibles restent vulnérables avec un taux d'extinction avoisinant 40 %. Au-delà de 95 % de perte de superficie, leur probabilité d'extinction est maximale et tend vers l'unité.

Références bibliographiques

Les incertitudes liées aux distributions

Dans une étude de simulation, les jeux de données dépendent des différentes procédures d'interpolation, des algorithmes d'extraction par satellite ou de la modélisation dynamique (Mackellar *et al.*, 2010). Bien que les estimations au niveau de l'enveloppe climatique puissent soulever quelques incertitudes dans les distributions, ces dernières donnent quand même une meilleure idée pour les prises de décision en matière de conservation. À défaut de connaissance de l'adaptation génétique des espèces, on peut être amené à supposer que ces écotypes locaux pourraient dans une certaine mesure s'adapter aux variabilités du climat lorsque leurs limites de tolérance le permettent. Enfin, certaines données d'occurrence des espèces sont sujettes à des erreurs spatiales et des biais géographiques pouvant réduire l'exhaustivité des distributions. Néanmoins, même avec un niveau modéré d'erreurs spatiales dans les données d'occurrence, le logiciel Maxent qui a été utilisé dans notre étude demeure particulièrement robuste en présence de ces erreurs (Graham *et al.*, 2008).

Conclusion

Les paramètres directs (précipitations annuelles moyennes, évapotranspiration potentielle) et indirect (sol) se sont révélés plus efficaces pour prédire les aires favorables prioritaires dans la conservation des essences étudiées. Dans la zone guinéenne, les habitats plus favorables aux essences étudiées débutent aux limites de la forêt classée de la Kétou (7°80'N). De plus, toutes les essences cibles bénéficient d'habitats plus favorables dans la zone soudano-guinéenne à partir de la latitude de la forêt classée de Dassa (7°8'N), et dans la zone soudanienne à partir de la latitude de la forêt classée des Trois Rivières (10°31'N). Ces zones semblent susceptibles de fournir aux sept essences des conditions climatiques adéquates pour leur culture et leur conservation.

La zone soudanienne (10°00'-12°27'N) se révèle plus concentrée en habitats prioritaires, tandis que, dans la zone soudano-guinéenne, la quasi-totalité des habitats protégés (8°04'-10°50'N) sont non prioritaires pour ces espèces cibles.

Les politiques de restauration associant les stratégies de conservation *in situ* des sept espèces devront privilégier ces zones prioritaires non protégées car elles sont susceptibles de fournir aux espèces des conditions climatiques adéquates. Avec la faible étendue des aires protégées prioritaires en zone guinéenne, l'enrichissement des aires protégées dans lesquelles ces espèces se trouvent en faible densité pourrait également constituer une mesure judicieuse de conservation *in situ* des espèces.

Remerciements

Les auteurs remercient Arouna Basanda et Assouma Bonkanon, éco-gardes du Parc national du W, pour l'aide précieuse apportée lors de la collecte de nos données de terrain.

Adomou C. A., Sinsin B., van der Maesen L. J. G., 2006. Phytosociological and chorological approaches to phytogeography: a meso-scale study in Benin. *Systematics and Geography of Plants*, 76: 155-178.

Adomou C. A., 2005. Vegetation patterns and environmental gradients in Benin. Implications for biogeography and conservation. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, 136 p.

Arbonnier M., 2004. Trees, shrubs and lianas of West African dry zones. Versailles, France, Éditions Quæ, 573 p.

Busby J. R., 1991. BioClima bioclimatic analysis and prediction system. *In*: Margules C. R., Austin M. P. (eds). *Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis*. Canberra, Australie, CSIRO, 64-68.

Butchart S. H. M., Clarke M., Smith R. J., Sykes R. E., Scharlemann J. P. W., Harfoot M. *et al.*, 2015. Shortfalls and solutions for meeting national and global conservation area targets. *Conservation Letters*, 8 (5): 329-337.

Carlos C., Jeffrey R. D., Atte M., 2009. Optimizing resiliency of reserve networks to climate change: multispecies conservation planning in the Pacific Northwest, USA. *Global Change Biology*, 16: 891-904.

Chape S., Spalding M., Taylor M., Putney A., Ishwaran N., Thorsell J. *et al.*, 2008. History, definitions, values and global perspective. *In*: Chape S., Spalding M., Jenkins M. (eds). *The World's Protected Areas Status, Values and Prospects in the 21st Century*. Los Angeles, CA, USA, University of California Press, 1-35.

Deguignet M., Juffe-Bignoli D., Harrison J., MacSharry B., Burgess N., Kingston N., 2014. Liste des Nations Unies des Aires Protégées 2014. Cambridge, Royaume-Uni, UNEP-WCMC.

Elith J., Burgman M. A., Regan H. M., 2002. Mapping epistemic uncertainties and vague concepts in predictions of species distribution. *Ecological Modelling*, 157: 313-329.

Fandohan B., Gouwakinnou G. N., Fonton N. H., Sinsin B., Liu J., 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) : 450-462.

FAO, 2010. Évaluation des ressources forestières mondiales. Rapport national Bénin. Rome, Italie, FAO.

Fitzpatrick M. C., Hargrove W. W., 2009. The projection of species distribution models and the problem of non-analog climate. *Biodiversity Conservation*, 18: 2255-2261.

- Girardello M., Griggio M., Whittingham M. J., Rushton S. P., 2009. Identifying important areas for butterfly conservation in Italy. *Animal Conservation*, 12 (1): 20-28.
- Graham H. G., Elith J., Hijmans R. J., Guisan A., Peterson A. T., Loiseau B. A., The Nceas Predicting Species Distributions Working Group, 2008. The influence of spatial errors in species occurrence data used in distribution models. *Journal of Applied Ecology*, 45: 239-247.
- Guisan A., Hofer U., 2003. Predicting reptile distributions at the mesoscale: Relation to climate and topography. *Journal of Biogeography*, 30: 1233-1243.
- Guisan A., Zimmermann N. E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147-186.
- Hargitt D. L., 1994. Conservation of biodiversity: Corridors, an alternative to fragmented ecosystems? Msc Thesis. Vrije Universiteit Brussel, Belgique, 65 p.
- Hilton-Taylor C., 2000. 2000 IUCN red list of threatened species. Gland, Suisse, IUCN, 61 p.
- Houehanou T. D., Glèlè Kakaï R. L., Assogbadjo A. E., Kindomihou V., Houinato M., Wittig R., Sinsin B. A., 2013. Change in the woody floristic composition, diversity and structure from protected to unprotected savannahs in Pendjari Biosphere Reserve (Benin, West Africa). *African Journal of Ecology*, 51: 358-365.
- Liu C., White M., Newell G., 2013. Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *Journal of Biogeography*, 40: 778-789.
- Mackellar N., Christensen J. H., Lucas-Picher P., 2010. Modèles, projections et incertitudes climatiques en Afrique sub-saharienne. Introduction pour les chercheurs et les décideurs. Programme CCDARE, Programme conjoint PNUE/PNUD, 26 p.
- McNeely J. A., 1996. Conservation and future: trends and options toward the year 2025. A discussion paper. Gland, Suisse, IUCN, 66 p.
- Moilanen A., Meller L., Leppänen J., Montesino Pouzols F., Arponen A., Kujala H., 2012. Zonation: spatial conservation planning framework and software version 3.1. User manual. Helsinki, Finlande, Edita, 287 p.
- Moilanen A., Franco A. M. A., Early R., Fox R., Wintle B., Thomas C. D., 2005. Prioritising multiple-use landscapes for conservation: methods for large multi-species planning problems. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Science*, 272: 1885-1891.
- Noelia Z., Rowena C., Trevon F., Jorge M. L., Miguel Á. R., Sahotra S., 2010. Prioritizing areas for conservation and vegetation restoration in post-agricultural landscapes: a Biosphere Reserve plan for Bioko, Equatorial Guinea. *Biological Conservation*, 143: 787-794.
- Pawar S., Koo M. S., Kelley C., Firoz Ahmed M., Chaudhury S., Sarkar S., 2007. Conservation assessment and prioritization of areas in Northeast India: Priorities for amphibians and reptiles. *Biological Conservation*, 136: 346-361.
- 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 Biogeography*, 12: 361-371.
- Phillips S. J., Anderson R. P., Schapire R. E., 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190: 231-259.
- Platts P. J., Marchant R. A., 2015. AFRICLIM: High-resolution climate projections for ecological applications in Africa. *African Journal of Ecology*, 53: 103-108.
- Sala E., Ballesteros E., Starr R. M., 2001. Rapid decline of Nassau grouper spawning aggregations in Belize: fishery management and conservation needs. *Fisheries*, 26: 23-30.
- Zafra-Calvo N., Cerro R., Fuller T., Lobo J. M., Rodríguez M. Á., 2010. Prioritizing areas for conservation and vegetation restoration in post-agricultural landscapes: A Biosphere Reserve plan for Bioko, Equatorial Guinea. *Biological Conservation*, 143: 787-794.
- Warren D. L., Glor R. E., Turelli M., 2010. ENMTools: a toolbox for comparative studies of environmental niche models. *Ecography*, 33 : 607-611.