



HAL
open science

Modélisation de la distribution spatiale des espèces endémiques pour leur conservation : cas de l'Argania spinosa (L.) Skeels

Said Moukrim, Said Lahssini, Hicham Mharzi Alaoui, Nabil Rifai, Moustapha Arahou, Laïla Rhazi

► To cite this version:

Said Moukrim, Said Lahssini, Hicham Mharzi Alaoui, Nabil Rifai, Moustapha Arahou, et al.. Modélisation de la distribution spatiale des espèces endémiques pour leur conservation : cas de l'Argania spinosa (L.) Skeels. *Revue d'Écologie*, 2018, 73 (2), pp.153-166. hal-03532905

HAL Id: hal-03532905

<https://hal.science/hal-03532905>

Submitted on 18 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MODÉLISATION DE LA DISTRIBUTION SPATIALE DES ESPÈCES ENDÉMIQUES POUR LEUR CONSERVATION : CAS DE L'ARGANIA SPINOSA (L.) SKEELS

Said MOUKRIM^{1,2,*}, Said LAHSSINI³, Hicham MHARZI ALAOU², Nabil RIFAI²,
Moustapha ARAHOU¹ & Laïla Rhazi¹

¹ Université Mohammed V de Rabat, Faculté des Sciences, Laboratoire de Botanique, Mycologie et Environnement, Avenue Ibn-Battouta, B.P. 1014 RP. Rabat, Maroc

² Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, 3 rue Harroun Errachid, Agdal. Rabat, Maroc

³ École Nationale Forestière des Ingénieurs, BP. 511. Tabrikt, 11000. Salé, Maroc.

* Auteur correspondant. E-mail: maildemoukrim@gmail.com

SUMMARY.— *Modeling the spatial distribution of endemic species for their conservation: case of Argania spinosa (L.) Skeels.*— Conservation and management of endemic species require knowledge of their potential distribution areas and the environmental factors controlling these distributions. This work aims to identify factors governing the geographical distribution of *Argania spinosa* and to map the potential distribution of this Moroccan endemic species. Suitability has been assessed under the current climatic conditions in order to ensure sustainable management of that species. The Maximum-Entropy algorithm was used as a Species Distribution Modeling approach to link species locations with environmental characteristics. The main result of the trained model is a continuous probability map showing the potential distribution area of the argan tree in Morocco. The predicted suitable area of *Argania spinosa* agrees well with documented range. In addition, other areas where the species does not occur presently seem to be suitable under current climate conditions. Result obtained is a valuable tool for decision makers to better identify suitable sites for conservation and restoration. According to validation criteria, the developed model has an excellent predictive quality. The relative contribution of covariates shows that the most significant parameters explaining the spatial distribution of argan tree are the rainfall of the coldest quarter, seasonality of temperature and annual mean relative humidity.

RÉSUMÉ.— La conservation et la gestion des espèces endémiques, impose la connaissance de leurs aires de distribution potentielle et des facteurs environnementaux conditionnant ces répartitions. Ce travail vise l'identification des facteurs écologiques régissant la répartition géographique d'*Argania spinosa* et la cartographie de son aire potentielle sous les conditions climatiques actuelles et ce, pour une meilleure planification de sa gestion. L'approche d'entropie maximale a été utilisée. Le principal résultat est une carte de probabilité continue montrant l'aire potentielle de distribution de l'arganier au Maroc. Le modèle développé est d'excellente qualité. Il valide l'aire de répartition connue, et prédit la présence de l'espèce dans d'autres zones. Les variables les plus significatives conditionnant la distribution de l'arganier sont les précipitations du trimestre le plus froid, la saisonnalité de la température et l'humidité relative moyenne annuelle.

Avec un taux d'endémisme végétal au niveau spécifique et sous-spécifique de 19,2 % (Fennane & Ibn Tattou, 2012), les forêts marocaines sont riches et diversifiées. On y compte quatre des 14 biomes terrestres de Global-200 List (Dinerstein *et al.*, 2017 ; Benabid, 2000), qui sont considérés comme exceptionnels au point de vue biologique et prioritaires en matière de conservation, notamment, i) les forêts, les terres boisées et les formations arbustives méditerranéennes, ii) les forêts de conifères tempérées, iii) les milieux herbacés et arbustifs de montagne et iv) les déserts et broussailles xérophytes. Ceci confère au pays le caractère de point-chaud de biodiversité dans le bassin méditerranéen (Myers *et al.* 2000 ; Médail & Diadema, 2009).

Les écosystèmes forestiers marocains couvrent une superficie de 9 millions d'hectares, dont 5,8 millions sont boisés (IFN, 2005). Ils sont multifonctionnels (M'herit *et al.*, 1998) et assurent des fonctions variées : protection (du sol, régulation des eaux, etc.), production (bois, fourrage, fruits, glands, liège, plantes aromatiques et médicinales, etc.), absorption du carbone, récréation, etc. (Oubrahim, 2015 ; Bourlion *et al.*, 2016).

Les espaces forestiers marocains sont profondément intégrés dans les stratégies de subsistance de la société usagère rurale. Ils procurent en effet un large éventail de services environnementaux et de produits forestiers ligneux et non ligneux, fournissant ainsi les moyens de subsistance de millions de personnes, et sont à la base des économies locales (Benchekroun & Bouttoud, 1989 ; Croitoru & Merlo, 2005 ; Papanastasis, 2009 ; Lahssini *et al.*, 2015 ; El Mokaddem, 2016). Les revenus et les emplois générés, notamment pour les femmes, contribuent fortement au développement durable du territoire rural. Toutefois, ces écosystèmes sont soumis à des contraintes d'ordre socio-économique (Benabid, 2000), liées aux conditions précaires des populations rurales usagères, et d'ordre naturel, liées principalement aux changements climatiques avec l'aridification croissante du climat (IPCC, 2014) et la sensibilité des terres à la désertification (MDCE, 2016). Ceci se traduit par la déforestation et la destruction des structures et architectures des écosystèmes, suite aux difficultés de régénération et à la fossilisation de certaines forêts. Ces menaces entraîneront des réductions des aires géographiques favorables et de la disponibilité des habitats pour certaines espèces forestières. Cette situation risque de compliquer la tâche des conservateurs et gestionnaires des ressources forestières qui doivent souvent œuvrer avec des données limitées pour restaurer et gérer durablement les écosystèmes forestiers.

L'arganeraie est un bon exemple de cette problématique. Malgré le fait qu'elle se développe dans des zones arides et semi-arides du sud-ouest marocain, elle fournit un large éventail de services écologiques, environnementaux et sociaux, ainsi que des biens économiques (M'herit *et al.*, 1998 ; Nouaim, 2005 ; Kenny, 2007), et elle est d'une grande importance pour les populations (Benchekroun & Bouttoud, 1989). À travers son statut foncier spécial, grevé de droits de jouissance reconnus aux populations usagères (ramassage du bois mort, cueillette des fruits, parcours des troupeaux, utilisation du sol, coupe de bois de chauffage et de charbonnage, coupe de branchages pour réaliser des clôtures, prélèvement de terre, sable et pierre), l'arbre assure la subsistance de près de trois millions de ruraux (Naggar & M'herit, 2006 ; Azenfar, 2007). L'arganeraie joue un rôle majeur dans la préservation des équilibres écologiques, de la biodiversité et dans la lutte contre la désertification (Aouragh, 2012). Cette importance a justifié la reconnaissance de cet écosystème, en 1998, en tant que patrimoine mondial, avec un statut spécial de réserve de biosphère (UNESCO, 1998).

L'arganeraie, autrefois prospère, voit pourtant son potentiel de production se détériorer, principalement en plaine. Ce déclin s'est accentué au cours des deux dernières décennies (Aouragh, 2012), en raison de nombreuses agressions d'origine anthropique et climatique (Naggar & M'herit, 2006) : surexploitation des noix, surpâturage, mise en culture, développement d'infrastructures, fréquence des sécheresses, etc. La gestion durable de cet écosystème, dans le contexte du changement climatique annoncé pour le Maroc (MDCE, 2016), implique la connaissance de l'aire potentielle de distribution de l'espèce, ainsi que l'identification des facteurs qui la conditionnent et des changements attendus susceptibles de l'affecter. De telles informations font défaut dans le contexte marocain. En particulier, pour préciser l'aire potentielle de l'arganier, il est nécessaire d'étudier la gamme des conditions environnementales qui lui convient (Guisan & Zimmermann, 2000) et de procéder sur cette base à la modélisation de sa distribution potentielle.

La Modélisation de la Distribution des Espèces (SDM pour *Species Distribution Modeling*) représente un outil important de prédiction en écologie de la conservation (Peterson *et al.*, 1999, 2012 ; Guisan & Zimmermann, 2000 ; Fleishman *et al.*, 2001 ; Scott *et al.*, 2002 ; Elith *et al.*, 2006 ; Phillips *et al.*, 2006 ; Austin, 2007 ; Frankline, 2009 ; Padalia *et al.*, 2014). Elle consiste à construire une fonction de paramètres environnementaux qui prédit la probabilité de présence de l'espèce. Le jeu de données utilisé comprend des données de présence actuelle de l'espèce et des valeurs de certains paramètres, essentiellement environnementaux, aux sites d'observation de l'espèce (Elith *et al.*, 2006 ; Phillips *et al.*, 2006 ; Sampoux & Badeau, 2009). Plusieurs méthodes pour modéliser la distribution des espèces ont été développées et utilisées (Phillips *et al.*, 2006). Ces méthodes diffèrent suivant le type de réponse qu'elles prennent en compte, la manière de pondérer les observations et d'incorporer les interactions, et suivant leur capacité de prédiction (Elith *et al.*, 2006 ; Elith & Leathwick, 2009).

Aujourd'hui, les modèles de distribution d'espèces sont de plus en plus utilisés pour répondre aux problématiques majeures que sont la compréhension, la description et la prédiction de l'aire potentielle d'une espèce, et l'identification des facteurs qui déterminent sa distribution (Kumar & Stohlgren, 2009). Ils représentent de ce fait, un outil pertinent pour la gestion et la conservation de l'environnement et de la biodiversité (Guisan & Zimmermann, 2000 ; Barbosa *et al.*, 2009).

L'objectif de la présente étude est de modéliser la distribution spatiale et d'identifier l'aire de distribution potentielle d'*Argania spinosa* ainsi que les variables environnementales affectant sa répartition géographique et ce, pour mieux raisonner la gestion de cette espèce endémique et menacée. La modélisation de la distribution géographique de cette espèce est basée sur le principe d'Entropie Maximale "MaxEnt" (Phillips *et al.*, 2006).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

CADRE D'ÉTUDE ET ESPÈCE MODÈLE

L'Arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) est l'espèce phare du cortège floristique forestier marocain. Cette espèce est une endémique marocaine (Fennane & Ibn Tattou, 2012 ; El Oualidi *et al.*, 2012), de souche tropicale et placée depuis 1819 par Roemer & Schultes dans la famille des Sapotacées (De Candolle, 1844 ; Fennane *et al.*, 1999). En l'absence de fossile, l'origine de l'arganier reste délicate à préciser. Les études phylogénétiques (Smedmark *et al.*, 2006 ; Stride *et al.*, 2014) ont toutefois permis de le positionner en groupe-frère de *Sideroxylon mascatense*, présent depuis la corne de l'Afrique (Éthiopie) jusqu'au sud-ouest de l'Asie (Pakistan). Le genre *Sideroxylon* serait apparu en Afrique au Paléogène (Smedmark *et al.*, 2006), et l'arganier s'en serait isolé au Maroc durant le Néogène.

Il occupe actuellement une superficie de 871 210 ha, principalement localisée au sud-ouest du Maroc, entre les parallèles 29°10' et 31°45'N, et les méridiens 7°50' et 10°10'O (Fig. 1). L'arganier constitue des formations pré-steppiques dans le Sud-Ouest marocain entre les oueds Tensift et Noun. Il s'étend de Safi à Sidi Ifni, dans la plaine de Souss et sur les flancs des parties occidentales du Haut-Atlas occidental et de l'Anti-Atlas (Benabid, 2000), ainsi que dans certains cours d'eau éphémères de la zone saharienne (notamment dans les régions de Tantan, Tata et Essmara). L'arganier s'accommode de tous les sols. C'est une espèce xéro-thermophile qui se développe dans les bioclimats semi-aride et aride chauds et tempérés, au niveau des étages infra-méditerranéen et thermo-méditerranéen (Benabid, 2011).

DONNÉES MOBILISÉES

Pour déterminer la distribution potentielle d'une espèce, il est nécessaire de connaître la gamme de conditions environnementales qui lui convient (Calvet, 1979). Les paramètres bioclimatiques et biophysiques susceptibles de conditionner la présence d'une espèce ont été classés en différentes catégories (Austin, 2002, 2007). Il a été établi que la modélisation de la distribution des espèces est en général d'autant plus efficace que les variables environnementales utilisées sont des paramètres climatiques et/ou éco-physiologiques (Austin, 2007). D'autres types de données environnementales peuvent être informatifs, comme les données édaphiques ou topographiques (Thuiller *et al.*, 2004). Les

données utilisées dans la présente étude sont réparties en deux types : données d'occurrence de l'espèce étudiée et données relatives aux variables environnementales qui agissent directement sur la répartition et la distribution des végétaux.

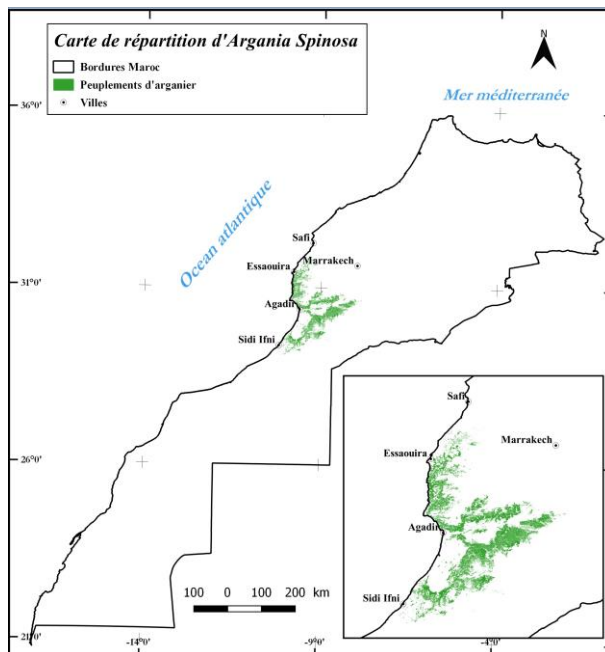


Figure 1.— Répartition d'*Argania spinosa* (d'après l'Inventaire Forestier National de 2005).

Données de présence

Mille points d'occurrence de l'arganier ont été échantillonnés de manière aléatoire. Leurs coordonnées spatiales (latitude et longitude) sont essentiellement issues de la base de données de l'Inventaire Forestier National (IFN, 2005). D'autres données, issues des cartes des types de peuplements réalisées pour certaines formations d'arganier aménagées et des enregistrements lors des sorties sur le terrain (une trentaine de points de présence, soit 3 % de l'échantillon), ont été utilisées pour vérifier et compléter les données de l'IFN dans les zones où l'arganier a été omis ou confondu avec d'autres espèces. Vu que les données climatiques de base concernent la période 1950-2000, cette base de données a été privilégiée pour réduire l'incertitude dans le modèle et éviter tout biais temporel. Aucun point de présence n'a été généré sur les deux petites stations septentrionales d'arganier au niveau de Bni-Snassen et Oued Grou.

Variables environnementales

21 variables environnementales ont été utilisées pour modéliser la probabilité de présence de l'arganier : l'humidité relative et l'altitude, documentées comme ayant une part d'influence sur la distribution de l'espèce (Emberger, 1925 ; Rocher, 1926 ; Barbero *et al.*, 1982 ; M'hirit *et al.*, 1998 ; Msanda *et al.*, 2005 ; Benabid, 2011) et 19 variables bioclimatiques qui sont les plus directement reliées aux aspects physiologiques de la croissance des plantes (Tab. I).

L'humidité relative a été déduite en se basant sur le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air "Pvap" et la pression de vapeur saturante "Psat" à la même température. Le calcul du paramètre "Psat" a nécessité le recours à la formule de Tetens telle qu'elle est reprise par Monteith & Unsworth en 2008 :

$$Psat = 0.61078 \cdot \text{Exp} \left(\frac{(17.27 \cdot T)}{(237.3 + T)} \right)$$

Les données relatives aux températures moyennes annuelles "T", à la pression partielle de la vapeur d'eau "Pvap", à l'altitude et aux variables bioclimatiques utilisées, ont été extraites de la base de données WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org>), catalogue à l'échelle mondiale de données de températures et de pluviométrie, recueillies à une résolution de 30 arc-secondes au sol "≈1 km²/pixel" (Hijmans *et al.*, 2005 ; Fick & Hijmans, 2017).

TABLEAU I

Variables utilisées pour modéliser la distribution géographique potentielle d'*Argania spinosa* au Maroc

Code	Variables environnementales
Bio_01	Température moyenne annuelle
Bio_02	Moyenne mensuelle des variations journalières
Bio_03	Isothermalité (Bio_02/ Bio_07) * 100
Bio_04	Saisonnalité de Température (Coef. de variation)
Bio_05	Température maximale du mois le plus chaud
Bio_06	Température minimale du mois le plus froid
Bio_07	Écart annuel de Température (Bio_05 - Bio_06)
Bio_08	Température moyenne du trimestre le plus humide
Bio_09	Température moyenne du trimestre le plus sec
Bio_10	Température moyenne du trimestre le plus chaud
Bio_11	Température moyenne du trimestre le plus froid
Bio_12	Précipitations annuelles
Bio_13	Précipitations du mois le plus humide
Bio_14	Précipitations du mois le plus sec
Bio_15	Saisonnalité des Précipitations (Coef. variation)
Bio_16	Précipitations du trimestre le plus humide
Bio_17	Précipitations du trimestre le plus sec
Bio_18	Précipitations du trimestre le plus chaud
Bio_19	Précipitations du trimestre le plus froid
Alt	Altitude
HR	Humidité Relative moyenne annuelle

MODÉLISATION DE LA DISTRIBUTION D'ESPÈCE ET VALIDATION DU MODÈLE

L'approche d'Entropie Maximale, qui trouve ses origines dans la théorie de l'information (Shannon, 1948), a été utilisée et ce, via un programme Java indépendant, relevant de l'intelligence artificielle, appelé MaxEnt, dans sa version 3.3.3k (Phillips *et al.*, 2006). Ce programme a été choisi car il constitue l'une des meilleures méthodes de modélisation de la distribution des espèces, et qu'il est connu pour générer des modèles fiables (Baldwin, 2009). Il ne nécessite que peu de points de présence de l'espèce pour construire des modèles utiles (Phillips *et al.*, 2006 ; Feeley & Silman, 2011) et il est relativement insensible aux différents biais spatiaux (Elith *et al.*, 2006 ; Guisan *et al.*, 2007). Les résultats de la modélisation avec MaxEnt comprennent des évaluations de la performance du modèle, la contribution de chaque variable au modèle et la probabilité de présence de l'espèce à chaque pixel dans la zone d'étude (Phillips *et al.*, 2006).

Durant la simulation de la prédiction de la distribution de l'arganier, les paramètres par défaut de l'algorithme MaxEnt ont été sélectionnés (Phillips & Dudik, 2008). Les résultats ont ensuite été validés sur une plage de tests. Cette évaluation consiste à mesurer l'adéquation entre les prédictions du modèle et les données observées (Guisan & Zimmermann, 2000).

Le premier test de validation des prédictions des SDM reste la validation croisée, qui permet d'examiner la variabilité dans la construction du modèle, en utilisant une partie des données (25 %) pour la calibration (Guisan & Zimmerman, 2000).

La validité intrinsèque d'un modèle est caractérisée par la sensibilité et la spécificité. Ces deux paramètres permettent l'établissement de la Courbe Caractéristique d'Opération dite ROC (*Receiving Operator Characteristic*) (Hanley & McNeil, 1982). Le calcul de l'AUC (aire sous la courbe ROC), qui est un seuil qui mesure la précision de la prédiction du modèle (Fawcett, 2006), renseigne sur la performance et la qualité du modèle établi à prédire correctement l'occurrence de l'espèce (Hanley & McNeil, 1982). Les valeurs de l'AUC sont interprétées comme proposé par Araújo *et al.* (2005) : le modèle est « excellent » si $AUC > 0,90$; « bon » si $0,80 < AUC \leq 0,90$; « acceptable » si $0,70 < AUC \leq 0,80$; « mauvais » si $0,60 < AUC \leq 0,70$ et « invalide » si $AUC \leq 0,60$.

Le test de Jackknife (Miller, 1974) a été aussi effectué sur les variables considérées afin de déterminer le pouvoir prédictif de chaque variable et d'identifier celles qui contribuent le plus au modèle.

ANALYSE DES DONNÉES

Les données environnementales ont été extraites et préparées à la même emprise et résolution spatiale, et rapportées à un même système de projection à l'aide du Système d'Information Géographique "Quantum-GIS" et de ses outils (QGIS Development Team, 2016). Des agrégations et/ou des réductions d'échelles ont été réalisées. Le SIG a aussi été utilisé afin de cartographier la probabilité de présence de l'arganier. Les transformations des données, les analyses statistiques et les représentations graphiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Development Core Team, 2014).

Pour une meilleure caractérisation de la distribution de l'arganier, un seuil "S" a été utilisé pour délimiter son aire potentielle. Comme suggéré par Phillips & Dudik (2008), le seuil retenu est celui relatif à une présence d'entraînement au 10^{ème} centile (*10 percentile training presence*), représentant la probabilité que 90 % des points de présence tombent dans

cette aire potentielle. Ce seuil procure un résultat meilleur et écologiquement significatif par rapport aux valeurs des autres seuils. Toutefois, l'utilisation d'une seule valeur de seuil donne un aperçu très étroit de la distribution de l'espèce. De ce fait, il est plus utile d'avoir un gradient de probabilité de présence continue, qui est plus réaliste et plus facile à valider. Ainsi, la carte de distribution de l'arganier a été produite en se basant sur une classification des résultats en quatre intervalles de probabilité de présence "P", définis principalement par le seuil "S" retenu : (i) habitats hautement appropriés pour des valeurs de "P" supérieures au seuil "S" : $P \geq S$, (ii) habitats moyennement favorables pour $\frac{1}{2} S \leq P < S$, (iii) habitats peu favorables pour $\frac{1}{4} S \leq P < \frac{1}{2} S$, et (iv) habitats inappropriés pour des valeurs de $P < \frac{1}{4} S$.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

QUALITÉ DU MODÈLE ET VARIABLES INFLUENTES

La Figure 2 montre que les valeurs de l'Aire Sous la Courbe (AUC) pour la mise en œuvre du modèle MaxEnt et pour son test sont respectivement de 0,955 et 0,953. Ceci indique la robustesse de la modélisation effectuée et atteste l'excellente performance de l'algorithme MaxEnt à prédire l'aire favorable de l'espèce étudiée.

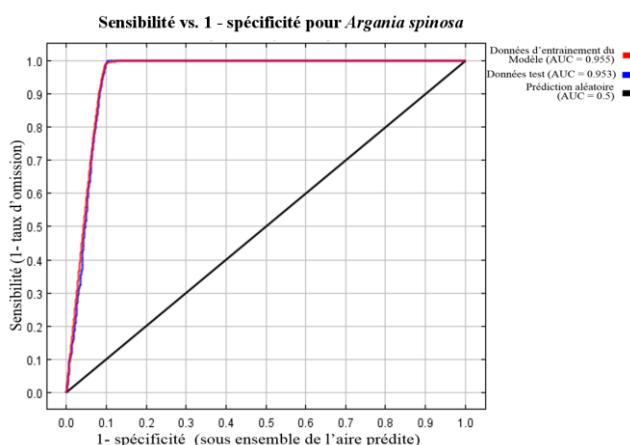


Figure 2.— Résultat du calcul de l'AUC, Aire Sous la Courbe Caractéristique d'Opération (ROC) qui mesure la précision de prédiction du modèle.

L'analyse des pourcentages de contribution des différentes variables à la prédiction du modèle (Tab. II) suggère que les précipitations du trimestre le plus froid (Bio_19), les précipitations du trimestre le plus humide (Bio_16) et la saisonnalité de la température (Bio_04) sont, dans cet ordre, les variables les plus importantes avec une contribution supérieure à 12 %. Ces valeurs de contribution étant influencées par l'ordre d'intégration des variables dans le modèle, une autre statistique évaluant leur contribution a été également calculée : l'importance de la permutation (Tab. II). Une valeur élevée de cette statistique indique une grande importance de la variable concernée. En effet (Tab. II), la permutation des valeurs de Bio_16 entraîne une très faible réduction du pouvoir prédictif du modèle (à peine 2 %). Bio_16 a donc une assez faible incidence sur le modèle et cette variable ne va donc pas être retenue.

En revanche, la permutation des valeurs de l'humidité relative moyenne annuelle (HR) entraîne une forte réduction (près de 12 %) du pouvoir prédictif du modèle (Tab. II) et l'examen des résultats du test d'importance des variables de Jackknife (Fig. 3) montre que HR est la variable

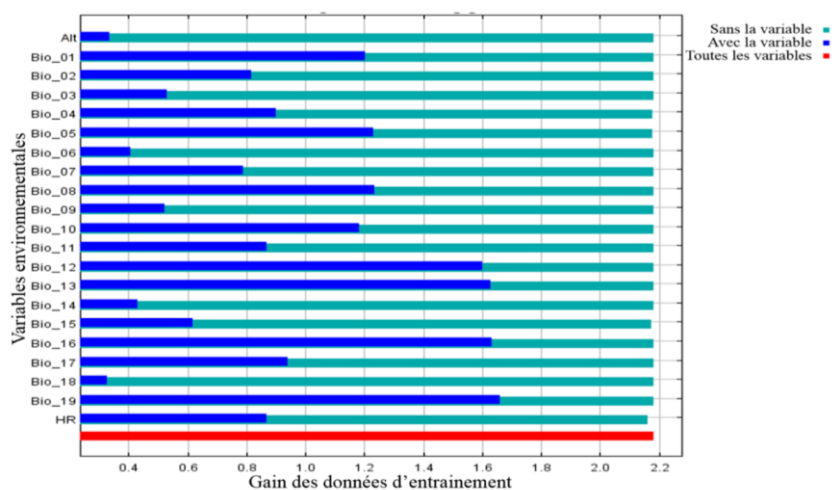
qui réduit le plus le gain quand elle est omise, ce qui semble procurer au modèle des informations qui ne sont pas présentes dans les autres variables. Ceci témoigne de l'importance de cette variable pour la distribution de l'arganier et concorde avec la littérature qui souligne la forte océanité de son aire de répartition (Emberger, 1925 ; Rocher, 1926 ; Barbero *et al.*, 1982 ; M'hirit *et al.*, 1998 ; Msanda *et al.*, 2005 ; Benabid, 2011).

TABLEAU II

Contributions relatives et importance de la permutation en (%) des variables utilisées dans le modèle de la distribution géographique potentielle d'*Argania spinosa* au Maroc

Variables	Pourcentage de contribution	Importance de la permutation
Bio_19	28,3	7,5
Bio_16	19,6	1,9
Bio_04	12,6	26,4
Bio_13	9,1	2,8
Bio_15	8,7	9,2
Bio_12	7,5	9,4
Bio_03	4,4	2,9
Bio_05	3,0	11,4
Bio_11	1,8	1,2
Bio_02	1,4	0,6
Bio_08	0,8	2,6
Bio_09	0,7	1,9
Bio_10	0,5	2,7
Bio_01	0,5	3,0
HR	0,4	11,9
Bio_07	0,3	0,0
Alt	0,1	1,2
Bio_14	0,1	0,5
Bio_06	0,0	2,0
Bio_18	0,0	0,5
Bio_17	0,0	0,4

BIO_n représente les variables bioclimatiques extraites de WorldClim, Alt = Altitude et HR = Humidité Relative moyenne annuelle



BIO_n représente les variables bioclimatiques extraites de WorldClim. Pour la signification de ces variables se référer au Tableau I ; Alt = Altitude et HR = Humidité Relative moyenne annuelle

Figure 3.— Résultats du test Jackknife sur la contribution des variables sélectionnées à la prédiction de l'aire de distribution de l'arganier.

Le test de Jackknife (Fig. 3) montre aussi que Bio_19 est le prédicteur environnemental qui présente le meilleur gain et qui semble avoir l'information la plus utile lorsque cette variable est utilisée isolément dans le modèle.

Ainsi, la combinaison des résultats du Tableau II et de la Figure 3 révèle que les précipitations du trimestre le plus froid (Bio_19), la saisonnalité de la température (Bio_04) et l'humidité relative moyenne annuelle (HR) sont donc les variables qui influencent le plus le modèle. Les autres variables environnementales n'ont que très faiblement contribué à la prédiction du modèle.

La contribution de la variable "Altitude" à la prédiction du modèle reste non significative, contrairement à ce que documentent plusieurs études (Emberger, 1925 ; Rocher, 1926 ; Barbero *et al.*, 1982 ; M'hirit *et al.*, 1998 ; Msanda *et al.*, 2005 ; Benabid, 2011). Ceci pourrait s'expliquer par l'interdépendance entre les paramètres climatiques et les facteurs géographiques tels que l'altitude. Toutefois, le modèle développé confirme l'incapacité de l'arganier à se développer au-delà de 1500 m d'altitude et dans des milieux à climat froid (Emberger, 1924, 1925 ; Peltier, 1982).

L'ensemble des variables qui contribuent le plus au développement du modèle et qui expliquent la distribution spatiale de l'arganier sont seulement des variables climatiques. Ce résultat semble confirmer le fait que ce sont les paramètres directs, tels que la température et les précipitations, qui affectent le plus la distribution des espèces lorsque la modélisation concerne un large territoire (Guisan & Zimmermann, 2000). Ce résultat va dans le sens d'études antérieures qui stipulent que les descripteurs climatiques liés à la pluviométrie et à la température jouent un rôle efficient dans la délimitation de l'aire géographique de l'arganier (Emberger, 1924, 1925 ; Benabid, 2011).

CARTOGRAPHIE DE L'AIRES POTENTIELLE D'ARGANIA SPINOSA

Le modèle développé a permis de construire la première carte de probabilité continue montrant l'aire potentielle de distribution d'*Argania spinosa* au Maroc dans les conditions climatiques actuelles (Fig. 4). Cette distribution spatiale prédite de l'arganier confirme l'affinité de cette espèce pour la zone du Sud-Ouest marocain, et concorde avec la bibliographie existante, en particulier les données de l'Inventaire Forestier National (IFN, 2005) et les études d'aménagement des forêts d'Arganier. L'aire potentielle prédite où les conditions climatiques actuelles sont favorables (habitats appropriés $P \geq \frac{1}{2} S$) est plus vaste que l'aire réelle (Fig. 1). Elle est localisée entre les parallèles 28°30' et 31°40'N, et les méridiens 06°55' et 10°40'O (Fig. 4).

Le modèle prévoit la présence de l'arganier :

- dans les zones sud-est de l'oued Draa (Sud marocain), avec des probabilités faibles à moyennes. Il y est présent de manière éparse, en petits groupes d'individus de port généralement chétif, et parfois dans les ravins, les vallons et le long des lits d'oueds où il trouve les compensations hydriques nécessaires (Benabid, 2000).

- dans le territoire de la province de Tata, qui se trouve à la limite de la zone aride et hyperaride, où les précipitations sont très faibles (en moyenne inférieures à 100 mm/an). Très précisément, il y est prévu avec des probabilités faibles à moyennes, et même élevées sur une zone limitée au niveau de la portion nord-occidentale de la région, où l'influence océanique est encore perceptible. Il s'y trouve effectivement, dans les bas-fonds et le long des oueds dans cette partie du Sahara atlantique, qui reste une zone caractérisée principalement par la dominance d'espèces saharo-arabiques (Benabid, 2000). Des vérifications de terrain ont permis de confirmer la présence de plusieurs individus le long de l'oued Argana à Tata. L'arganier devient ripicole dans cette

région, et compense la déficience pluviométrique par la colonisation de sols profonds à réserve en eau utile favorable.

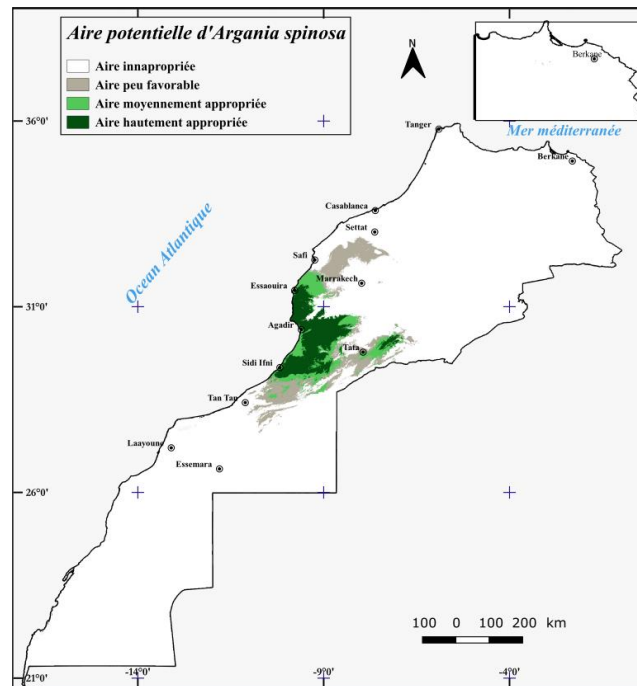


Figure 4.— Carte de probabilité de présence montrant l'aire potentielle d'*Argania spinosa* au Maroc.

- dans le nord-est, près du massif de Bni-Snassen, avec une faible probabilité et sur une superficie limitée. Cette localité représente l'une des deux petites stations septentrionales d'arganier (Emberger, 1924 ; Maire, 1925, 1939 ; Tregubov, 1963 ; Faouzi *et al.*, 2014). Ce résultat peut suggérer l'indigénat de l'espèce dans cette zone, surtout que les données de présence utilisées pour le développement du modèle ne comportent pas d'échantillon local. Le modèle ne prédit toutefois pas l'occurrence de l'arganier dans la deuxième station de la vallée de l'oued Grou (au sud-est de Rabat) (Emberger, 1925), où la présence de l'arganier pourrait résulter d'une dispersion récente, probablement par l'homme (El Mousadik & Petit, 1996).

- dans certaines zones où des essais d'installation de vergers d'arganier ont été réalisés, avec des taux de réussite satisfaisants, notamment dans certaines provinces du centre du Maroc : El Jadida, Settat et Safi (Nouaim & Chaussod, 2011).

COMPARAISON DE L'AIRES POTENTIELLE ET DE L'AIRES DE RÉPARTITION ACTUELLE

L'aire réalisée de l'arganier (Fig. 1) a été superposée à son aire potentielle (Fig. 4), dans le but de comparer les zones où l'espèce est réellement présente avec les zones prédites où l'habitat est hautement approprié. Cette superposition montre que l'aire potentielle, où les conditions climatiques actuelles sont les plus favorables ($P \geq S$), est beaucoup plus étendue (2 991 700 ha) que l'aire réelle (871 210 ha) (Fig. 5). De plus, il apparaît clairement que la majeure partie de

l'aire réalisée est prédite par le modèle comme hautement appropriée, à l'exception de quelques pixels (en rouge) qui sont classés comme moyennement appropriés (Fig. 5).

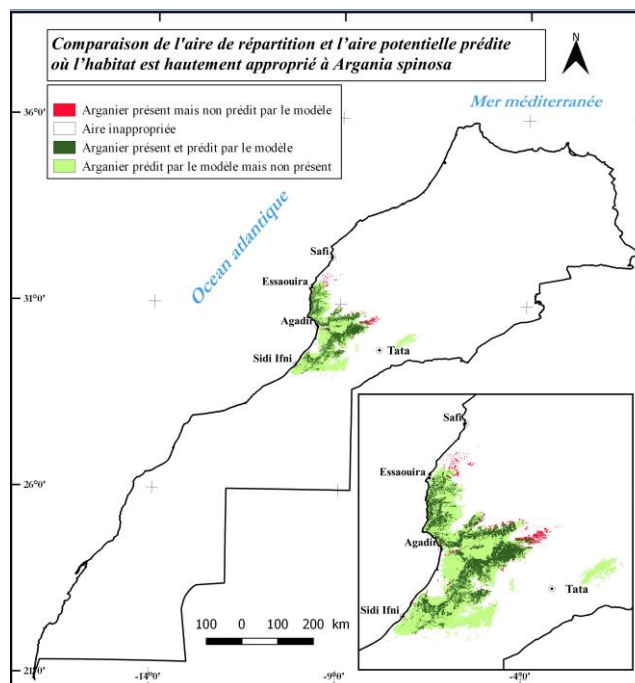


Figure 5.— Comparaison de la répartition d'*Argania spinosa* avec l'aire potentielle prédite où l'habitat est hautement approprié au Maroc.

Nos résultats suggèrent qu'une grande partie du Maroc est bioclimatiquement adaptée au développement d'*Argania spinosa*. Cette espèce n'a cependant pas colonisé l'ensemble des milieux potentiels, en dépit des conditions climatiques *a priori* favorables. Cela pourrait être un biais de perception lié au statut de l'espèce qui relève du domaine forestier et qui est régie par une législation forestière spécifique, mais aussi, dans les milieux fortement anthropisés, au décalage entre le potentiel naturel des espaces et leur affectation arbitraire à des activités agricoles. D'autres facteurs (biotiques, géographiques et anthropiques) jouent très probablement un rôle dans la limitation de l'extension de l'arganier. C'est en particulier le cas de la compétition interspécifique, des barrières géographiques et des perturbations humaines (Phillips *et al.*, 2006).

La carte de probabilité de présence d'*A. spinosa* (Fig. 4) peut fournir aux décideurs et gestionnaires du territoire un outil de réflexion pour aider la prise de décision en vue d'une gestion raisonnée et durable de l'espèce. Ainsi, les zones prédites comme hautement favorables, mais actuellement non occupées, peuvent être retenues pour son développement et sa domestication. Le gouvernement marocain a l'ambition de développer cette espèce sur terrains privés et l'Arganiculture a été retenue parmi les Mesures d'Atténuation Appropriées au niveau National (NAMA pour *Nationally Appropriate Mitigation Actions*) qui contribuent le plus à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, à l'adaptation aux changements climatiques et au développement durable (MDCE, 2014). Cette ambition a été concrétisée par la formulation d'un projet de

Développement de l'ARganiculture en Environnement Dégradé « DARED », dont la composante principale consiste en la plantation de 10 000 ha d'arganier (ANDZOA, 2016).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats de la présente étude suggèrent que la probabilité d'occurrence peut être utilisée pour étudier la biogéographie des espèces endémiques et participer à l'évaluation de la biodiversité des milieux naturels et de la restauration des écosystèmes.

Dans le cas de la gestion de l'écosystème de l'arganeraie, la modélisation de la distribution des espèces reste un moyen pertinent pour définir l'étendue géographique des aires favorables à cette espèce et pour identifier les variables environnementales qui affectent sa distribution. La carte de l'aire potentielle de l'arganier développée dans le cadre de cette étude améliorera le niveau des connaissances et permettra de mieux raisonner la planification de la conservation et de la restauration de cette espèce agroforestière, autochtone et endémique. La compréhension des facteurs qui limitent sa distribution spatiale reste une étape cruciale pour améliorer les stratégies de gestion et de conservation.

Le modèle de distribution développé pour *A. spinosa* peut aider à choisir de futures zones où les conditions bioclimatiques sont les plus favorables pour la promotion de sa mise en culture, ce qui représente une solution pour réduire la pression sur les peuplements naturels, tout en répondant à une demande croissante en huile d'argan et en améliorant les conditions de vie d'une population locale très vulnérable.

Enfin, au vu de l'endémisme de l'arganier, et de la dépendance des populations locales à cette espèce, la mise en place de stratégies de gestion adaptées et durables nécessite d'étudier les impacts des changements climatiques sur l'aire potentielle de répartition de cette espèce dans le futur. Le modèle développé est, en particulier, bien adapté à la prise en compte des gradients bioclimatiques et devrait, par la suite, être favorable à l'estimation des paramètres de distribution utiles à l'étude de l'impact des changements climatiques sur la distribution de l'arganier.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les deux évaluateurs anonymes pour leurs observations, remarques et suggestions pertinentes qui ont amélioré la qualité du manuscrit. Nos remerciements vont aussi aux collègues gestionnaires et aménagistes du HCEFLCD et à toutes les personnes avec qui nous avons eu d'utiles discussions.

RÉFÉRENCES

- ANDZOA (2016).— Agence Nationale des Zones Oasiennes et de l'Arganier. *Projet de Développement de l'ARganiculture en Environnement Dégradé « DARED »* <http://andzoa.ma/fr/green-climat-fund/> (consulté en décembre 2016).
- AOURAGH, M. (2012).— *Dynamique du « paysage-arganeraie » dans le sud-ouest marocain. Apport des données de télédétection et perspectives de les intégrer dans un SIG*. Thèse de doctorat, Université Paris Sorbonne, Paris.
- AUSTIN, M.P. (2002).— Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecol Model.*, 157: 101-118.
- AUSTIN, M.P. (2007).— Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecol Model.*, 200: 1-19.
- AZENFAR, A. (2007).— Présentation de l'arganeraie. Pp 71-83 In: L. Kenny & I. De Zborowski (eds). *Atlas de l'arganier et de l'arganeraie*. Rabat : IAV Hassan II.

- BALDWIN, R.A. (2009).— Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11: 854-866.
- BARBERO, M., BENABID, A., QUÉZEL, P., RIVAS MARTINEZ, S. & SANTOS, A. (1982).— Contribution à l'étude des *acacia-arganietalia* du Maroc Occidental. *Doc. phytosociol., nouv. Sér.*, VI: 311-338.
- BARBOSA, A.M., REAL, R. & VARGAS., J.M. (2009).— Transferability of environmental favourability models in geographic space: The case of the Iberian desman (*Galemys pyrenaicus*) in Portugal and Spain. *Ecol Model.*, 220: 747-754.
- BENABID, A. (2000).— *Flore et écosystèmes du Maroc. Évaluation et préservation de la biodiversité*. Ibis Presse, Paris.
- BENABID, A. (2011).— Écosystèmes naturels à Arganier (*Argania spinosa*).— Patrimoine national et universel : Bioécologie, phytosociologie, phytodynamique et ethnobotanique. Pp 39-47 in : *Actes du premier congrès international de l'arganier*. Agadir.
- BENCHEKROUN, F. & BUTTOUD, G. (1989).— L'arganeraie dans l'économie rurale du sud-ouest marocain. *For. Méditerr.*, XI: 127-136.
- BOUKHOBZA, M. & PICHON-PRUM, N. (1988).— L'arganier, ressource économique et médicinale pour le Maroc. *Phytotherapy*, 27: 21-26.
- BOURLION, N., GOURIVEAU, F., HASSEN, D. & MAIRE, M. (2016).— *Forêts méditerranéennes : un pas de plus vers une meilleure reconnaissance de leur valeur économique et sociale et vers une gouvernance participative et territoriale renforcée*. FAO & Plan Bleu pour l'Environnement et le Développement en Méditerranée.
- CALVET, C. (1979).— Interprétation hydrique de la notion d'étage de végétation selon L. Emberger: application au Maroc (Meteoric water and Emberger's vegetation levels in Morocco). *Bull. Ass. Géogr. Franç.*, 464: 331-339.
- CROITORU, L. & MERLO, M. (2005).— Mediterranean forest value. Pp 37-68 in: M. Merlo & L. Croitoru (eds). *Valuing Mediterranean forests: towards total economic value*. Cabi Publishing, Wallingford, UK.
- DE CANDOLLE, A.P. (1844).— *Prodromus systematis naturalis regni vegetabilis VIII*. Masson, Paris.
- DINERSTEIN, E., OLSON, D., JOSHI, A., VYNNE, C., BURGESS, N.D., WIKRAMANAYAKE, E., HAHN, N., PALMINTERI, S., HEDAO, P., NOSS, R., HANSEN, M., LOCKE, H., ELLIS, E.C., JONES, B., BARBER, C.V., HAYES, R., KORMOS, C., MARTIN, V., CRIST, E., SECHREST, W., PRICE, L., BAILLIE, J.E.M., WEEDEN, D., SUCKLING, K., DAVIS, C., SIZER, N., MOORE, R., THAU, D., BIRCH, T., POTAPOV, P., TURUBANOVA, S., TYUKAVINA, A., DE SOUZA, N., PINTEA, L., BRITO, J.C., LLEWELLYN, O.A., MILLER, A.G., PATZELT, A., GHAZANFAR, S.A., TIMBERLAKE, J., KLÖSER, H., SHENNAN-FARPÓN, Y., KINDT, R., BARNEKOW-LILLES, J., VAN BREUGEL, P., GRAUDAL, L., VOGEL, M., AL-SHAMMARI, K.F. & SALEEM, M. (2017).— An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience*, 67: 534-545.
- DUPIN, A. (1949).— L'arganier survivant de la flore tertiaire, providence du sud marocain. *Élevage et cultures*, 3: 28-34.
- ELITH, J., GRAHAM, C.H., ANDERSON, R.P., DUDÍK, M., FERRIER, S., GUISAN, A., HUJMAN, R.J., HUETTMMANN, F., LEATHWICK, J.R., LEHMANN, A., LI, J., LOHMANN, L.G., LOISELLE, B.A., MANION, G., MORITZ, C., NAKAMURA, M., NAKAZAWA, Y., OVERTON, J.Mc-C., PETERSON, A.T., PHILLIPS, S.J., RICHARDSON, K.S., SCACHETTI-PEREIRA, R., SCHAPIRE, R.E., SOBERÓN, J., WILLIAMS, S., WISZ, M.S. & ZIMMERMANN, N.E. (2006).— Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29: 129-151.
- ELITH, J. & LEATHWICK, J.R. (2009).— Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 40: 677-697.
- EL MOKADDEM, A. (2016).— *Estimation de la valeur économique et sociale des services rendus par les écosystèmes forestiers méditerranéens, Forêt de la Maâmora, Maroc*. Plan Bleu, Valbonne.
- EL MOUSADIK, A. & PETIT, R.J. (1996).— High level of genetic differentiation for allelic richness among populations of the argan tree (*Argania spinosa* (L.) Skeels) endemic to Morocco. *Theor. Appl. Genet.*, 92: 832-839.
- EL OUALIDI, J., KHAMAR, H., FENNANE, M., IBN TATTOU, M., CHAUVET, S. & TALEB, M.S. (2012).— *Checklist des endémiques et spécimens-types de la flore vasculaire de l'Afrique du Nord*. Documents de l'Institut Scientifique n°25, Université Mohammed V-Agdal, Rabat.
- EMBERGER, L. (1924).— À propos de la distribution géographique de l'arganier. *Bull. Soc. Sci. Nat.*, 4(7): 151-153.
- EMBERGER, L. (1925).— Le domaine naturel de l'Arganier. *Bull. Soc. Bot. France*, 72: 770-774.
- EMBERGER, L. & MAIRE, R. (1941).— *Catalogue des plantes du Maroc*. Vol. IV. Minerva, Alger.
- FAOUZI, K., RHARRABTI, Y., BOUKROUTE, A., MAHYOU, H. & BERRICHI, A. (2014).— Cartographie de l'aire de répartition de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la région orientale du Maroc par le G.P.S. combiné au S.I.G. *Nat. Technol.*, 12: 16-24.
- FAWCETT, T. (2006).— An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognit. Lett.*, 27: 861-874.
- FEELEY, K.J. & SILMAN, M.R. (2011).— The data void in modeling current and future distributions of tropical species. *Glob. Chang. Biol.*, 17: 626-630.

- FENNANE, M. & IBN TATTOU, M. (2012).— Statistiques et commentaires de l'inventaire actuel de la flore vasculaire du Maroc. *Bull. Inst. Scient., Rabat, section Sciences de la vie*, 34: 1-9.
- FENNANE, M., IBN TATTOU, M., MATHEZ, J., OUYAHYA, A. & OUALIDI, J.E. (1999).— *Flore pratique du Maroc*. Volume 1, Institut Scientifique de Rabat.
- FICK, S.E. & HJUMANS, R.J. (2017).— Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.*, DOI: 10.1002/joc.5086.
- FLEISHMAN, E., MACNALLY, R., FAY, J.P. & MURPHY, D.D. (2001).— Modeling and predicting species occurrences using broad-scale environmental variables: an example with butterflies of the Great Basin. *Conserv. Biol.*, 15: 1674-1685.
- FRANKLIN, J. (2009).— *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press, Cambridge.
- GUISAN, A., GRAHAM C.H., ELITH J., HUETTMANN F. & NCEAS SPECIES DISTRIBUTION MODELLING GROUP (2007).— Sensitivity of predictive species distribution models to change in grain size. *Divers. Distrib.*, 13: 332-340.
- GUISAN, A. & ZIMMERMANN, N.E. (2000).— Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model.*, 135: 147-186.
- HANLEY, J.A. & MCNEIL, B. (1982).— The meaning and use of the area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. *Radiology*, 143: 29-36.
- HCEFLCD (2005).— *Forêts Marocaines, Formations Forestières*, <http://www.eauxetforets.gov.ma/fr/text.aspx?id=1062&uid=75> (page consultée le 10/01/16).
- HJUMANS, R.J., CAMERON, S.E., PARRA, J.L., JONES, P.G. & JARVIS, A. (2005).— Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.*, 25: 1965-1978.
- HIRZEL, A.H. & LE LAY, G. (2008).— Habitat suitability modelling and niche theory. *J. Appl. Ecol.*, 45: 1372-1381.
- IFN (2005).— *Inventaire Forestier National*. Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification.
- IPCC (2014).— Summary for policymakers and technical summary. In: C.B.Field, V.R.Barros, D.J.Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White (eds.). *Climate change 2014, impacts, adaptation and vulnerability. Part A: global and sectorial aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- KENNY, L. (2007).— *Atlas de l'Arganier et de l'Arganeraie*. Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Agadir.
- KUMAR, S. & STOHLGREN, T.J. (2009).— MaxEnt modelling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *J. Ecol. Nat. Environ.*, 1(4): 94-98.
- LAHSSINI, S., HAJIB, S., LAHLAOI, H., MHARZI ALAOUI, H. & KHATTABI, A. (2015).— Modelling spatial distribution of the Carob Tree (*Ceratonia siliqua*) in Azilal Province, Morocco. *J. Geogr. Geol.*, 7(4): 33-44.
- M'HIRIT, O., BENZYANE, M., BENCHEKROUN, F., EL YOUSFI, S.M. & BENDAANOUN, M. (1998).— *L'arganier une espèce fruitière forestière à usage multiple*. Éditions Mardaga, Sprimont, Belgique.
- MAIRE, R. (1925).— *Contribution à l'étude de la flore de l'Afrique du Nord*. <https://books.google.co.ma/books?id=UBAhAQAAIAAJ&q=Bull.+Soc.+Hist.+Nat.+Afrique+du+nord&dq=Bull.+Soc.+Hist.+Nat.+Afrique+du+nord&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwiY86fAusPOAhUCaRQKHd3tBrEQ6AEILDAD>
- MAIRE, R. (1939).— Les Arganiers de Beni Snassen. *Bot. Notiser.*, 477-484.
- MDCE (2016).— *Troisième communication nationale à la CCNUCC*. Ministère délégué auprès du Ministre de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Environnement, Maroc.
- MDCE (2014).— *Etude de stratégie d'atténuation des émissions des gaz à effet de serre dans le cadre du Plan Maroc Vert*. Ministère délégué auprès du Ministre de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Chargé de l'Environnement, Maroc.
- MÉDAIL, F. & DIADEMA, K. (2009).— Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *J. Biogeogr.*, 36: 1333-1345.
- MÉDAIL, F. & QUÉZEL, P. (1997).— Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean basin. *Ann. Mo. Bot. Gard.*, 84: 112-127.
- MILLER, R.G. (1974).— The jackknife - a review. *Biometrika*, 61: 1-15.
- MONTEITH, J.L. & UNSWORTH, M.H. (2008).— *Principles of Environmental Physics*. Third ed. AP, Amsterdam. <http://store.elsevier.com/Principles-of-Environmental-Physics/John-Monteith/isbn-9780080924793/>

- MSANDA, F., EL ABOUDI A. & PELTIER J.P. (2005).— Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine. *Cah. Agric.*, 14: 357-364.
- MYERS, N., MITTERMEIER, A.R., MITTERMEIER, C.G., DA FONSECA, G.A.B. & KENT, J. (2000).— Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
- NAGGAR, M. & MHIRIT, O. (2006).— L'arganeraie : un parcours typique des zones arides et semi-arides marocaines. *Sécheresse*, 17(1-2): 314-317.
- NOUAIM, R. (2005).— *L'arganier au Maroc: entre mythes et réalités. Une civilisation née d'un arbre*. L'Harmattan, Paris.
- NOUAIM, R. & CHAUSSOD, R. (2011).— Des vergers d'arganier : une agriculture innovante pour une production durable d'huile d'argane. Pp 70-79 in : *Actes du premier congrès international de l'arganier*. Agadir.
- OUBRAHIM, H., BOULMANE, M., BAKKER, M.R., AUGUSTO, L. & HALIM, M. (2015).— Carbon storage in degraded cork oak (*Quercus suber*) forests on flat lowlands in Morocco. *iForest*, 9: 125-137.
- PADALIA, H., SRIVASTAVA, V. & KUSHWAHA, S.P.S. (2014).— Modeling potential invasion range of alien invasive species *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. in India: Comparison of MaxEnt and GARP. *Ecol. Inform.*, 22: 36-43.
- PAPANASTASIS, V.P. (2009).— Grazing value of Mediterranean forests. Pp 7-15 in: M. Palahí, Y. Birot, F. Bravo & E. Gorriz (eds.). *Modelling, valuing and managing Mediterranean forest ecosystems for non-timber goods and services*. EFI Proceedings, No. 57.
- PELTIER, J.P. (1982).— *La végétation du bassin versant de l'oued Souss (Maroc)*. Thèse de Doctorat ès-Sciences. Université Sciences Médicales, Grenoble.
- PETERSON, A.T. & SOBERÓN, J. (2012).— Species distribution modeling and ecological niche modeling: Getting the concepts right. *Nat. Conservação*, 10: 102-107.
- PETERSON, A.T., SOBERÓN, J. & SÁNCHEZ-CORDERO V. (1999).— Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*, 285: 1265-1267.
- PHILLIPS, S.J., ANDERSON, P.R. & SCHAPIRE, R.E. (2006).— Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol Model.*, 190: 231-259.
- PHILLIPS, S.J. & DUDIK, M. (2008).— Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31: 161-175.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM (2016).— *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. (<http://www.qgis.org>) (page consultée le 10/01/16).
- R CORE TEAM (2014).— *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from <http://www.R-project.org/> (page consultée le 20/01/16), <http://www.r-project.org>.
- ROCHER, P. (1926).— L'arganier. In: *Annales de Géographie*, 35 (195): 259-267.
- SAMPOUX, J.P. & BADEAU, V. (2009).— Modélisation de la niche écologique des fétuques à feuilles fines: quels apports pour la conservation et la valorisation des ressources génétiques? *Innov. Agron.*, 7: 79-91.
- SCOTT, J.M., HEGLUND, P.J., MORRISON, M.L., HAUFLE, J.B., RAPHAEL, M.G., WALL, W.A. & SAMSON, F.B. (eds) (2002).— *Predicting species occurrences: Issues of accuracy and scale*. Island Press, Washington, DC.
- SHANNON, C.E. (1948).— A mathematical theory of communication. *AT&T Tech. J.*, 27: 379-423.
- SMEDMARK, J.E., SWENSON, U. & ANDERBERG, A.A. (2006).— Accounting for variation of substitution rates through time in Bayesian phylogeny reconstruction of Sapotoideae (Sapotaceae). *Mol. Phyl. Evol.*, 39: 706-721.
- STRIDE, G., NYLINDER, S. & SWENSON, U. (2014).— Revisiting the biogeography of *Sideroxylon* (Sapotaceae) and an evaluation of the taxonomic status of *Argania* and *Spiniluma*. *Aust. Syst. Bot.*, 27: 104-118.
- THULLER, W., ARAÚJO, M.B. & LAVOREL, S. (2004).— Do we need land-cover data to model. *J. Biogeogr.*, 31: 353-361.
- TREGUBOV, V. (1963).— Étude des groupements végétaux du Maroc oriental méditerranéen. *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille*, 23: 121-196.
- UNESCO (1998).— Sur l'institution et le programme « réserve de biosphère » <http://www.unesco.org/mabdb/br/brdir/directory/biores.asp?code=MOR+01&mode=all> (page consultée le 05/01/16).