

MODÉLISATION DES NICHE ÉCOLOGIQUES DES LIGNEUX FOURRAGERS EN  
CONDITION DE VARIABILITÉ BIOCLIMATIQUE DANS LE MOYEN-BÉNIN (AFRIQUE  
DE L'OUEST)A.R.A. SALIOU<sup>1,2\*</sup>, M. OUMOROU<sup>1,2</sup> & B.A. SINSIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LaRBA/EPAC/UAC), 01 BP 2009, Cotonou, Bénin. E-mail : madjidou.oumorou@gmail.com

<sup>2</sup> Laboratoire d'Écologie Appliquée (LEA/FSA/UAC), 02 BP 388 Parakou, Bénin. E-mails : salitour2005@yahoo.fr ; bsinsin@gmail.com

\* Auteur correspondant : 02 BP 388 Parakou, Bénin. E-mail : salitour2005@yahoo.fr.

**SUMMARY.**— *Modelling tree fodder ecological niches in variable climatic conditions in Middle Benin (West Africa).*— Tree fodder conservation is a great way for better management of rangelands' biodiversity and for sustaining pastoralists' livelihoods. Mastering their geographical distribution is essential to understand to what extent they are tolerant to environmental factors and to predict their dynamics. In Middle Benin tree fodder ecological niche was modelled as a function of environmental parameters that predict tree fodder probability of occurrence in the grazing areas used by pastoralists during transhumance. The model specifically addresses tree fodder potential distribution and its probability till 2050. Climate Model MIROC was used for this purpose with two climate scenarios from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), namely: 2.6 and 8.5. Over the nineteen bioclimatic variables and three environmental parameters tested, five bioclimatic variables and two environmental parameters that contributed most to the model were retained. Three areas of potential distribution of different tree fodder: very lowly favourable ( $0.1 < P < 0.4$ ), moderately positive ( $0.4 < P < 0.7$ ) and very favourable areas ( $P > 0.7$ ), were distinguished both in the present and in the future (2050).

**RÉSUMÉ.**— La conservation des ligneux fourragers est un bon moyen de gestion rationnelle de la biodiversité des parcours naturels et de durabilité des modes d'existence des éleveurs transhumants. La maîtrise de leur distribution géographique s'avère indispensable pour comprendre leur domaine de tolérance vis-à-vis des facteurs environnementaux et prédire leur dynamique. La modélisation de la niche écologique des ligneux fourragers dans le Moyen-Bénin a permis de construire une fonction de paramètres environnementaux qui prédit la probabilité de présence de ces ligneux dans les parcours de transhumance de bétail. Elle aborde de façon spécifique la distribution potentielle des ligneux fourragers et leur prédiction à l'horizon 2050. Le Modèle climatique MIROC a été utilisé à cet effet avec deux scénarii climatiques du Groupe Intergouvernemental d'évolution du Climat (GIEC) à savoir: 2.6 et 8.5 à l'horizon 2050. Sur les dix-neuf variables bioclimatiques et trois paramètres environnementaux testés, cinq variables bioclimatiques et deux paramètres environnementaux ayant le plus contribué au modèle ont été retenus. Trois zones de distribution potentielle des différents ligneux fourragers : très peu favorables ( $0,1 < P < 0,4$ ), moyennement favorables ( $0,4 < P < 0,7$ ), et très favorables ( $P > 0,7$ ) ont été distinguées aussi bien dans le présent que dans le futur.

---

Toute espèce vivante ne peut accomplir son cycle biologique et sa reproduction qu'à l'intérieur d'une plage limitée de variations environnementales d'origine abiotique et biotique. Grinnell (1924) a proposé le concept de niche écologique pour désigner cette plage de variations environnementales compatible avec la présence d'une espèce. La compréhension du fonctionnement de ce système qui détermine la distribution géographique des espèces végétales n'est possible que par la modélisation des paramètres environnementaux et de présence des espèces végétales (Carpenter *et al.*, 1993).

La modélisation de la niche écologique est un outil d'étude empirique de la distribution environnementale des espèces ; les modèles obtenus peuvent être utilisés pour tester, par une approche statistique, des hypothèses en écologie et en biogéographie (Sampoux & Huyghe, 2009).

Ces modèles vont également apporter une meilleure compréhension de l'écologie des espèces et permettre des prédictions plus fiables.

Au Bénin, plusieurs travaux sur la productivité et la typologie des pâturages, parmi lesquels ceux de Sinsin & Oumorou (2000), Houinato & Sinsin (2000), se sont attachés à déterminer l'influence de la pluviosité sur la productivité des pâturages. Ils ont montré que la quantité de pluie et sa répartition déterminent la variation de la biomasse végétale. Cependant, très peu de recherches ont porté sur la modélisation de la niche écologique des espèces fourragères. Afin d'évaluer les impacts des facteurs bioclimatiques et environnementaux sur la distribution géographique des espèces ligneuses fourragères la présente étude a été conduite en utilisant le modèle de Maximum Entropy afin de mieux comprendre les niches écologiques de *Azelia africana*, *Daniellia oliveri*, *Pterocarpus erinaceus* et *Khaya senegalensis* dans le Moyen-Bénin.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

### MATÉRIEL

Le matériel utilisé prend en compte le site d'étude, les données d'occurrence des espèces fourragères et les variables environnementales et bioclimatiques qui participent à la distribution des espèces.

#### Site d'étude

L'étude s'est déroulée dans la zone de transition soudano-guinéenne du Moyen-Bénin, située entre 7°10' et 10°05'N et 1°20' et 03°45'E (Fig. 1).

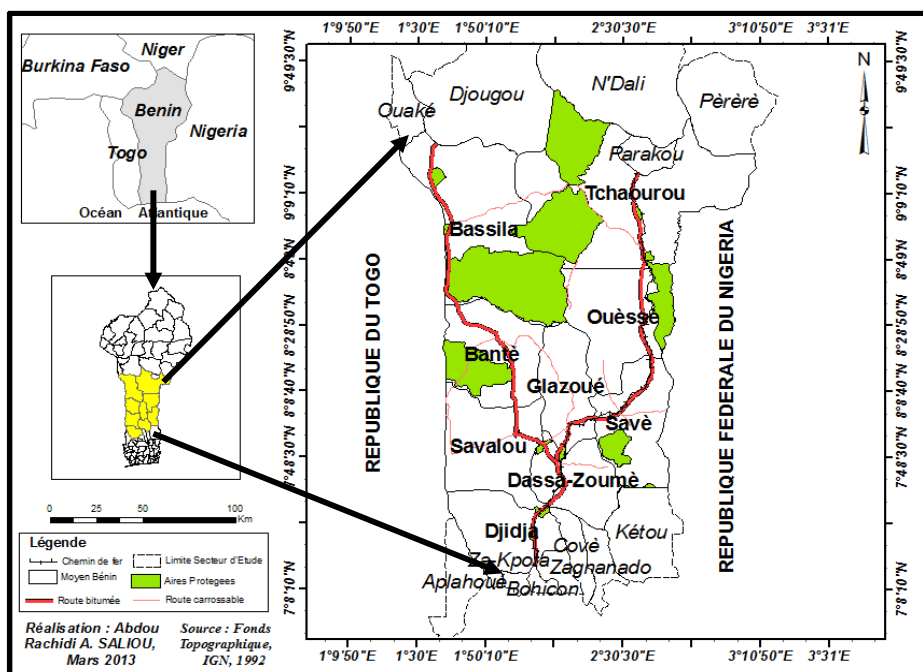


Figure 1.— Carte de situation du Moyen-Bénin.

#### Données d'occurrence de l'espèce

Les données d'occurrence liées à *Azelia africana*, *Daniellia oliveri*, *Pterocarpus erinaceus* et *Khaya senegalensis* ont été prises à l'aide d'un GPS. Afin de maximiser la précision des résultats de la modélisation de leur distribution, il est recommandé de veiller à ce que les données de présence (coordonnées) des espèces étudiées couvrent le plus possible les

régions où elles sont influencées par les mêmes facteurs climatiques. De ce fait, les coordonnées de présence de ces espèces hors du milieu d'étude, mais dans les mêmes zones climatiques couvertes, ont été collectées à travers son aire de distribution en Afrique de l'Ouest. Il s'agit du Togo, du Niger, du Burkina-Faso, du Ghana, et du Nigeria. Ces données additionnelles ont été obtenues en explorant des bases de données de biodiversité en ligne telles que le GBIF (Global Biodiversity Information Facility : <http://www.gbif.org/>).

La collecte des données liées aux coordonnées des points d'occurrence de ces différentes espèces a été effectuée de septembre 2013 à avril 2014. Les points de contact de chacune de ces espèces sur le terrain sont pris tous les 500 m le long de transects situés sur les couloirs de passage de bétail dont les largeurs varient entre 25 et 30 m. Des coordonnées des différentes espèces issues de l'inventaire forestier de 2013 dans les forêts villageoises de Idadjo, Boé et forêt classée de Pénésoulou, respectivement dans les communes de Ouèssè, Tchaourou et Bassila, ont été exploitées à cet effet.

### *Variables environnementales et bioclimatiques*

Les 22 variables environnementales obtenues à partir des données brutes de Worldclim ont été interpolées des ensembles de données globales de climat à une résolution de 0,05 ou de 5 km<sup>2</sup> approximativement (Hijmans *et al.*, 2005) ; avec le modèle climatique MIROC. Ces couches de variables ont été coupées sur les limites du Moyen-Bénin (7°10'-10°05'N et 1°20'-03°45'E) grâce au logiciel ArcGis 10.1. Sur les quatre scénarii d'émission de Gaz à Effet de Serre, RCP (Representative Concentration Pathways) disponibles ; deux dont l'un optimiste (RCP 2.6) et l'autre pessimiste (RCP 8.5) (Nigel *et al.*, 2011) ont été choisis pour faire tourner le modèle. Les tableaux I et II présentent respectivement les variables environnementales et les scénarii d'émission de Gaz à Effet de Serre.

TABLEAU I

*Variables environnementales et bioclimatiques utilisées dans le modèle (Source : Worldclim ; Hijmans et al., 2005)*

Code	Paramètres environnementaux et bioclimatiques	Code	Paramètres environnementaux et bioclimatiques
Bio_1	Température moyenne annuelle	Bio_12	Précipitation annuelle
Bio_2	Variation journalière moyenne des températures (moyenne mensuelle)	Bio_13	Précipitation du mois le plus humide
Bio_3	Ratio de l'amplitude thermique journalière sur l'amplitude thermique annuelle	Bio_14	Précipitation du mois le plus sec
Bio_4	Saisonnalité de la température (écart-type * 100)	Bio_15	Saisonnalité de la précipitation (coefficient de variation)
Bio_5	Température maximale du mois le plus chaud	Bio_16	Précipitation du trimestre le plus humide
Bio_6	Température minimale du mois le plus froid	Bio_17	Précipitation du trimestre le plus sec
Bio_7	Variation annuelle de température	Bio_18	Précipitation du trimestre le plus chaud
Bio_8	Température moyenne du trimestre le plus humide	Bio_19	Précipitation du trimestre le plus froid
Bio_9	Température moyenne du trimestre le plus sec	Land-cover	Couverture du sol
Bio_10	Température moyenne du trimestre le plus chaud	Alt	Altitude
Bio-11	Température moyenne du trimestre le plus froid	Soil	Nature du sol

TABLEAU II

*Caractéristiques principales des profils représentatifs de l'évolution de la concentration de GES, Ozone, Aérosols pour la période 2006-2300 (Source : Moss et al., 2010)*

Nom	Forçage radiatif	Concentration de GES (ppm)	Trajectoire
RCP 8.5	> 8,5 Wm <sup>2</sup> en 2100	> 1370 eq-CO <sub>2</sub> en 2100	Croissante
RCP 2.6	Pic à ~ 3 Wm <sup>2</sup> avant 2100 puis déclin	Pic ~ 490 eq-CO <sub>2</sub> avant 2100 puis déclin	Pic puis déclin

### MÉTHODE

L'approche méthodologique appliquée est celle de la modélisation environnementale avec le modèle Maximum Entropie. À cet effet, les données collectées ont été saisies dans un fichier Excel puis converties en format .csv, compatible avec l'algorithme MaxEnt du modèle.

Pour sélectionner les variables bioclimatiques et environnementales à inclure dans le modèle, toutes les variables ont été au départ soumises à une analyse de corrélation afin d'éliminer celles qui sont corrélées entre elles au seuil de corrélation (0,80 %) proposé par (Elith *et al.*, 2010). Ensuite, on a fait tourner le modèle avec 80 % des données pré-traitées, et les 20 % restantes sont réservées pour sa validation. Les redondances à l'intérieur de la grille des variables ont été éliminées en appliquant la fonction « remove duplicate » du modèle.

Une évaluation du modèle a été faite aussi grâce à l'indice « Receiver Operating Characteristics Curve » (ROC) obtenu par calcul de l'aire située sous la courbe (AUC). Les indices de probabilité générés par le modèle ont été convertis en raster.

### *Présentation du modèle*

Diverses méthodes statistiques ont été utilisées pour modéliser la distribution spatiale des ligneux fourragers et la répartition de leurs habitats favorables. La particularité du modèle Maximum Entropie réside dans sa capacité de fonctionner aussi bien avec des données continues qu'avec des données catégorielles (Phillips *et al.*, 2006). Cette méthode de modélisation a été choisie parce qu'elle ne requiert pas de données d'absence difficiles à collecter (Urbina-Cardona & Loyola, 2008) et qui, si elles sont disponibles, peuvent être de valeur incertaine dans beaucoup de situations (Anderson *et al.*, 2003). Elle présente par ailleurs une bonne performance pour la prédiction de la distribution des espèces dans des paysages très peu étudiés (Hernandez *et al.*, 2008).

Nous avons exécuté MaxEnt en mode « auto-features » (dispositifs automatiques) tel que suggéré par Phillips & Dudic (2008). En effet, d'après ces auteurs, l'utilisation des options par défaut est raisonnable étant donné qu'elle a été validée dans d'autres études sur un large éventail d'espèces, et de conditions environnementales, ainsi que dans les cas d'échantillonnages biaisés.

### *Évaluation du modèle*

Les valeurs de l'AUC sont interprétées tel que proposé par Swets (1988) :  $AUC < 0,75$  : le modèle est mauvais ;  $0,75 \leq AUC \leq 0,90$  : le modèle est passable ;  $AUC > 0,90$  : le modèle est bon. L'évaluation du modèle a été complétée par l'appréciation de la contribution de chaque variable ayant participé à l'exécution du modèle à partir du test de jackknife. Les données de probabilité de distribution générées par le modèle ont été cartographiées à l'aide du logiciel ArcGISv10.

### *Cartographie et analyse spatiale*

L'étendue de chaque type d'habitat sous les conditions climatiques actuelles a été estimée et les résultats de modélisation produits sous Maxent ont été importés dans ArcGIS 10 pour leur cartographie.

## RÉSULTATS

La modélisation des 1365 enregistrements de présence de ligneux fourragers *Afzelia africana* (278), *Daniellia oliveri* (412), *Pterocarpus erinaceus* (325) et *Khaya senegalensis* (350) a permis de mettre en évidence les variables bioclimatiques et environnementales qui ont le plus contribué à leur distribution potentielle.

### SÉLECTION DES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

Au total 7 variables environnementales (5 bioclimatiques, 1 pédologique, 1 sur la couverture du sol) ont été sélectionnées. Ces variables ont été retenues pour faire tourner à nouveau le modèle. Il s'agit de : bio17, bio19, bio4, bio12, bio13, soil, Landcover.

### IMPORTANCE DES VARIABLES DANS L'EXÉCUTION DU MODÈLE

Les variables qui ont le plus contribué à l'édification du modèle sont bio17 avec 39.2 %, bio19 avec 24,8 %, et bio4 avec 15.7 %. L'importance de ces variables a été appréciée à partir du test de jackknife dont l'analyse, présentée par la figure 2, montre que les variables ayant le plus contribué au développement du modèle lorsqu'elles sont isolément utilisées sont, par ordre d'importance, bio17, bio4, bio19 pour *Afzelia africana* ; bio17, bio19, bio4, pour *Daniellia oliveri* ; bio19, bio17, bio4 pour *Pterocarpus erinaceus* ; bio19, bio17 pour *Khaya senegalensis*.

Pour chaque variable environnementale, la barre verte montre de combien le gain total a diminué si cette variable spécifique est exclue de l'analyse. Quant à la barre bleue, elle présente le gain obtenu si une variable est utilisée isolément et les variables restantes sont exclues de l'analyse.

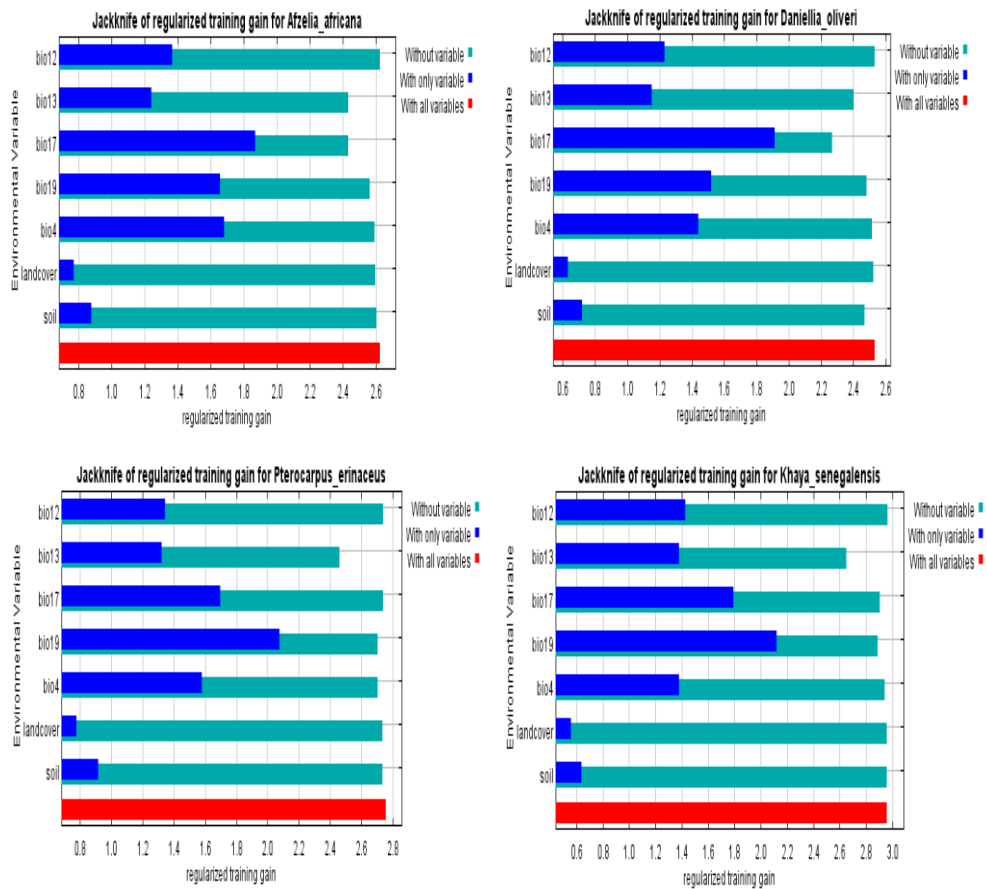


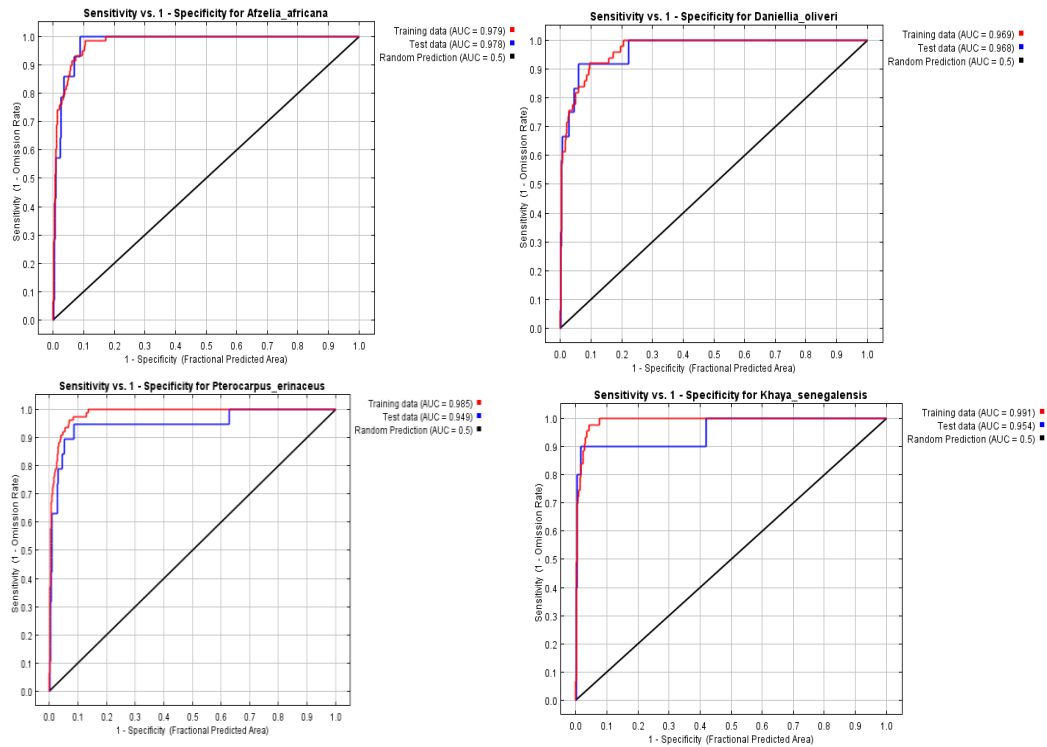
Figure 2.— Test de Jackknife sur la contribution du modèle à la distribution d'*Afzelia africana*, de *Daniellia oliveri*, de *Pterocarpus erinaceus* et de *Khaya senegalensis*.

#### VALIDATION DU MODÈLE

La qualité du modèle et les résultats obtenus ont été respectivement validés l'une par l'AUC, les autres par des observations de terrain.

Les valeurs de l'AUC issues de la mise en œuvre du modèle Maxent et de son test respectivement pour *Afzelia africana* (0.979 et 0.978), *Daniellia oliveri* (0.969 et 0.968), *Pterocarpus erinaceus* (0.985 et 0.949) et *Khaya senegalensis* (0.991 et 0.954) (Fig. 3), confirment la bonne performance de l'algorithme Maxent à capturer les variations des données environnementales (Fig. 3).

Après l'obtention des résultats du modèle de distribution des ligneux fourragers *Afzelia africana*, *Daniellia oliveri*, *Pterocarpus erinaceus* et *Khaya senegalensis* dans le Moyen-Bénin, une étape de vérité terrain des résultats s'en est suivie. La vérification effective avec les coordonnées des 20 % des points réservés, et 150 points géoréférencés de prédiction de présence et d'absence, tirés au hasard, ont servi de confirmation ou d'infirmité dans les neuf communes de la zone de transition soudano-guinéenne (7°10'N - 10°05'N) du Moyen-Bénin. Cette vérité terrain a révélé une concordance à 85 % avec les points de contrôle. Les 15 % de points discordants ont été corrigés en absence ou présence avant l'établissement définitif des cartes de distribution.



Figures 3.— Courbe de la valeur moyenne de l'AUC du modèle de distribution d'*Afzelia africana* de *Daniellia oliveri* de *Pterocarpus erinaceus* et de *Khaya senegalensis*

#### DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE DES LIGNEUX FOURRAGERS DANS LE MOYEN-BÉNIN

Deux différentes formes de distribution ont été considérées dans la modélisation des espèces fourragères. Il s'agit des distributions présente et future.

##### *Distribution potentielle présente des espèces ligneuses fourragères*

Trois zones de distribution des différents ligneux fourragers dont peu favorables ( $0,1 < P < 0,4$ ), moyennement favorables ( $0,4 < P < 0,7$ ), très favorables ( $P > 0,7$ ) ont été distinguées (Fig. 4).

Dans l'ensemble pour toutes les espèces ligneuses fourragères présentes, l'aire de *Khaya senegalensis* est plus étendue que celle des autres espèces avec un fort potentiel d'habitat sur de grandes superficies (19,96 % ; 29,97 % ; 50,07 %). Ceci est lié aux conditions bioclimatiques très propices à son développement.

On note ensuite un potentiel moyen de présence de *Daniellia oliveri* (11,57 % ; 41,17 % ; 47,26 %) et *Pterocarpus erinaceus* (16,99 % ; 41,02 % ; 41,99 %) sur une superficie importante et une faible distribution de *Afzelia africana* (14,32 % ; 32,64 % ; 53,04 %) dans le secteur d'étude.

##### *Distribution potentielle future des espèces ligneuses fourragères avec le modèle MIROC dans le Moyen-Bénin*

La prédiction de la distribution des ligneux fourragers réalisée à partir de deux scénarii de IPCC avec le modèle MIROC à l'horizon 2050 a permis de mettre en évidence leurs habitats potentiels futurs.

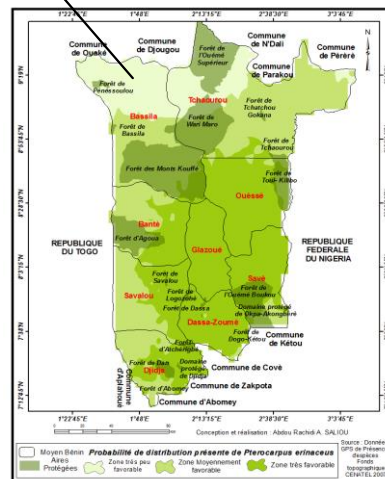
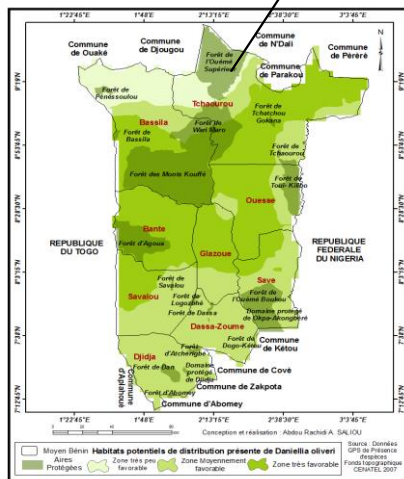
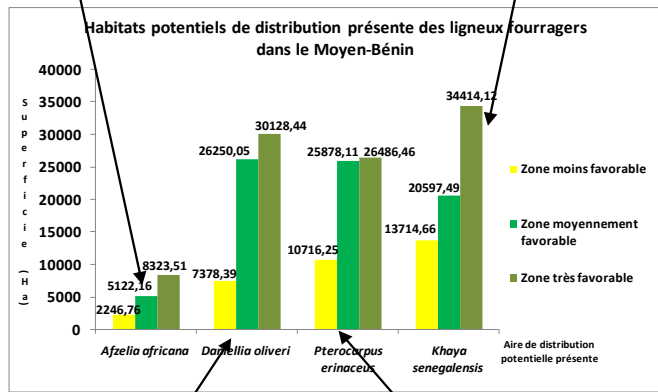
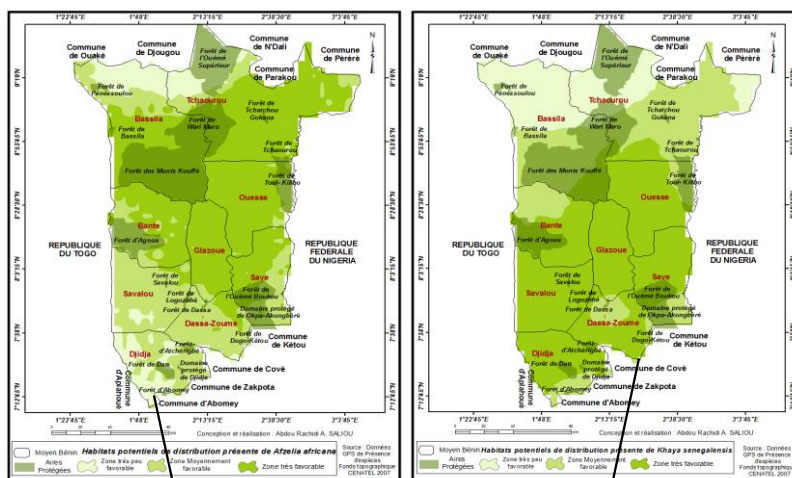


Figure 4.— Aires de distribution géographique présente de *Afzelia africana*, *Daniellia oliveri*, *Khaya senegalensis* et *Pterocarpus erinaceus* dans le Moyen-Bénin.

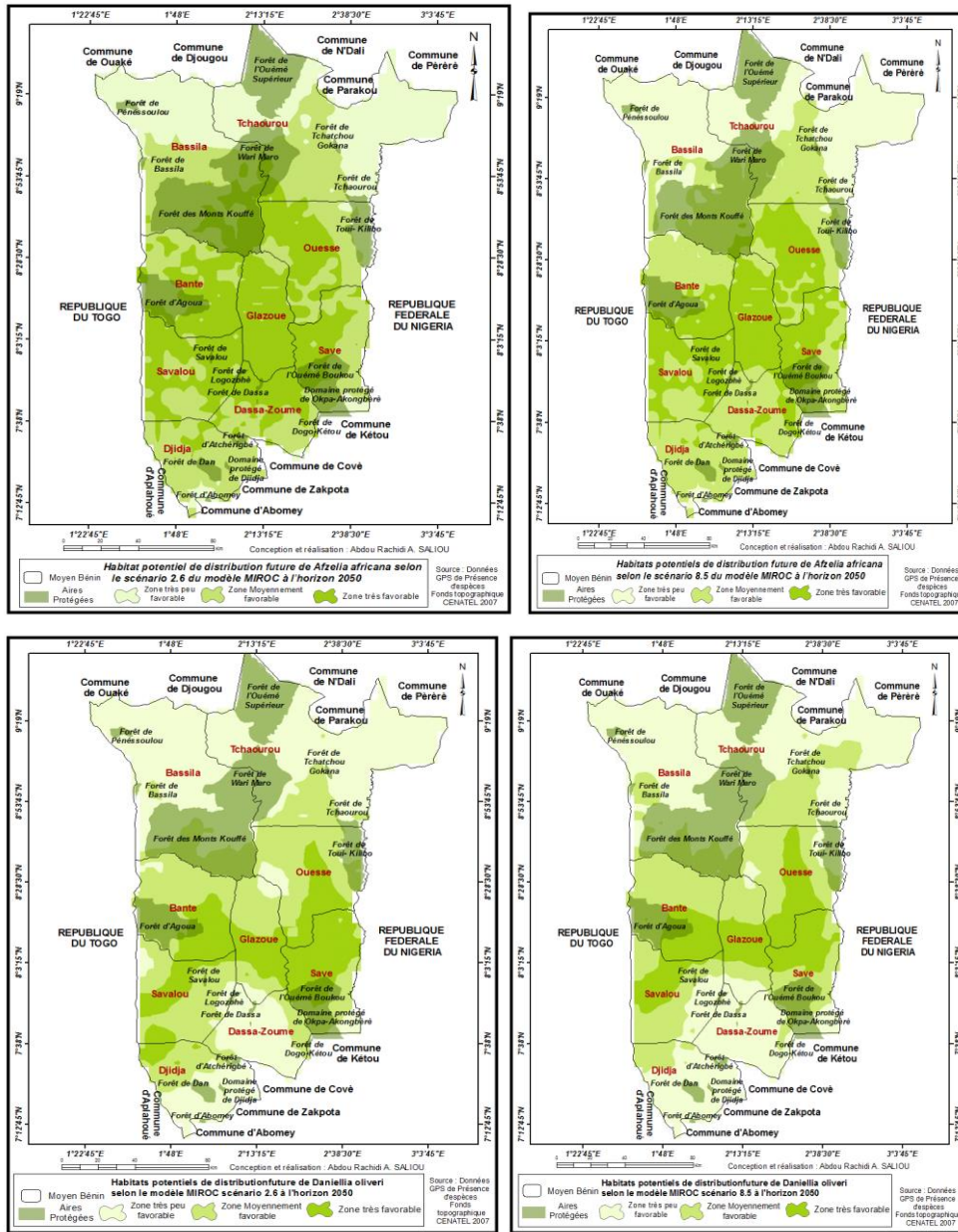


Figure 5.— Prédiction de distribution d'*Afzelia africana* (haut) et de *Daniellia oliveri* (bas) selon les scénarii 2.6 et 8.5 du modèle climatique MIROC de IPCC

### Prédiction de distribution d'*Afzelia africana* et de *Daniellia oliveri* à l'horizon 2050

Selon le scénario 2.6 du modèle climatique Miroc, *Afzelia africana* sera présent dans la plupart des aires protégées, menacé au nord de la zone d'étude et plus étendu vers la partie sud. Quant au scénario 8.5 l'espèce sera très menacée, même dans les aires protégées (Fig. 5).



Quel que soit le scénario, le modèle prédit la distribution future de *Daniellia oliveri* uniquement dans la partie centrale. L'espèce sera beaucoup plus menacée dans les parties septentrionale et méridionale de la zone d'étude (Fig. 5).

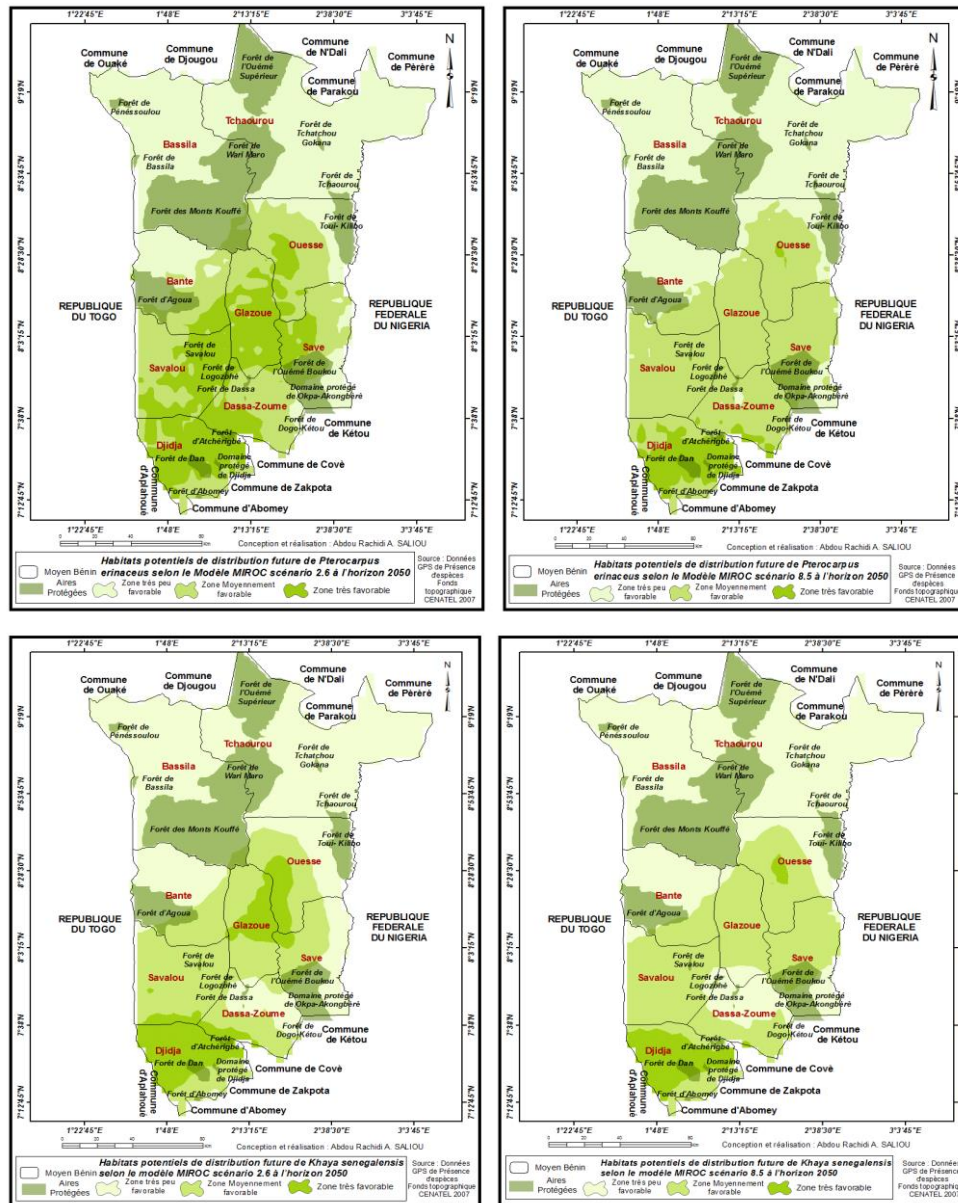


Figure 6.— Prédiction de distribution de *Pterocarpus erinaceus* (haut) et de *Khaya senegalensis* (bas) selon les scénarii 2.6 et 8.5 du modèle climatique MIROC de IPCC

### Prédiction de distribution de *Pterocarpus erinaceus* et de *Khaya senegalensis* à l'horizon 2050

Le scénario 2.6 du modèle climatique prédit une forte présence future de *Pterocarpus erinaceus* dans les parties centrale et méridionale du secteur d'étude. On assistera par contre avec

le scénario 8.5 à une forte menace de l'espèce beaucoup plus au nord et au centre (Fig. 6). *Khaya senegalensis* quant à lui, sera menacé dans la partie septentrionale du secteur d'étude. Sa niche écologique sera réduite à une partie de la partie centrale (commune de Glazoué, Ouèssè, Savè), à la partie méridionale (commune de Djidja) et également dans les aires protégées supposées beaucoup plus l'abriter (Fig. 6).

## DISCUSSION

La qualité du modèle est évaluée à travers l'AUC. Swets (1988) propose pour assurer la fiabilité du modèle des valeurs de l'AUC > 0,90. Pour les quatre espèces étudiées les valeurs sont supérieures à 0,90, ce qui témoignerait donc de la bonne qualité du modèle à prédire la distribution des espèces.

Du fait que la modélisation de la distribution potentielle de *Afzelia africana*, *Daniellia oliveri*, *Pterocarpus erinaceus* et *Khaya senegalensis* ait pris en compte les facteurs limitants les plus importants dans la distribution des espèces (température et précipitation), du crédit peut être accordé à la qualité des résultats obtenus. Cependant, la prise en compte dans le modèle de l'évaporation, représentant un facteur lié à la transpiration des végétaux (Oumorou, 2003), et de la topographie comme un élément influent de l'environnement de distribution des espèces (Phillips & Dudík, 2008) pourrait améliorer davantage les résultats.

Maxent présente certains points forts qui se traduisent par son aptitude à intégrer comme « Input » des données de présence en complément des variables environnementales sur la zone d'étude (Lahoz-Monfort *et al.*, 2010 ; Pearson *et al.*, 2006 ; Peck *et al.*, 2010). Il peut donc se passer de données d'absence pour son fonctionnement (Phillips *et al.*, 2004 ; Thorn *et al.*, 2009). L'avantage de Maxent réside également dans sa facilité à accepter pour la modélisation aussi bien des données quantitatives que qualitatives. Thorn *et al.* (2009) conseillent l'utilisation de Maxent dans les études de distribution géographique des espèces. Des algorithmes déterministes efficaces ont été développés, et garantissent une convergence vers la distribution optimale par le modèle (Elith *et al.*, 2011).

Cependant, certaines limites sont à relever dans l'application du modèle Maxent. Il développe une approche statistique récente et très jeune, qui n'est pas encore aussi éprouvée que celle d'autres modèles plus traditionnels, tels que les modèles linéaires généralisés ou les modèles additifs généralisés. Une trop forte autocorrélation spatiale dans les données d'observation peut introduire des biais dans les prédictions (Peck *et al.*, 2010).

La modélisation des niches écologiques a souvent été citée comme un puissant outil pour cartographier la distribution actuelle et future des espèces et prédire l'impact des changements climatiques sur leur distribution (Van Zonneveld *et al.*, 2009). Cependant, ces modèles ont aussi été très critiqués compte tenu de leurs faiblesses quant à prédire l'impact des changements climatiques sur la répartition géographique des espèces. Au nombre de ces faiblesses, on peut citer les incertitudes liées aux modèles utilisés, les difficultés à paramétrer les interactions écologiques, les réponses idiosyncratiques individuelles des espèces aux changements climatiques, les limitations de disséminations spécifiques à chaque espèce, la plasticité des limites physiologiques et les réponses adaptatives des agents disséminateurs (Schwartz, 2012). Par ailleurs, le postulat de base selon lequel le climat actuel où une espèce est rencontrée (sa niche réalisée actuelle) est sa niche originelle, est également discutable. Il est en effet possible qu'au moment de l'établissement de l'espèce dans ses zones d'occurrence actuelles, le climat ait été très différent (plus humide ou plus sec) et que sa présence actuelle implique plusieurs millénaires d'adaptation à différents changements climatiques. Il serait donc hasardeux de prédire une disparition des espèces de leurs aires actuelles à l'horizon 2050. Malgré ses faiblesses, ce modèle procure des informations

bioclimatiques très importantes en matière de prise de décisions, notamment pour identifier de nouvelles zones potentiellement favorables à la conservation d'une espèce donnée (Schwartz, 2012).

Dans leur note thématique sur les ressources génétiques au Bénin Agbahungba *et al.* (2001) révèlent que les principales espèces utilisées comme ligneux fourragers sont *Afzelia africana*, *Pterocarpus erinaceus* et *Khaya senegalensis*. Pour ces auteurs, les menaces qui pèsent sur les ligneux fourragers peuvent se résumer en la destruction de leur habitat à la faveur d'activités incontrôlées et consommatrices de l'espace comme l'agriculture, l'exploitation forestière anarchique. Ces activités dans leur action accentuent la variabilité climatique qui, à son tour, détermine la distribution de ces espèces. Certains auteurs, dont Onibon, (1999), évoquent l'influence de l'élevage dans la dégradation des ligneux fourragers. On note l'effet de l'émondage de *Afzelia africana*, *Pterocarpus erinaceus* et *Khaya senegalensis* (Gaoué & Sogbohossou, 2001). Pour les deux premières espèces des plus exposées à l'échelle du pays, selon leurs cartes de vulnérabilités les menaces semblent s'accroître en allant vers les latitudes élevées avec une très faible régénération (Sinsin *et al.*, 2000). Selon les critères de l'UICN, *Afzelia africana* et *Khaya senegalensis* sont des espèces gravement menacées d'extinction, principalement par des activités anthropiques comme l'agriculture extensive et l'exploitation forestière qui accentuent la variabilité climatique de leurs habitats (Sinsin *et al.*, 2000).

## CONCLUSION

L'étude de la niche écologique des ligneux fourragers les plus sollicités pendant les périodes de transhumance dans le Moyen-Bénin a mis en exergue le lien existant entre le climat et la distribution de ces ligneux. La modélisation de l'évolution des paramètres de l'environnement révèle que ces espèces devraient à l'avenir se déplacer vers le sud, beaucoup plus pluvieux.

La démarche méthodologique adoptée dans ce travail conduit à une approche globalement satisfaisante de la distribution des espèces en fonction des facteurs écologiques. De telles études pourront servir de support de prise de décision pour assurer une gestion durable des ressources fourragères.

## REMERCIEMENTS

Nous témoignons toute notre gratitude à l'Université d'Abomey-Calavi pour avoir appuyé financièrement (Programme MDP 3C) notre thèse dont cet article fait partie et les deux relecteurs anonymes qui ont commenté diverses versions de ce texte.

## RÉFÉRENCES

- AGBAHUNGBA, G., SOKPON, N. & GAOUÉ, O.G. (2001).— *Situation des ressources génétiques forestières du Bénin*. Atelier sous-régional FAO/IPGRI/ICRAF sur la conservation, la gestion, l'utilisation durable et la mise en valeur des ressources génétiques forestières de la zone sahélienne Note thématique sur les ressources génétiques forestières. Document FGR/12F. Département des forêts, FAO, Rome, Italie.
- ANDERSON, R.P., LEW, D. & PETERSON, A.T. (2003).— Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecol. Model.*, 162: 211-232.
- CARPENTER, G., GILLISON, A.N. & WINTER, J. (1993).— DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distribution of plants and animals. *Biodiv. Conserv.*, 2: 667-680.
- ELITH, J., KEARNEY, M. & PHILLIPS, S. (2010).— The art of modelling range-shifting species. *Meth. Ecol. Evol.*, 1: 330-342.
- ELITH, J., PHILLIPS, S.J., HASTIE, T., DUDIK, M., CHEE, Y.E. & YATES, C.J. (2011).— A statistical explanation of Maxent for ecologists. *Diversity and distributions*, 17: 43-57.

- GAOUÉ, O.G. & SOGBOHOSSOU, E. (2001).— *Étude de la gestion pastorale du complexe forestier Monts Kouffe –Wari Maro (Axes Beterou - Agbassa Et Ouberou - Igbomakoro)*. Rapport de Mission Bénin Consulting Services, Cotonou, Bénin.
- GRINNELL, J. (1924).— Geography of evolution. *Ecology*, 5: 225-229.
- HERNANDEZ, P.A., FRANKE, I., HERZOG, S.K., PACHECO, V., PANIAGUA, L., QUINTANA, H.L., SOTO, A., SWENSON, J.J., TOVAR, C., VALQUI, T.H., VARGAS, J. & YOUNG, B.E. (2008).— Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiv. & Conserv.*, 17: 1353-1366.
- HUMANS, R.J., CAMERON, S.E., PARRA, J.L., JONES, P.G. & JARVIS, A. (2005).— Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Intern. J. Climatol.*, 25: 1965-1978.
- HOUINATO, M.R.B. & SINSIN, B. (2000).— La pression agro-pastorale sur la zone riveraine de la Réserve de Biosphère de la Pendjari. *Tropicultura*, 18: 112-117.
- LAHOZ-MONFORT, J.J., GUILLERA-ARROITA, G., MILNER-GULLAND, E.J., YOUNG, R.P. & NICHOLSON, E. (2010).— Satellite imagery as a single source of predictor variables for habitat suitability modelling : How Landsat can inform the conservation of a critically endangered lemur. *J. Appl. Ecol.*, 47: 1094-1102.
- NIGEL, A., KRAM, T., CARTER, T., EBI, K., JAE, E., HALLEGATTE, S., KRIEGLER, E., RITU, M., O'NEILL, B., KEYWAN, R., WINKLER, H., VAN VUUREN, D. & ZWICKEL, T. (2011).— *A framework for a new generation of socioeconomic scenarios for climate change impact, adaptation, vulnerability and mitigation research*. (<http://www.isp.ucar.edu/socio-economic-paths>).
- ONIBON, P. (1999).— *Définition d'une politique et d'un programme d'actions pour la gestion de la transhumance « durable », dans le cadre de la lutte contre la désertification au Bénin*. Mission MEHU, Cotonou, Bénin.
- OUMOROU, M. (2003).— *Études écologique, floristique, phytogéographique et phytosociologique des inselbergs du Bénin*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles. Belgique. 210 p. + annexe.
- PEARSON, R.G., RAXWORTHY, C.J., NAKAMURA, M. & TOWNSEND, P. (2006).— Predicting species distributions from small numbers of occurrence records : A test case using criptic geckos in Madagascar. *J. Biogeogr.*, 34: 102-117.
- PECK, M., THORN, J., MARISCAL, A., BAIRD, A., TIRIRA, D. & KNIVETON, D. (2010).— Focusing conservation effort for the critically endangered Brown-headed Spider Monkey (*Ateles fusciceps*) using remote sensing, modeling, and playback survey methods. *Intern. J. Primatol.*, 32: 134-148. doi : 10.1007/s10764-010-9445-z.
- PHILLIPS, S.J., ANDERSON, R.P. & SCHAPIRE, R.E. (2006).— Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.*, 190: 231-259.
- PHILLIPS, S.J., AVENUE, P. & PARK, F. (2004).— A maximum entropy approach to species distribution. *Ecol. Model.*, 188: 655-662.
- PHILLIPS, S.J. & DUDÍK, M. (2008).— Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31: 161-175.
- SAMPOUX, J.P. & HUYGHE, C. (2009).— Contribution of ploidy-level variation and adaptive trait diversity to the environmental distribution of taxa in the 'fine-leaved fescue' lineage (genus *Festuca* subg. *Festuca*). *J. Biogeogr.*, 36: 1978-1993.
- SCHWARTZ, M.W. (2012).— Using niche models with climate projections to inform conservation management decisions. *Biol. Conserv.*, 155: 149-156.
- SINSIN, B. & OUMOROU, M. (2000).— Étude de la diversité spécifique du groupement à *Cochlospermum tinctorium* A. Rich. des savanes arbustives du Nord-Bénin. *Acta Bot. Gallica*, 147: 345-360.
- SINSIN, B., SINANDOUWIROU, TH. & ASSOGBADJO A. (2000).— *Caractérisation écologique de deux essences fourragères du Bénin: Khaya senegalensis (Desv) et Afzelia africana SM*. Rapport d'étude IPGRI/SAFORGEN, Cotonou, Bénin.
- SWETS, J. (1988).— Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240: 1285-1293.
- THORN, J.S., NIJMAN, V., SMITH, D. & NEKARIS, K. (2009).— Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (Primates : *Nycticebus*). *Diversity and distributions*, 15: 289-298.
- URBINA-CARDONA, J.N. & LOYOLA, R.D. (2008).— Applying niche-based models to predict endangered-hybrid potential distributions: are neotropical protected areas effective enough? *Trop. Conserv. Sci.*, 1: 417-445.
- VAN ZONNEVELD, M., KOSKELA, J., VINCETI, B. & JARVIS, A. (2009).— Impact of climate change on the distribution of tropical pines in Southeast Asia. *Unasylva*, 231/232: 24-29.