

ROYAUME DU MAROC

المملكة المغربية

INSTITUT AGRONOMIQUE  
ET VETERINAIRE HASSAN II



معهد الحسن الثاني  
للزراعة والبيطرة

**Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur  
d'Etat en Agronomie**

**Option : Ecologie et Management des Ecosystèmes Naturels**

**Apport du SIG et de la modélisation pour la  
caractérisation des écosystèmes de l'arganeraie en vue de  
leur conservation et utilisation durable**

**Présenté et soutenu publiquement par :**

**ANALY Chafik**

**Devant le Jury composé de :**

<b>Pr. MOKRIM Abdelaziz.</b>	Président	IAV Hassan II
<b>Pr. YESSEF Mohammed</b>	Rapporteur	IAV Hassan II
<b>Dr. AMRI Ahmed</b>	Co-rapporteur	ICARDA
<b>Pr. IMANI Yasmina</b>	Examinatrice	IAV Hassan II
<b>Mr. AIT LHAJ Abderrahmane</b>	Examinateur	ANDZOA

**Octobre 2019**

Adresse : Madinat Al Irfane, B.P. 6202. Rabat – Maroc

Tél : (00 212) 0537 77 17 58/59

Fax : (00 212) 0537 77 58 45

Site web: <http://www.iav.ac.ma>

العنوان: ص. ب. 6202 الرباط المعاهد الرباط – المغرب

الهاتف: (00 212)0537 77 17 58 / 59

الفاكس: (00 212)0537 77 58 45

## DEDICACES

Au nom de Dieu le tout Puissant et Miséricordieux, je dédie ce fruit de longues années :

*A MES CHERS PARENTS* qui ont toujours fait preuve d'énormes sacrifices, ma source d'amour et de joie. Vous êtes la flamme qui illumine les recoins de ma vie. Que Dieu vous procure la santé et le bonheur pur sur terre.

*A MON CHER FRERE ET MA CHERE SŒUR*, envahis d'amour et de gratitude. Que Dieu le tout puissant vous protège et vous procure une vie heureuse.

*A TOUTE PERSONNE DE LA FAMILLE*, Pour la sympathie et la gentillesse qu'ils ont toujours manifesté à mon égard.

*A MON MENTOR Dr. AMRI*, votre apport dans ma vie est d'ordre spirituel aussi bien que scientifique. Grâce à vous, j'ai pu explorer mes potentialités, toucher le fond de ma personnalité et voyager au-delà de l'inconnu. Je vous remercie énormément. Que Dieu vous procure l'amour et la paix éternelle.

*A MES CHERS CONFRES ET CONSŒUR*, merci d'avoir partagé avec moi des moments précieux pendant cette phase de ma vie qui restera gravée dans ma mémoire à jamais.

*A MES CHERS AMIS*, les mots restent inaptes pour exprimer ma sincère gratitude envers tous mes ami(e)s. Grâce à vous j'ai pu tester différentes lunettes de perception de la vie. Je sais bien que vous avez senti cette flamme via les connexions établies. A vous, j'exprime mon amour et fierté d'avoir partagé tout moment sur la merveille des planètes durant ce voyage spirituel.

## REMERCIEMENTS

Et voilà arrivé à la fin de ma thèse, une aventure passionnante et enrichissante du point de vue scientifique, mais aussi personnel et humain.

C'est avec un grand plaisir que j'exprime ma profonde gratitude envers toute personne qui a contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je voudrais exprimer tout d'abord ma reconnaissance à mes encadrants, **Dr. AMRI Ahmed et Pr. YESSEF Mohammed**, pour leur ultime confiance, leur encadrement, leur grande disponibilité et leur conseils précieux. Qu'ils trouvent ici mes sincères remerciements et respects.

Mes vifs remerciements vont également à **Mr. AIT LHAJ Abderrahmane** pour son énorme soutien et son aide continue qu'il m'a prodigué tout au long de la période du stage.

Je tiens à remercier également **Dr. KEHEL Zakaria et Dr. CHANDRASHEKHAR Biradar** pour leurs contributions, recommandations, support et orientations qui m'ont beaucoup aidé dans l'analyse des données et le traitement d'images satellitaires.

Je dois aussi une partie de ce travail à **Pr. MOKRIM Abdelaziz et Pr. IMANI Yasmina**. Je vous remercie pour l'honneur que vous me faites en acceptant de prendre part à mon jury de thèse, et d'avoir eu l'amabilité d'évaluer ce document.

Un grand merci va également au staff de **l'ICARDA, l'ANDZOA et la GIZ** pour leur soutien technique, financier et logistique consacré à la réalisation de ce travail.

Au terme de ce travail, il m'est fortement agréable d'exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à son aboutissement.

## RESUME

*Argania spinosa* (L.Skeels) est une espèce agrosylvopastorale endémique du Sud-Ouest du Maroc. Cet arbre joue un rôle socioéconomique et environnemental très important. La Réserve de Biosphère d'Arganeraie (RBA) représente un hotspot unique de la biodiversité mondiale. Pourtant, elle continue à subir une pression anthropique excessive, accentuée récemment par les effets du changement climatique. Compte tenu de cette situation alarmante, la présente étude vise la caractérisation des écosystèmes d'arganeraie via la modélisation de la distribution spatiale et la cartographie des composantes de la biodiversité.

Pour ce faire, l'approche éco-géographique a été adoptée moyennant un formulaire IPGRI. Quatre sites répartis sur les différentes régions de l'arganeraie ont servi comme échantillons. La collecte des données a été faite en adoptant la méthode Transect/Quadrats. Les variables décrivant la localisation géographique, la physiographie générale, les pratiques agroforestières et les paramètres phytoécologiques ont été notés. Multiples variables bioclimatiques et topographiques ont été extraites par rapport aux limites géographiques de la RBA. La modélisation de la distribution des espèces associées (SSDM) d'arganier a été réalisée par rapport aux limites géographiques du Maroc. L'apport des images satellitaires à très haute résolution a été testé pour la cartographie de l'arganier et ses espèces associées. Les résultats obtenus ont permis une caractérisation générale de la diversité des écosystèmes étudiés. Multiples cartes bioclimatiques et topographiques ont été élaborées pour permettre une meilleure caractérisation de l'arganeraie. Le modèle développé a permis la cartographie de la probabilité de présence d'arganier et de la richesse spécifique des sites échantillonnés. Ainsi, un modèle structural de la RBA a été proposé. Les paramètres d'évaluation du modèle ont attesté son efficacité et sa qualité de prédiction. Parmi les 17 variables environnementales retenues pour la modélisation, l'indice topographique d'humidité (33,35%) et l'évapotranspiration potentielle moyenne du mois le plus froid (25,51%) ont révélés des contributions importantes dans la distribution spatiale de l'arganier au Maroc. L'apport des images satellitaires à très haute résolution dans la cartographie des espèces associées a affiché un pouvoir discriminant entre les différentes strates de la végétation ainsi qu'à l'intérieur de chaque strate.

Ces résultats peuvent être exploités pour redimensionner la structure de la réserve de biosphère d'arganier et favoriser sa conservation *in situ/circa situ* via l'approche participative, orienter le choix des zones favorables pour la promotion de l'arganiculture et évaluer le potentiel réel du cortège floristique d'arganier, notamment, les PAM et les espèces pastorales. Par ailleurs, la combinaison de l'approche éco géographique et la télédétection spatiale a affiché un pouvoir potentiel à exploiter en matière de suivi et évaluation de la biodiversité.

**Mots Clés :** Arganeraie, approche éco géographique, conservation, biodiversité, SSDM, télédétection spatiale, SIG.

## ABSTRACT

*Argania spinosa* (L. Skeels) is an agrosylvopastoral species endemic to southwest Morocco. This tree plays a very important socio-economic and environmental role. The Argan Biosphere Reserve (RBA) is a unique hotspot for global biodiversity. However, this wealth continues to be under excessive anthropogenic pressure, recently exacerbated by the effects of climate change. In view of this alarming situation, this study aims to characterize Argan ecosystems through spatial distribution modelling and mapping of biodiversity components.

To do this, the eco-geographical approach was adopted using an IPGRI form. Four sites spread over the different regions of the argan grove were considered as samples. Data collection was carried out using the Transect/Quadrat method. Variables describing geographical location, general physiography, agroforestry practices and phytoecological parameters were noted. Bioclimatic and topographic variables were extracted over the geographic limits of the RBA and Morocco. Stacked species distribution modeling (SSDM) of argan trees was carried out in relation to the geographical limits of Morocco. The contribution of very high-resolution satellite images has been tested for mapping of the argan tree and its associated species. The results obtained allowed a general characterization of the studied ecosystems. Multiple bioclimatic and topographic maps were developed for a better characterization of the RBA. The developed model allowed the mapping of land suitability of argan trees and specific richness of sampled sites. Therefore, a structural model was proposed for the RBA. The evaluation parameters of the model attested to its effectiveness and predictive quality. Among the 17 retained environmental variables used for modeling, the topographic wetness index (33.35%) and the average potential evapotranspiration of the coldest month (25.51%) revealed significant contributions to the spatial distribution of the argan tree in Morocco. The contribution of very high-resolution satellite images to the mapping of associated species has shown a discriminating power between the different vegetation strata as well as within each stratum.

These results can be used to resize the structure of the argan biosphere reserve and promote its conservation *in situ/circa situ* through the participatory approach, guide the choice of ultimate areas for the promotion of arganiculture and assess the real potential of the argan-associated species, in particular, PAM and pastoral species. In addition, the combination of the eco-geographical approach and spatial remote sensing has shown potential power to be harnessed in biodiversity monitoring and assessment.

**Keywords:** Argan grove, eco-geographical approach, conservation, biodiversity, SSDM, spatial remote sensing, GIS.

## SOMMAIRE

DEDICACES.....	II
REMERCIEMENTS .....	III
RESUME.....	IV
SOMMAIRE.....	VI
LISTE DES FIGURES .....	X
LISTE DES ANNEXES .....	XIII
LISTE DES ACRONYMES.....	XIV
INTRODUCTION GENERALE.....	1
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE .....	5
I. Aperçu général sur l'arganier ( <i>Argania spinosa</i> (L.) Skeels) .....	6
1. Origine et répartition géographique de l'arganier .....	6
2. Description botanique de l'arganier .....	7
3. Biologie et phénologie de l'arganier .....	9
4. Ecologie de l'arganier .....	9
5. Caractéristiques bioclimatiques.....	9
6. Caractéristiques édaphiques .....	11
7. Régénération de l'arganier .....	11
7.1. Régénération par semis .....	11
7.2. Régénération naturelle par rejet de souches.....	11
7.3. Régénération artificielle.....	12
8. Intérêts de l'arganier.....	12
9. Multi-usage de l'arganier .....	12
9.1. Production de bois.....	12
9.2. Production fourragère .....	12
9.3. Production d'huile.....	13
II. L'originalité de l'arganeraie entre la dégradation et la conservation.....	14
1. Le régime forestier de l'arganeraie : Un statut particulier .....	14

2.	Les services écosystémiques de l'arganeraie .....	15
3.	La diversité biogéographie de l'arganeraie .....	18
3.1.	Le littoral océanique .....	19
3.2.	La montagne exposée aux perturbations océaniques .....	19
3.3.	Les hauts plateaux continentaux .....	20
3.4.	Le secteur saharien.....	20
4.	La dynamique de dégradation de l'arganeraie .....	20
5.	La conservation de la diversité d'arganeraie : Stratégies et méthodes.....	21
5.1.	Les stratégies de conservation des bioressources .....	21
a.	La conservation <i>in situ</i> .....	22
b.	La conservation <i>circa situ</i> .....	22
c.	La conservation <i>ex situ</i> .....	22
5.2.	Les méthodes de conservation de la biodiversité de l'arganeraie.....	22
III.	L'approche éco géographique au service de la conservation des ressources phytogénétiques.....	23
1.	Evolution de l'approche éco géographique.....	23
2.	Potentialités actuelles de l'approche éco géographique.....	24
2.1.	Standards des bases de données éco géographiques .....	24
2.2.	Disponibilité des données éco géographiques en ligne.....	25
2.3.	Méthodes de collecte des données éco-géographiques .....	26
2.4.	Evaluation des menaces .....	27
2.5.	Analyse SIG et prédiction de la distribution des espèces .....	28
IV.	Apport des images satellitaires pour la différenciation des formation végétales.....	31
1.	Utilisation des images satellitaires : Cas de l'arganeraie .....	32
2.	Apport des images satellitaires à Très Haute Résolution (THR) .....	32
3.	Suivi et évaluation de la biodiversité mondiale .....	33
	MATERIEL ET METHODES .....	36
I.	Présentation du cadre d'étude .....	37

1.	Objectif global.....	37
2.	Objectifs spécifiques .....	39
II.	Présentation de la zone d'étude.....	39
1.	Cadre administrative .....	40
2.	Cadre géographique et localisation des sites.....	41
3.	Cadre sociale .....	42
4.	Etat d'occupation de sol .....	43
5.	Milieu physique.....	44
5.1.	Géologie.....	44
5.2.	Pédologie.....	44
5.3.	Orographie .....	46
6.	Cadre climatique .....	47
III.	Approche méthodologique .....	48
1.	Collecte de données.....	48
2.	Préparation des données .....	49
3.	Traitement des données.....	55
	RESULTATS ET DISCUSSION .....	59
1.	Caractérisation générale des sites.....	60
1.1.	Localisation géographique .....	60
1.2.	Physiographie générale .....	61
1.3.	Agroforesterie .....	63
1.4.	Phytoécologie.....	64
2.	Caractérisation pédoclimatique de l'arganeraie .....	67
2.1.	Caractérisation orographique .....	67
2.2.	Caractérisation climatique .....	70
3.	Analyse multivariée.....	75
4.	Modélisation de la distribution des espèces associées (SSDM).....	79

4.1.	Modélisation de la niche écologique de l'arganier au Maroc .....	80
4.2.	Evaluation de la précision du modèle SVM .....	82
4.3.	Contributions relatives des variables environnementales .....	83
4.4.	Composantes de biodiversité .....	85
4.5.	Modèle de Réserve de l'Homme et de Biosphère de l'arganier .....	88
5.	Analyses d'image satellitaire .....	90
5.1.	Classification non supervisée.....	90
5.2.	Analyse multispectrale des espèces géolocalisées.....	91
5.3.	Classification supervisée des espèces géolocalisées.....	94
	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....	96
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	100
	ANNEXES.....	114
	ملخص.....	118

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de probabilité de présence montrant l'aire potentielle d'Argania spinosa au Maroc (Moukrim et al., 2018).....	7
Figure 2: Caractères botaniques de l'arganier (A. branche avec inflorescences ; B. rameau avec fruit ; C. fleur ; D. graine.) (Source : M'hirit et al., 1999).....	8
Figure 3: Place de l'Arganier dans le climatogramme pluviothermique selon le quotient d'Emberger-sauvage.....	10
Figure 4: Disponibilité d'informations sur les spécimens des principaux herbiers du monde par la GBIF (Source : Collecting Plant Genetic Diversity. Technical Guidelines, 2011).....	26
Figure 5: Illustration du schéma générale d'SSDM utilisé pour l'évaluation des variables essentielles de la biodiversité (VEB) .....	29
Figure 6: : Présentation des différentes applications de la télédétection en milieu forestier en fonction de la résolution spatiale.....	31
Figure 7: Illustration de l'organisation de la chaîne de valeur des variables essentielles de la biodiversité (VEB) (Kissling et al., 2017).....	34
Figure 8: Spécifications instrumentales et améliorations méthodologiques : la télédétection au service de l'évaluation des Variables Essentielles de la Biodiversité (VEB). (Pereira et al., 2013) .....	35
Figure 9: Schéma illustrant le modèle adopté pour la conservation des ressources phytogénétiques (Maxted et al., 1997).....	38
Figure 10: Carte thématique de la situation administrative de l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc .....	40
Figure 11: Carte thématique de la zone d'étude illustrant la situation géographique administrative de la zone d'étude.....	42
Figure 12 : Carte pédologique de l'aire de répartition de l'arganier (Cavallar, 1950).....	45
Figure 13 : Illustration de la distribution spatiale de l'altitude dans la région d'arganeraie du Sud-Ouest Marocain.....	46
Figure 14 : Carte thématique représentant la distribution spatiale de la pente dans l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc.....	67
Figure 15 : Carte thématique représentant la distribution spatiale de l'exposition dans l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc .....	68
Figure 16 : Illustration de la distribution spatiale de l'indice d'humidité topographique dans l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc .....	69

Figure 17 : Illustration de la distribution spatiale des indices bioclimatiques utilisés pour la caractérisation de l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc .....	70
Figure 18 : Illustration de la distribution spatiale des ETP quadrimestrielles moyennes dans l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc .....	72
Figure 19 : Illustration de la distribution spatiale de l'ETP annuelle et l'ETP de saisonnalité moyennes dans l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc .....	73
Figure 20 : Illustration de la distribution spatiale de quelques paramètres thermiques utilisés pour la caractérisation de l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc .....	74
Figure 21 : Diagramme des pourcentages de la variance expliqués par chaque axe principal	76
Figure 22: Cercle de corrélations et des contributions relatives des variables phytoécologiques et géographiques.....	77
Figure 23: Représentation graphique des arbres d'arganier regroupés par site dans le plan principal de l'ACP.....	78
Figure 24: Carte de probabilité de la distribution de l'arganier au Maroc (Résultats d'SVM)	81
Figure 25: Contributions relatives des variables environnementales dans la distribution de l'arganier fournit par le classificateur SVM. ....	84
Figure 26: Illustration de la richesse spécifique élaborée par SVM via SSDM.....	86
Figure 27: Illustration des paramètres d'évaluation de la modélisation de la diversité de l'arganeraie.....	87
Figure 28 : Illustration du modèle de Reserve de biosphère d'Arganier obtenue .....	89
Figure 29 : Illustration des groupes d'occupation de sol issues de la classification non supervisée de l'NDVI et GNDVI. ....	90
Figure 30: Illustration des signatures spectrales d'Argania spinosa et Olea sp. ....	91
Figure 31: Illustration des signatures spectrales d'Acacia gummifera et Ziziphus lotus. ....	92
Figure 32: Illustration des signatures spectrales d'Ononis natrix et Asparagus Ssp.....	93
Figure 33: : Illustration des différentes classes de végétation issues de la classification supervisée par Randomforest .....	94

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:L'état des services écosystémiques de l'arganeraie, leur évolution prévue, les forces motrices et les parties prenantes concernées (Karmaoui et al., 2016).....	17
Tableau 2 : Suite de l'état des services écosystémiques de l'arganeraie.....	18
Tableau 3: Statistiques descriptives des caractéristiques générales des provinces de la zone d'étude (ANDZOA,2010).....	43
Tableau 4: Superficie d'occupation de sol dans d'arganeraie (Sinsin , Qarro et al.,2017) .....	44
Tableau 5: Liste des variables collectées sur les différents sites étudiés .....	49
Tableau 6: Liste des variables caractérisant la localisation géographique de quelques individus d'arganier .....	50
Tableau 7: Liste des variables caractérisant la physiographie générale de l'arganeraie.....	50
Tableau 8: Liste des variables caractéristiques des pratiques agroforestières .....	51
Tableau 9: Liste des variables phytoécologiques caractéristiques de quelques individus géolocalisés .....	51
Tableau 10: Description des variables environnementales utilisées pour la caractérisation pédoclimatique de l'arganeraie Sud-Ouest du Maroc .....	54
Tableau 11: Liste des variables environnementales utilisées pour la modélisation de la niche écologique de l'arganier au Maroc.....	55
Tableau 12: Caractéristiques spectrales de l'image satellitaire étudiée.....	58
Tableau 13: Liste des coordonnées des différents quadrats échantillonnés.....	61
Tableau 14: Récapitulatif des fréquences des modalités des variables caractéristiques de la physiographie générale des différents quadrats étudiés.....	62
Tableau 15: Récapitulatif de la distribution fréquentielle des variables caractéristiques des pratiques agroforestières .....	64
Tableau 16: Récapitulatif fréquentiel et statistiques descriptives des différents paramètres de la végétation caractérisant l'arganier.....	65
Tableau 17: Résultats du test MANOVA par rapport aux différents facteurs physiogéographiques.....	75
Tableau 18: Indices de diversité par site .....	79
Tableau 19: Récapitulatif des variables de sorties de la modélisation de la distribution des espèces associées (Schmitt et al., 2017).....	80
Tableau 20: Superficies des différentes classes de probabilité de présence de l'arganier au Maroc .....	82
Tableau 21: Récapitulatif des paramètres d'évaluation de précision du modèle obtenu par SVM .....	83

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1: Formulaire IPGRI : Composante de la physiographie générale .....	115
Annexe 2: Formulaire IPGRI : Composante agroforestière .....	116
Annexe 3: Formulaire IPGRI : Composante phytoécologique .....	117

## LISTE DES ACRONYMES

**ACP:** Analyse en Composantes Principales.

**ANDZOA:** Agence Nationale de Développement dans le Zones Oasiennes et l'arganier.

**CNES:** Centre Nationale d'Etudes Spatiales.

**CWR:** Crop Wild Relatives.

**EBV:** Essential Variables of Biodiversity.

**EEA:** European Environmental Agency.

**ESRI:** Environmental Systems Research Institute.

**ETP:** Evapotranspiration Potentielle.

**FAO:** Food and Agricultural Organization.

**GBIF:** Global Biodiversity Information Facility.

**GDD:** Growing Degree Day.

**GIZ:** Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.

**GNDVI:** Green Normalized Difference of Vegetation Index.

**GTDT:** Groupe de Travail sur les bases de Données Taxonomiques.

**HCEFLCD:** Haut-Commissariat des Eaux et Forêts et Lutte Contre la Désertification.

**ICARDA:** International Center for Agricultural Research in Dry Areas.

**IFN:** Inventaire Forestier National.

**IPCC:** Intergovernmental Panel and Climate Change.

**IPGRI:** International Plant Genetic Resource Institute.

**IUCN:** International United Conservation of Nature.

**MANOVA:** Multivariate Analysis of Variance.

**MDCE :** Ministère Délégué Chargé de l'Environnement.

**NDVI:** Normalized Difference of Vegetation Index.

**ODK:** Open Data Kit.

**OMD:** Objectif du Millénaire pour le Développement.

**PAACC:** Le Projet sur l'Adaptation de l'Agriculture au Changement Climatique.

**PAM:** Plantes Aromatiques et Médicinales.

**RBA:** Réserve de Biosphère d'Arganier.

**SDM:** Species Distribution Modeling.

**SIG:** Système d'Information Géographique.

**SSDM:** Stacked Species Distribution Modeling.

**TWI:** Topographic Index of Wetness.

**UNESCO:** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

**AFSIS:** Africa Soil Information Services.

## **INTRODUCTION GENERALE**

Les effets conjugués du changement climatique et du facteur anthropique se manifestent dans la dégradation alarmante et rapide des habitats naturels, conduisant ainsi à la sixième extinction massive de la biodiversité mondiale (Pereira et *al.*, 2010). Au cours des 50 dernières années, les populations ont changé les écosystèmes naturels plus que jamais (Chapin et *al.*, 2000). D'où, l'étude et la surveillance des écosystèmes forestiers, dans un contexte de changements climatiques et de diminution de la biodiversité, est une priorité scientifique, politique et socio-économique (Benoit, 2014).

Le Maroc est considéré comme l'un des pays les plus riches en biodiversité dans la région méditerranéenne, disposant d'une quarantaine de grands types d'écosystèmes (HCEFLCD, 2017). Il en découle un large éventail de services écosystémiques dont l'Homme bénéficie depuis des temps immémoriaux. En effet, les écosystèmes forestiers assurent des fonctions vitales indispensables pour la perpétuité de l'Homme. Citant entre autres, la protection (sol, régulation des eaux, habitats naturels pour les pollinisateurs, etc.), la production (bois, fourrage, fruits, glands, liège, plantes aromatiques et médicinales, etc.), la purification de l'air, la séquestration du carbone, la récréation, l'éco-tourisme, etc. (Oubrahim, 2015; Bourlion et *al.*, 2016). Ces services écosystémiques représentent ainsi un moyen de subsistance pour des millions de populations riveraines, et sont à la base des économies locales (Lahssini et *al.*, 2015; El Mokaddem, 2016).

Toutefois, ces écosystèmes sont assujettis à des contraintes socio-économiques (Benabid, 2000), liées aux conditions précaires des populations rurales usagères et d'autres d'ordre naturels, liées à l'aridification croissante du climat (IPCC, 2014). Ceci se traduit par la déforestation, la régression des superficies forestières, notamment dans les zones arides, et le changement d'architecture des écosystèmes suite aux difficultés de régénération et la fossilisation de certaines forêts.

En matière de spatialisation bioclimatique des écosystèmes naturels, 87% de la superficie du territoire marocain est couverte par des zones arides. Basé sur l'indice de Bagnouls-Gausson, 49% est caractérisé par un climat hyperaride, 24% du semi-aride et 14% de l'aride (Mokhtari et *al.*, 2013). Dans ce contexte, Karmaoui (2016) a déclaré que les zones arides et semi-arides comptent parmi les écosystèmes les plus vulnérables.

Les arganeraies représentent des écosystèmes uniques des zones arides et semiarides du Sud-Ouest Marocain. Elles fournissent une multitude de biens et services écosystémiques, environnementaux et socioéconomiques précieux. Elles abritent environ le tiers de la flore

vasculaire marocaine, soit 1240 espèces et sous-espèces, dont 142 endémiques (Peltier, 1982). Encore plus, l'arbre d'arganier est multiusage: agro-sylvo-pastorale. Ceci traduit la forte relation entre l'Homme et cette ressource (Wahidi, 2013). D'où, son statut juridique particulier. En effet, les populations locales ont le droit de jouissance des multiples biens et services fournis par les écosystèmes à arganier (exploitation du bois mort, utilisation du sol, culture sous arganier, cueillette de fruit, etc). En outre, il a été attesté que 1.3 millions de personnes parmi les 3 millions de la population riveraine des arganeraies dépendent directement de l'exploitation de cette ressource (Romagny et Boujrouf, 2010).

Grâce à sa tolérance à la chaleur et la sécheresse, l'arganier peut survivre dans des conditions d'aridité sévères (El Mousadik et *al.*, 2014). D'où, son rôle majeur dans la préservation des équilibres écologiques, de la biodiversité et la lutte contre la désertification (Aouragh, 2012). Cette importance atteste la reconnaissance de ces écosystèmes en tant que patrimoine mondial avec un statut spécial de réserve de l'Homme et Biosphère (UNESCO, 1998).

Certes, les arganeraies subissent encore des pressions prononcées. La régression en densité principalement en plaine (Benabid et Melhaoui, 2011), l'apparition des maladies (lichens) (Bouharroud et *al.*, 2017) et la coupe illicite de bois sont des raisons parmi plusieurs derrière cette dynamique de dégradation. Ce déclin s'est accentué au cours des deux dernières décennies (Aouragh, 2012), en raison de nombreuses agressions d'origine anthropique et climatique (Naggar et M'hirit, 2006). Par conséquent, la conservation et la gestion durable des écosystèmes d'arganeraies est indispensable à l'échelle nationale aussi bien qu'à l'échelle internationale dans le contexte du changement climatique annoncé pour le Maroc (MDCE, 2016) et de la stratégie nationale du développement durable. Pour ce faire, il est nécessaire de caractériser le milieu naturel de l'arganier et identifier les descripteurs environnementaux qui déterminent sa répartition, ainsi actualiser la délimitation de son aire de distribution potentielle et promouvoir sa régénération et éventuellement sa restauration. En outre, la cartographie des grandes formations végétales associées à l'arganier représente un élément clé pour la délimitation de sa niche écologique. En effet, les espèces associées « les plantes nurses » favorisent la régénération de l'arganier (Benabid et *al.*, 2011). Ceci, va permettre d'évaluer l'état de la biodiversité d'arganeraie et prédire son aire potentielle, en vue de recommander des scénarios futurs pour prévenir la perte de la biodiversité et fournir une base de données actualisées aux décideurs concernés pour la conservation et la gestion durable de cette espèce endémique et des écosystèmes associés.

Dans ce contexte, la télédétection spatiale et la modélisation de la distribution des espèces associées (*SSDM: Stacked Species Distribution Modeling*) sont de plus en plus utilisées en matière de gestion et de conservation de l'environnement et de la biodiversité (Schmit et *al.*, 2017 ; Barbosa et *al.*, 2015). Ces approches sont surtout adaptées aux problématiques majeures de compréhension, de caractérisation et de prédiction de l'aire potentielle d'une espèce, aussi bien que l'identification des facteurs déterminants de son aire naturelle.

Ainsi, la présente étude s'insère dans le cadre du contrat programme arganier et de l'appui à la recherche scientifique sous tutelle de l'ANDZOA. La caractérisation des ressources de l'arganeraie étant une composante clé, en particulier pour la distribution, l'évolution et l'élaboration d'orientations. C'est dans ce sens qu'une collaboration ANDZOA/GIZ est en cours dans le cadre de la mise en place du Centre National de l'Arganier (CNA) avec l'appui de l'ICARDA.

Dans ce contexte, l'objectif est double: Il s'agit de **déterminer** les descripteurs environnementaux les plus discriminants de la distribution d'arganier et de **cartographier** son aire de distribution naturelle via la modélisation spatiale. Parallèlement, l'étude vise à **démontrer** l'apport des images satellitaires à très haute résolution en matière de suivi de la biodiversité. Ainsi, l'exploitation des ressources technologiques avancées au service de la nature permettrait la mise en œuvre des stratégies de gestion durable mieux adaptées pour la conservation de cette espèce endémique menacée.

**REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

## **I. Aperçu général sur l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels)**

### **1. Origine et répartition géographique de l'arganier**

*Argania spinosa* (L.) Skeels, espèce végétale endémique du Maroc et le seul représentant de la famille des sapotacées en Afrique du Nord (Fennane et Ibn Tattou, 2012; El Oualidi et *al.*, 2012). Cet arbre est l'espèce phare du cortège floristique forestier marocain (Moukrim et *al.*, 2018). Le problème de son origine se pose toujours et crée un grand débat entre les chercheurs dans ce domaine. Selon Msanda et *al.*, (2005), cet arbre est considéré comme un fossile vivant d'origine très ancienne (Tertiaire), quand l'Europe jouissait d'un climat tempéré chaud ou subtropical comme en témoigne la découverte en Sardaigne d'un genre très semblable appelé Arganioxyton. En l'absence de fossile, l'origine de l'arganier reste délicate à préciser.

Cette espèce unique de son genre couvre une superficie de 871 210 ha, principalement, localisée au Sud-Ouest du Maroc (Moukrim et *al.*, 2018). Ce sont souvent de vieux taillis ou futaies, avec ou sans sous-bois arbustif ([www.chm-cdb.net](http://www.chm-cdb.net)). Ce peuplement s'étend depuis l'embouchure de l'oued Tensift au Nord, jusqu'à l'embouchure de l'Oued Drâa au Sud entre les courbes latitudinales 29° et 32°, dans la plaine de Souss et sur les flancs des parties occidentales du Haut Atlas occidental et sur les versants septentrionaux et méridionaux de l'Anti Atlas occidental jusqu'à des altitudes de 1300-1500 m. Des colonies isolées d'arganiers se trouve également au Nord-Est du Maroc (35°N, 3°W) dans les monts des Bni-Snassen près d'Oujda et dans la haute vallée Grou au Sud-Est de Rabat (Msanda et *al.*, 2005).

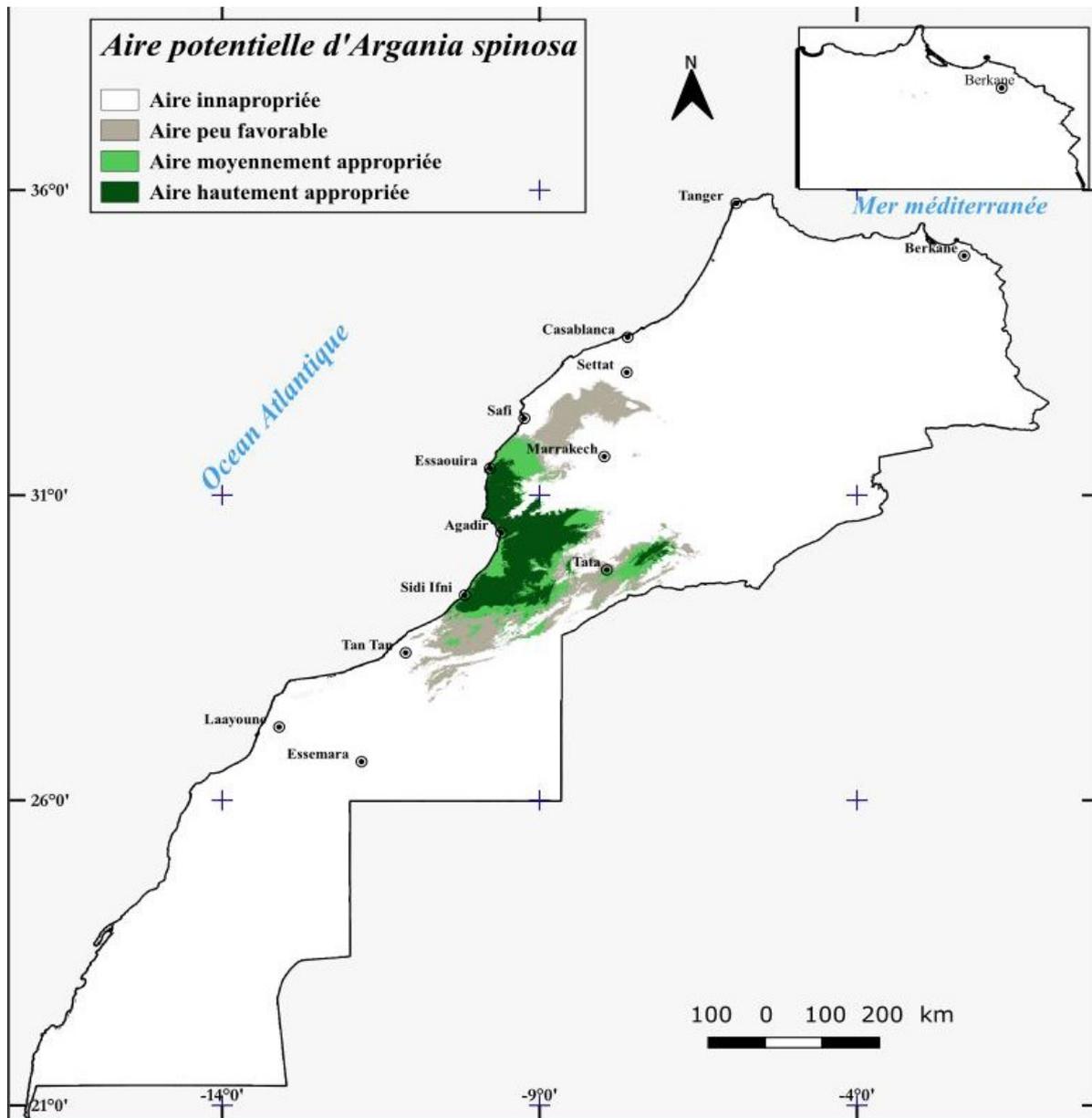


Figure 1: Carte de probabilité de présence montrant l'aire potentielle d'*Argania spinosa* au Maroc (Moukrim et al., 2018)

## 2. Description botanique de l'arganier

*Argania spinosa* (L.) Skeels appartient à l'ordre des Ebénales, famille des Sapotacées. C'est le représentant le plus septentrional d'une famille essentiellement tropicale et subtropicale dont plusieurs espèces ont des fruits à grand intérêt économique (Karité, Moabi, Gutta-percha) (wahidi et al., 2013).

Cet arbre peut dépasser 10 m de hauteur, sa cime est très grande, dense et à contour arrondi. L'accroissement en hauteur est de 20 à 30 cm/an durant les 20 premières années (Bellefontaine, 2010). Il offre une couronne dressée et largement déployée. Le tronc est court (2 à 3 m), tortueux et souvent formé par plusieurs tiges entrelacées. L'écorce est grise, rugueuse et crevassée et son aspect écailleux rappelant la peau du serpent. Les ramifications sont très denses et variables. Leurs extrémités sont souvent épineuses.

Les feuilles sont variables en termes de forme, la longueur varie de 1,5 à 5 cm (Zahidi *et al.*, 2013a). On distingue les feuilles simples de celles réunies en bouquets (de 2 à 9 feuilles/bouquet) avec un pétiole plus ou moins distinct (Metougui *et al.*, 2018). La couleur des feuilles varie du vert sombre au vert blanc. Ses petites feuilles alternes sont persistantes et coriaces que l'arbre peut perdre complètement ou partiellement en fonction des fortes chaleurs pour économiser de l'eau.

Les fleurs discrètes et regroupées en grappes (glomérules) apparaissent en février. Ils peuvent atteindre jusqu'à 15 fleurs par glomérule, couvrant ainsi entièrement l'arbre d'un voile jaune verdâtre ([www.edenmagazine.be](http://www.edenmagazine.be)).

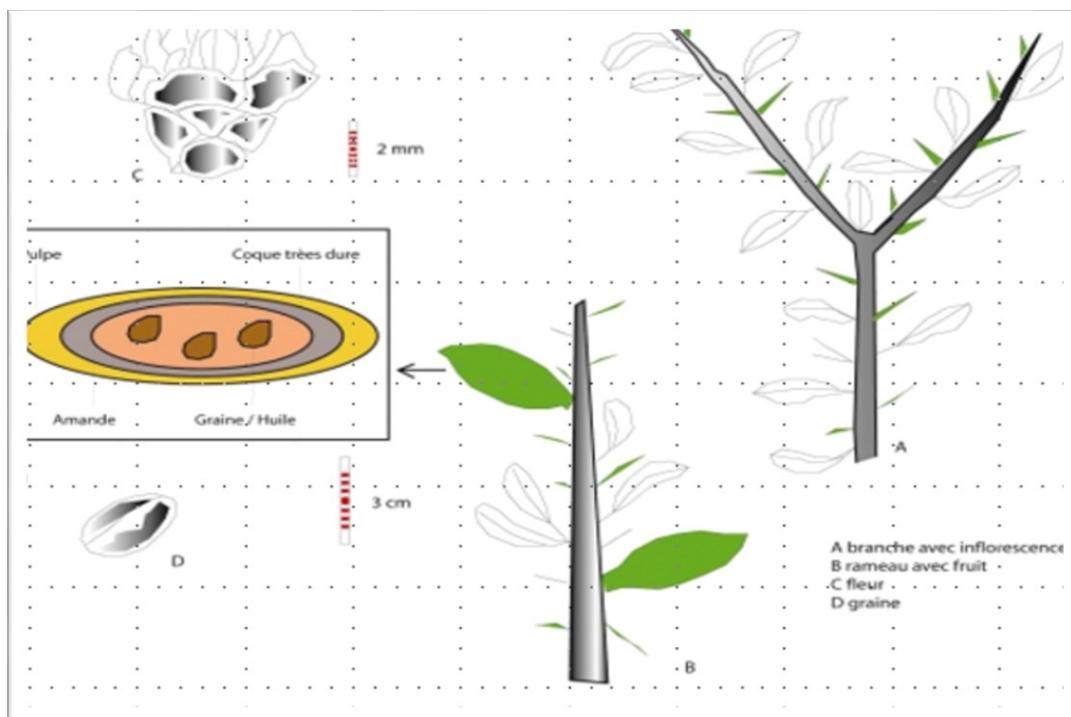


Figure 2: Caractères botaniques de l'arganier (A. branche avec inflorescences ; B. rameau avec fruit ; C. fleur ; D. graine.) (Source : M'hirit *et al.*, 1999)

Le fruit, issu d'une fleur hermaphrodite d'une couleur vert-jaunâtre ou jaune à maturité, plus souvent unicolore, mais il n'est pas rare de trouver des fruits veinés de rouge (Bani-Aameur et *al.*, 2000). Cette baie oléagineuse dont la taille va de l'olive à la noix, composé d'un péricarpe charnu et d'un noyau central très dur. Le nombre d'amendons varie de 1 à 5 par fruit (Ait Aabed et *al.*, 2012).

Ses racines souterraines pivotantes sont très développées. Elles peuvent atteindre 30 m en profondeur ([www.edenmagazine.be](http://www.edenmagazine.be)). Après la coupe de la partie aérienne, l'arbre rejette de souche jusqu'à un âge très avancé, pouvant dépasser 200 à 250 ans (M'hirit et *al.*, 1998).

### **3. Biologie et phénologie de l'arganier**

L'arganier est une espèce très tolérante au stress hydrique d'où son extension dans les zones continentales à climat aride (Chakhchar et *al.*, 2017). Sa vitalité physiologique est remarquable. En Effet, son pouvoir d'émission de rejets de tige et de souche après diverses mutilations explique l'adaptation génétique avancé de cette espèce à son aire naturelle (Wahidi et *al.*, 2012). Concernant la phénologie, plusieurs auteurs ont attesté la grande variabilité intraspécifique et inter-stationnelle des phénophases d'arganier dans son aire naturelle (Bendaanoun et *al.*, 2015). Ces phénophases sont : La feuillaison, l'épinaison, la floraison (Stades 1,2,3) et la fructification.

### **4. Ecologie de l'arganier**

L'arganier est une espèce thermophile et xérophile, de bioclimat aride chaud et tempéré (le long du littoral et dans les plaines), à semi-aride chaud et tempéré (flancs du Haut-Atlas et de l'Anti-Atlas), voir saharien plus au sud. Les précipitations annuelles sont comprises entre 250 et 400 mm de Safi à Agadir. De la plaine du Souss jusqu'à l'Anti-Atlas, les précipitations annuelles varient de 250 à 150 mm. Plus au Sud, dans les zones à caractère désertique, elles sont souvent largement inférieures à 100 mm (Msanda, 2005). Par ailleurs, la quasi-totalité des arganeraies se rencontre dans l'étage de végétation Infra méditerranéen. Sa forte plasticité lui permet de s'étendre sur une tranche altitudinale allant du niveau de la mer à 1400 -1500m d'altitude (Aafi et Benabid, 2015).

### **5. Caractéristiques bioclimatiques**

L'idéal pluviométrique pour l'arganier atteint 400 à 500mm par an. Cependant, 120 mm/an semblent suffisants pour son développement dans certaines régions (Nouaim et *al.*, 1991). Dans les conditions où les précipitations sont largement inférieures à 100 mm, l'arganier ne se localise plus que le long des cours d'eau temporaires où il utilise les eaux de ruissellement (Msanda et *al.*, 2005). Vis-à-vis de la température, l'arganier peut supporter des niveaux élevées

et prolongées, régulièrement de plus de 50° C (Nouaim et *al.*, 1991), alors qu'il ne serait persistant que d'une façon exceptionnelle à des températures inférieures à 0° C et encore pour une courte durée (Boudy, 1950).

En termes d'humidité de l'air, cette espèce ne s'installe que faiblement vers le continent, au-delà de 150 kilomètres de l'océan atlantique, justifiant ainsi que l'humidité atmosphérique

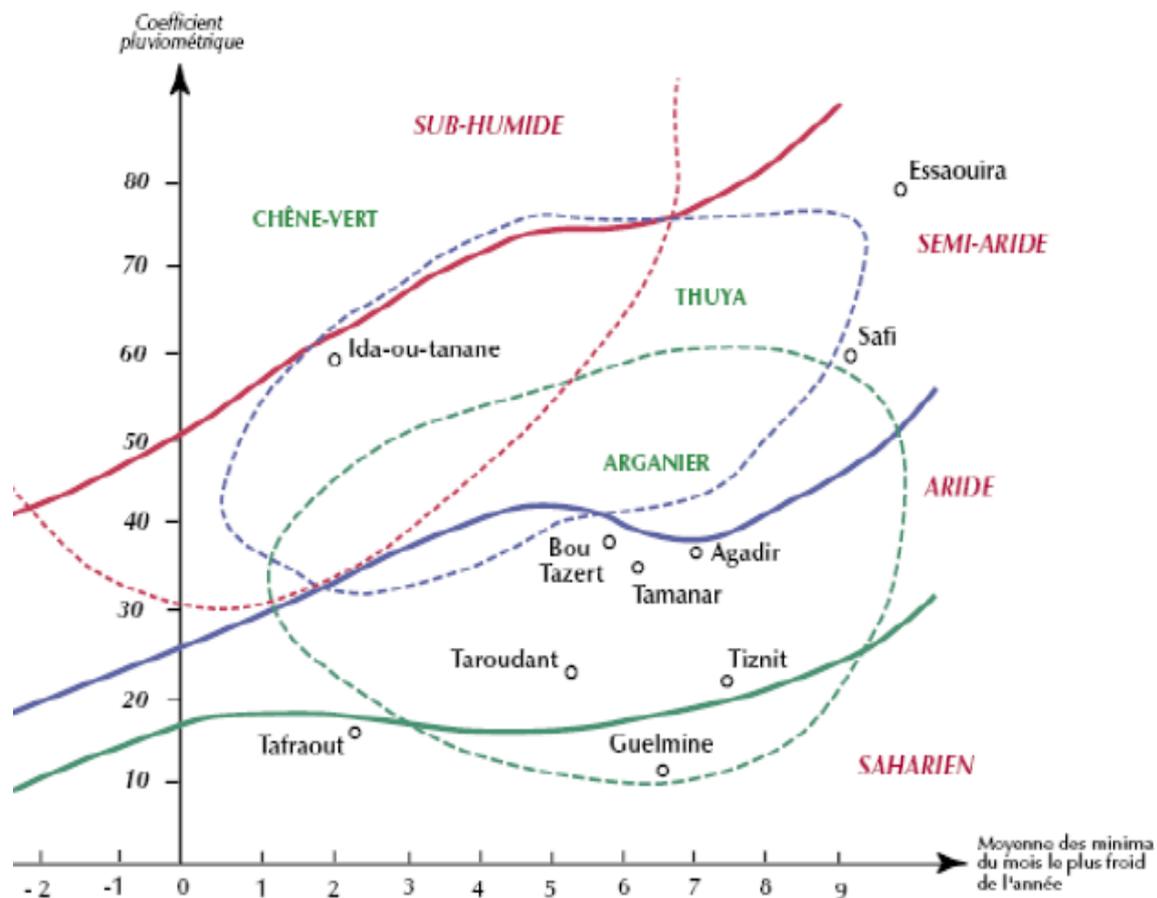


Figure 3: Place de l'Arganier dans le climatogramme pluviométrique selon le quotient d'Emberger-sauvage.

semble être un paramètre clé de l'écologie de cette espèce (Nouaim et Chaussod, 1992).

Le climatogramme d'Emberger ci-dessous illustre la place de l'arganier par rapport aux étages bioclimatiques caractéristiques du Maroc.

Récemment, une étude axée sur la modélisation de la distribution spatiale de l'arganier a révélé que l'ensemble des variables qui contribuent le plus à la délimitation de la niche écologique de l'arganier regroupe des variables climatiques (Moukrim et *al.*, 2018).

## **6. Caractéristiques édaphiques**

L'arganier n'a aucune exigence vis à vis la nature physico-chimique du sol. Il se développe sur les substrats les plus variés à l'origine de nombreux types de sols : colluviaux, alluviaux, bruns, châtaîns, fersiallitiques. etc. (El Aboudi et *al.*, 1992; Msanda, 1993).

La plasticité édaphique de l'arganier lui permet de coloniser toutes sortes de terrains, sauf les sables mobiles (Aafi et Benabid, 2015). Il peut pousser également sur des sols squelettiques très pauvres et même légèrement salés. De plus, le semis de graines sur des sols à différents pH (de 4.6 à 7.5) a montré que l'arganier est indifférent au pH acide du sol (Nouaim, 1995).

Ces résultats ont été récemment confirmés par une étude de la modélisation de la niche écologique de l'arganier. En effet, les autres variables environnementales n'ont que très faiblement contribué à la prédiction du modèle (Moukrim et *al.*, 2018).

## **7. Régénération de l'arganier**

### **7.1. Régénération par semis**

La régénération naturelle par semis serait la solution la plus appropriée pour le maintien et la sauvegarde de l'arganeraie. Or, même si l'arganier fructifie abondamment et assez tôt (rejets de 5 ans), cette régénération est très rare dans la majorité des arganeraies marocaines. La raison revient, d'une part, aux conditions difficiles de germination de la graine inclus dans une coque dure (Boudy, 1952). D'autre part, au ramassage systématique par des usagers ou la consommation par les troupeaux et rongeurs de la presque totalité des fruits. En outre, les conditions écologiques actuelles sont également contraignantes: une pluviométrie très irrégulière, des saisons sèches très prolongée (9 à 10 mois) et un sol superficiel plombé.

Actuellement, les semis naturels ne se trouvent que dans des stations très privilégiées; bords d'oued ou de séguia, à proximité des touffes de *Ziziphus lotus* ou d'euphorbes cactoïdes, des emplacements de charbonnières et dans les zones mises en défens (El Kharouid, 2002).

### **7.2. Régénération naturelle par rejet de souches**

Les difficultés rencontrées au niveau de la régénération naturelle par semis font du rejet de souche, le mode de régénération le plus usité pour le rajeunissement des peuplements d'arganier. En effet, la faculté de rejeter des souches se maintient jusqu'à un âge très avancé (Boudy, 1950; Soulères et *al.*, 1998). Par ailleurs, la fructification des jeunes rejets commence déjà entre 2 à 3 ans après la coupe (Monnier, 1965; El Kharouid, 2002).

### **7.3. Régénération artificielle**

La faculté de rejet de l'arganier diminue avec l'âge de la souche, d'où l'intérêt de ne pas ignorer le recrutement des franc-pieds au moment des coupes. La régénération artificielle a donné des résultats non négligeables dans des sites protégés (forêt d'Admine) ou dans des emplacements des charbonnières. Contrairement aux échecs observés au milieu de l'Arganeraie (Tamanar), des expériences ont montré que les semis réalisés loin de l'Arganeraie (Chichaoua) ont donné des résultats encourageants (Dakouk, 1989).

### **8. Intérêts de l'arganier**

L'écosystème d'arganier représente un patrimoine naturel unique. Ses multiples services écosystémiques contribuent en grande partie dans l'économie régionale. La biodiversité de l'arganeraie constitue une source importante d'approvisionnement en matière première pour assurer le bien-être des populations locales à travers les activités agrosylvopastorales, la filière des PAM (plantes aromatiques et médicinales), l'écotourisme dans les montagnes et loisirs (Krichi, 2017). Ainsi, son intérêt prend une large importance couvrant plusieurs secteurs représentés principalement dans les composantes : environnementale, économique et sociale.

### **9. Multi-usage de l'arganier**

#### **9.1. Production de bois**

Etant très dur, lourd et résistant, le bois de l'arganier est peu utilisé en ébénisterie mais largement comme bois d'œuvre pour la charpente et la construction des instruments agricole (Benziane et El Yousfi, 1989). Ayant un rendement qui dépasse un quintal de charbon au stère, le rendement énergétique du bois de l'arganier est jugé localement supérieur à celui des autres essences disponibles comme le thuya ou le chêne vert (Benziane, 1989). Dans le même sens, il a été rapporté que la consommation moyenne en bois de feu des ménages est de 14 Kg/jour - 16Kg/jour pour les populations de la montagne et 12 Kg/jour pour celle de la plaine- (Mara, 1992; Bougrine et *al.*, 1993).

#### **9.2. Production fourragère**

Les feuilles d'arganier sont très appréciées par les caprins et les camelins, représentant ainsi la principale ressource fourragère en période de sécheresse (Nouaim, 1995). En effet, au niveau de l'arganeraie du Sud-Ouest, la phytomasse fourragère a été estimée à 400 kg de matière sèche par hectare (MS/ha) (Naggar et M'hirit, 2006). La contribution de l'arganier à la phytomasse globale peut atteindre jusqu'à 170 kg MS/ha (Naggar et M'hirit, 2006).

La pulpe des fruits d'arganier constitue également une source de nourriture équilibrée pour les animaux : 20% de sucres, 13% de cellulose, 6% de protéines, et 2% de matière grasse vraie (Zarrouk et *al.*, 1987).

Le tourteau d'argane est une nourriture très recherchée par les ruminants (Charrouf, 1999). Ces résidus d'extraction de l'huile d'argan sont destinés à l'alimentation du bétail et sont parfois utilisés comme engrais.

### **9.3. Production d'huile**

Le fruit d'arganier est un précurseur d'une huile précieuse très recherchée dans plusieurs secteurs. Auparavant, cette huile constituait la principale source de matière grasse aux populations riveraines de l'arganeraie, où elle était utilisée à des fins culinaires, pour ses vertus cosmétiques et thérapeutiques (Moukal, 2004).

Quant à la composition chimique de l'huile d'argane, elle s'est révélée intéressante par la nature de ses fractions glycérique (99%) et insaponifiable 1% (Charrouf, 1984). Il a été démontré que cette huile a un effet régulateur sur le cholestérol, encore plus, son pouvoir de réduction du taux des triglycérides et les risques cardiovasculaires. En outre, des propriétés hypotensives, régulatrices du diabète, hydratantes et régénérative de la peau et même anti-cancérogènes ont aussi été mises en évidence (Berrougui et *al.*, 2006; Berrougui et *al.*, 2004; Charrouf et Guillaume, 1999; Moukal, 2004).

## **II. L'originalité de l'arganeraie entre la dégradation et la conservation**

Depuis le 8 décembre 1998, l'arganeraie a été labélisée par l'UNESCO, première Réserve de Biosphère du Maroc (RBA) étendue sur une superficie de 2,5 millions d'hectares environ. Elle concerne les provinces et les préfectures d'Agadir-Ida Outanane, Inzeguane -Aït Melloul, Chtouka-Aït Baha, Taroudant, Tiznit et Essaouira (ANDZOA, 2010).

L'implication consciente de tous les secteurs et partenaires concernés est une nécessité pour atteindre l'objectif globale de conservation et gestion durable tout en assurant le développement de l'économie régionale via l'approche participative avec les populations locales de la RBA (ANDZOA, 2010).

Actuellement, on assiste à une dynamique importante des écosystèmes d'arganeraie en termes d'implantation de projets de développement à plusieurs échelles. Grâce à son originalité exceptionnelle, la conservation de ce patrimoine universel est devenue très prioritaire à l'échelle internationale. Sa particularité se manifeste à travers les nombreux biens et services écosystémiques qu'il fournit à l'Homme. Ainsi, plusieurs secteurs et filières ont vu le jour dans l'optique de la valorisation de ses ressources. Il s'agit bien des filières PAM, arganiculture, industries de transformation et de production des huiles essentielles cosmétiques et alimentaires (Krichi, 2017). A contrario, d'autres filières informelles grandissent encore au détriment de la conservation de l'arganeraie. Citons entre autres, l'élevage (camelin, caprin et ovin) excessif et non adéquat (transhumants et nomades), l'agriculture intensive, la surexploitation des produits de l'arganier.

Dans ce contexte, il est nécessaire d'établir des termes de références plus précis de l'état de diversité de l'arganeraie. La caractérisation de l'environnement et des associations végétales principales, représentent des éléments clés pour contribuer à l'évaluation de la biodiversité et promouvoir sa conservation.

### **1. Le régime forestier de l'arganeraie : Un statut particulier**

Depuis la période de protectorat, l'arganeraie jouit d'une particularité de gestion et d'exploitation. En effet, la publication du Dahir le 10 Octobre 1917, considérant les liens profonds existant entre l'Homme et la forêt, accorde aux populations locales le droit d'usage. Par la suite, l'extension des cultures a incité la publication d'un arrêté, le 1 Mai 1938 fixant les modalités de droit de jouissance. Ce droit est défini comme suit : « la jouissance coutumière et ancestrale d'un produit de la forêt consommé sur place et dans la limite des besoins familiaux,

étant précisé que l'exercice du droit d'usage ne peut excéder la possibilité de la forêt, ni nuire à sa conservation » (Tarmadi, 2010). Ainsi, les usufruitiers peuvent :

Ramasser le bois mort, la cueillette des fruits, le parcours des troupeaux familiaux, l'utilisation des sols, la coupe du bois de chauffage, de charbonnage et de service, la coupe des branchages pour les clôtures, et l'enlèvement de la terre, du sable et des pierres.

Ce droit d'usage multiple reste valable tant qu'il ne dévie pas de la voie de conservation des ressources forestières.

En effet, ce droit règlemente au sein du territoire domanial la répartition des parcelles entre les usagers ainsi que leurs utilisations au cours de l'année. Sa principale forme est appelée communément « l'Agdal ». Ce mode de gestion est appliqué sur des parcelles forestières bien identifiées et délimitées. En réalité, ce terme qui signifie la mise en défens, définit l'alternance des périodes d'ouverture et de fermeture du territoire pour des ayants droits concernés, associées à diverses règles d'usage (Cordiert et Guenin, 2008). A contrario, le « Mouchaa » est une notion qui désigne des zones de parcours collectives qui sont librement utilisées par tous les riverains (Valerie, 2008).

Cependant, ces deux modes de gestion (coutumière et administrative) s'opposent au forestier pour appliquer la législation, régénérer la forêt (coupes a blanc étoc ou par plantation) et entamer des opérations sylvicoles. Ainsi, à son tour, il ne se préoccupe pas de la gestion de l'Agdal ou du Mouchaa. Tandis que les usagers s'intéressent uniquement à la collecte des fruits, au pâturage et à la culture sous les arganiers, accordant ainsi moins d'importance aux activités des forestiers (Bourbouze et El Aich, 2005).

## **2. Les services écosystémiques de l'arganeraie**

Actuellement, l'arganeraie est reconnue en tant qu'agroécosystème traditionnel. Sa balance est gouvernée par des interactions complexes entre l'Homme et les ressources naturelles de l'écosystème (Karmaoui, 2016). Ce patrimoine naturel offre un large éventail de services écosystémiques grâce à son aptitude d'adaptation aux milieux aride/semi-aride. En fait, l'arganeraie offre une biodiversité exceptionnelle. Il abrite 1240 espèces et sous-espèces, dont 142 endémiques (Msanda et *al.*, 2011), soit 1/3 de la flore vasculaire. Il s'agit d'espèces tropicales à très haute valeur ajoutée pour l'Homme, à savoir : les plantes pastorales, médicinales, mellifères et aromatiques (Benabid, 2011). Encore plus, 1,3 Millions personnes de

la population locale dépendent intimement de l'exploitation d'arganeraie (Romagny et Boujrourf, 2010).

Dans le contexte de changement climatique et la pression anthropique excessive sur les ressources naturelles, les zones arides/semi-arides comptent parmi les écosystèmes les plus vulnérables (Karmaoui, 2016). Ainsi plusieurs études ont été faites pour évaluer l'état des services écosystémiques. L'objectif est de contribuer à l'élaboration d'un modèle de gestion durable et mieux adapté au contexte actuelle, suivant la notion du « socio-écosystème » qui intègre les composantes sociales et biophysiques dans leur complexe d'interaction. Turner et *al.*, (2003) ont conceptualisé le système Homme-Environnement. En 2007, l'ILTER (the International Long-Term Ecological Research Network) a développé un modèle conceptuel appelé "ISSE" (Integrated Science for Society and the Environment). Ce modèle d'écosystème représente le réseau socio-écologique d'interaction en y intégrant la notion des services écosystémiques. En 2016, ce modèle a été appliqué pour l'évaluation de l'état socio-écosystémique d'arganeraie. Les résultats de cette étude concernant l'état des services écosystémiques, leur évolution, les forces de dégradation et les parties concernées par la gestion sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 1: L'état des services écosystémiques de l'arganeraie, leur évolution prévue, les forces motrices et les parties prenantes concernées (Karmaoui et al., 2016).

Service écosystémique (S.E)	Type d'habitat	Etat actuelle des S.E	Evolution prévue		Force motrice de changement	Parties prenantes/ actions liées aux forces motrices
			↑ Croissant	↓ Décroissant		
			→ Stable			
			Demande	Offre		
<b>Services de positionnement</b>						
<b>Aliment</b>	Parcelles d'arganier	-	↑	↓	Surpâturage Déforestation	HCEFLCD ORMVA
<b>Fibre</b>	Parcelles d'arganier	-	↑	↓	Sécheresse	HCEFLCD Agriculteurs
<b>Bio-fuel</b>	Arganeraie de montagne	+/-	→	→	--	HCEFLCD Agriculteurs NGOs
<b>L'eau fraîche</b>	Nappe souterraine/oued	+/-	↑	↓	Surexploitation humaine	ONEE, ABH, NGOs
<b>Ressources génétiques</b>	Forêt	-	→	→	--	HCEFLCD
<b>Substances Biochimiques</b>	Forêt	-	↑	↓	Surexploitation humaine	HERBALIST Industrie pharmaceutique
<b>Services de régulation</b>						
<b>Qualité de l'air/climat</b>	Agrosystèmes forestiers	-/--	↓	↑	--	HCEFLCD NGOs, Agriculteurs Petits exploitants
<b>Séquestration de Carbon</b>	Bassin versant	-/--	↓	↑	Déforestation	HCEFLCD ABH, NGOs
<b>Atténuation des événements extrêmes</b>	Agrosystème forestier	-	↓	↑	--	HCEFLCD ORMVA, NGOs
<b>Traitement des eaux usées</b>	Zones humides	+/-	↓	↑	--	HCFECLD ORMVA

Tableau 2 : Suite de l'état des services écosystémiques de l'arganeraie

<b>Prévention d'érosion</b>	Bassin versant	-/--	↓	↑	Sécheresse	HCFECLD
<b>Contrôle biologique</b>	Bassin versant	-/--	↓	↑	Sécheresse, surexploitation, pollution	HCEFLCD NGOs
<b>Pollinisation</b>	Agrosystème	-	↓	→	Surpâturage, déforestation	NGOs Petits exploitants
<b>Services de support</b>						
<b>Habitat pour les espèces</b>	Agrosystème	-	↑	↓	Salinisation	HCEFLCD
<b>Conservation des ressources génétiques</b>	Agrosystème	-	↑	↓	Sécheresse	HCEFLCD
<b>Services culturelle</b>						
<b>Recréation et écotourismes</b>	Agrosystème forestier et montagnes	+/-	↑	→	Déforestation	Secteur tourisme NGOs Petits exploitants
<b>Valeurs ethniques</b>	Bassin versant et nappe souterraine	-/--	↑	↓	Sécheresse Surexploitation	ONEE, ABH HCEFLCD Secteur privé

**ORMVA** : Office Régional de Mise en Valeur Agricole ; **HCEFLCD** : Haut-Commissariat des Eaux et Forêt et Lutte contre la Désertification ; **ABH** : Agence du Bassin Hydrique.

### 3. La diversité biogéographie de l'arganeraie

L'arganeraie du Sud-Ouest marocain jouit d'une grande diversité à plusieurs échelles. De nombreuses études ont prouvés la présence d'une grande variabilité génétique (Ait Aabed, 2013). En termes de richesse floristique, c'est un hotspot d'une flore endémique et unique à usage multiple et bénéfique. Les valeurs bioécologiques, phytosociologiques, phytodynamiques et ethnobotaniques offertes par les diverses composantes des écosystèmes naturels à *Argania spinosa* sont parmi les plus originales dans le monde (Benabid et Melhaoui, 2011). Ceci, revient en grande partie à la diversité des niches écologiques de son aire de distribution.

Msanda et al., (2015) ont décrit l'arganeraie comme étant un carrefour botanique où se croisent des éléments phytogéographiques variés et uniques. Ainsi, ils suggèrent que cette vaste région peut être subdivisée en quatre grands domaines bioclimatiques : le littoral océanique, la montagne exposée aux perturbations océaniques, les hauts plateaux continentaux et le secteur saharien.

### **3.1. Le littoral océanique**

Il correspond au littoral d'Agadir à Tarfaya, à la plaine du Souss, à la bordure occidentale du Haut Atlas et aux bordures occidentale et septentrionale de l'Anti-Atlas jusqu'à une altitude voisine de 800 m. Il se caractérise par la faiblesse des précipitations, une notable nébulosité, une forte humidité relative et de faibles amplitudes thermiques.

Les températures particulièrement clémentes ont permis le maintien de nombreuses espèces de souches tropicales figurant parmi les plus grandes raretés de la flore marocaine (*Kalanchoe faustii*, *Commelina rupicola*, *Leptochloa ginae*, *Dracaena draco* subsp. *ajgal*). (Msanda et al., 2015).

La végétation de ce domaine est constituée de formations claires de type steppique à pré-steppique à strate inférieure essentiellement thérophytique. Il s'agit de formations basses et ouvertes, où le sol nu apparaît dans des proportions variables. Ces formations sont principalement des arbustes crassulescentes ou succulents glycophytes (*Euphorbia echinus*, *E. beaumierana*, *E. regis-jubae*, *Kleinia anteuphorbium*, etc.).

Actuellement, la diversité des plantes associées dans ce domaine est relativement bien connue. Plusieurs associations y ont été décrites (Barbero et al., 1982; Peltier, 1982; Peltier et Msanda, 1995; Msanda et al., 2005). L'association d'*Euphorbia echini-Arganietum spinosae* est considérée la plus originale du secteur grâce à son aptitude adaptative. Elle est répandue sur un large éventail de variantes environnementales, en plus de *Davallio canariensis- Dracaenetum ajgal* des jbelles Imzi et Adad Medni (Benabid et Cuzin, 1997). Ces deux dernières localités constituent un territoire refuge majeur pour l'Afrique du Nord (Médail et Quézel, 1999). En fait, le Sud-Ouest du Maroc a joué un rôle important dans la conservation des espèces végétales (Médail et Diadema, 2009).

### **3.2. La montagne exposée aux perturbations océaniques**

Une originalité exceptionnelle des montagnes qui dominent Sidi-Ifni (Jbelles Bou Timezguida 1250 m ; Bou Krat 1217 m). C'est à partir de 900 m d'altitude que *Quercus ilex* subsp.

*rotundifolia* trouve sa limite méridionale absolue au Maroc (Msanda, 1990). On le rencontre aussi (Peltier, 1982; El Aboudi, 1990) sur les plus hauts sommets de Kerdous qui reçoivent le maximum de précipitations et d'humidité relative d'origine océanique. En outre, ces montagnes se caractérisent par une large étendue des matorrals -résultant d'une destruction énorme de la forêt par l'Homme- à Lavandes (*Lavandula dentata* et *L. pedunculata*), Cistes (*Cistus villosus* et *C. salviiifolius*) et Cytise (*Teline segonnei* endémique du Kerdous et du massif d'Ifni). La richesse floristique est unique. On ne dénombre pas moins six espèces spéciales au Jbel Lkest (Peltier, 1982).

### **3.3. Les hauts plateaux continentaux**

Cet ensemble apparaît plus à l'est et se confond, principalement, avec les hauts plateaux et la retombée Sud de l'Anti-Atlas. Il est caractérisé par de larges amplitudes thermiques et par la faiblesse des précipitations qui enregistrent moins de 200 mm sur la retombée Sud. Ce secteur est dominé par les steppes à *Artemisia inculta*. La plus grande partie de la steppe est certainement de nature secondaire, elle résulte d'un processus de steppisation lié aux défrichements (Msanda et al., 2015). La présence de reliques forestières (*Tetraclinis articulata* et *Juniperus phoenicea*) et des vestiges de compagnes de la forêt (*Thymus satureoides*, *Lavandula dentata*, *Globularia alypum*, etc.) conforte ce point de vue, d'ailleurs admis par plusieurs travaux (Quézel et al. 1994; Benabid 2000).

### **3.4. Le secteur saharien**

Ce domaine correspond à un secteur hyperaride à pluviosité aléatoire et à forte amplitude thermique. Il apparaît quand la steppe à *Artemisia inculta* laisse la place à celle à *Hammada scoparia* infiltrée d'espèces *raddiana*, *A. seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Lavandula coronopifolia*, *Fagonia longispina*, *Panicum turgidum*, *Retama raetam*, etc.

La définition de structures syntaxonomiques, dans ce secteur est très difficile. Les diverses formations analysées sont relativement homogènes sur le plan floristique, à cause d'une extrême dégradation, et puis la phytosociologie présente au désert est moins d'importance qu'ailleurs (Ozenda, 1977).

## **4. La dynamique de dégradation de l'arganeraie**

Les écosystèmes d'arganeraie subissent une dynamique très importante au niveau de l'occupation de sol (Wahidi, 2013). En effet, la forêt de la plaine a connu d'importante régression face à l'extension excessive des activités anthropiques (agriculture et urbanisation). Ainsi, les matorrals et les sols nus ont gagné en superficie (El Aboudi et al., 2014). Ceci revient

principalement, aux pratiques agricoles irrationnelles et extensives, aussi bien que la non adéquation de la législation forestière à l'état actuel de la dynamique de dégradation que connaît les arganeraies de plaine. Ces constats vont dans le même sens des études réalisées sur la dynamique de dégradation de l'arganeraie (Aouragh, 2012; Wahidi, 2013; Mounir *et al.*, 2014). Récemment, Krichi (2017) a rapporté que la superficie d'arganeraie a fortement régressé. Elle est passée de 1500 000 ha au dernier siècle à 829 087 ha en 2016 et compte à peine 20 millions de pieds environ. En fait, les menaces climatiques et les pressions anthropiques sont en augmentation continue malgré la mise en œuvre de nombreuses actions pour inverser cette tendance (Karmaoui, 2016; Krichi, 2017).

## **5. La conservation de la diversité d'arganeraie : Stratégies et méthodes**

La conservation de la biodiversité est une nécessité primordiale pour garantir la perpétuité de l'Homme sur terre. Il en découle, plusieurs programmes de conservation *in situ* et *ex situ* du germoplasme, de l'habitat, des ressources en eaux, etc. D'où la notion de l'approche écosystémique qui intègre toutes les composantes du milieu naturel pour rétablir l'état d'équilibre des écosystèmes dans leur éco-complexe.

Plusieurs études ont été faites sur la conservation de la diversité des écosystèmes d'arganeraie (Msanda *et al.*, 2011; Benabid et Aafi, 2011; Benabid et Melhaoui, 2011; El Mousadik *et al.*, 2014; Metougui *et al.*, 2018; Moukrim *et al.*, 2018). Différentes méthodes ont été suggérées pour la conservation de ce patrimoine universel, citons entre autres, la restauration écologique par les plantes nurses, la mise en défens, le traitement sylvicole approprié...etc. Pourtant, l'approche participative reste une condition primordiale pour la réalisation des objectifs spécifiques assignés à la conservation. Ceci nécessite la combinaison de différentes stratégies et exige la mise en œuvre de différentes techniques et méthodes adaptées à la situation actuelle de l'arganier.

### **5.1. Les stratégies de conservation des bioressources**

Dans la revue de littératures, Maxted *et al.*, (2000) a cité deux grandes approches, à savoir: la conservation *in situ* et la conservation *ex situ*. Il en découle plusieurs méthodes et techniques.

Par ailleurs, trois stratégies ont été distingué pour la conservation des ressources génétiques de l'arganier: la protection des populations sauvages *in situ*, la gestion des ressources génétiques des populations domestiquées *circa situ* et l'établissement d'une banque de gènes *ex situ* (Leakey et Akinnifesi, 2008).

#### **a. La conservation *in situ***

Il s'agit d'une stratégie de protection des populations sauvages dans leur espace naturel, où la protection commence toujours par préserver les « hotspots » de la diversité de l'espèce consternée avant de protéger d'autres populations considérées secondaires. L'avantage de cette approche est que l'espèce est conservée avec ses symbiotes, pollinisateurs et autres espèces associées (Hawkes et *al.*, 2012; Leakey et Akinnifesi, 2008).

#### **b. La conservation *circa situ***

La stratégie de gestion des ressources génétiques domestiquées au verger dans l'environnement d'origine, ou *circa situ*, est une stratégie rattachée à la conservation *in situ* et basée sur l'utilisation d'un ensemble diversifié de cultivars lors de l'installation des vergers de l'espèce domestiquée (Leakey et Akinnifesi, 2008).

#### **c. La conservation *ex situ***

C'est la conservation des composantes de la biodiversité en dehors de leur habitat naturel. Cette stratégie peut être accomplie via plusieurs méthodes dont, la conservation des semences, ADN et pollen, la conservation *in vitro* et par la conservation dans des banques de gène aux champs, jardins botaniques ou Arboretum (Hawkes et *al.* 2012).

### **5.2. Les méthodes de conservation de la biodiversité de l'arganeraie**

Dans le contexte actuel de l'arganeraie, plusieurs méthodes ont été décrites pour la conservation de la biodiversité. Selon Benabid et Melhaoui (2011), la restauration des conditions naturelles des écosystèmes est une manière optimale qui favorise la conservation de la biodiversité. Dans le même sens, il a été affirmé que la restauration des écosystèmes est une approche prometteuse qui permet de recouvrir la résilience des écosystèmes, d'assurer la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité, d'atténuer les effets des changements climatiques et de contribuer aux bien être humain en assurant la sécurité alimentaire et la réduction de la pauvreté (Lahssini et *al.*, 2017). Certes, le défis de conservation de ce patrimoine dans sa globalité s'avère complexe et lourd (Karmaoui, 2016; Krichi, 2017). Sa dégradation oriente la réflexion vers la conciliation entre la résilience et la bonne gouvernance. En outre, il a été attesté que l'approche participative est subordonnée à la conservation et l'utilisation durable de l'arganeraie en tant que système agroforestier (Tarmadi, 2010; Benabid et *al.*, 2011).

### **III. L'approche éco géographique au service de la conservation des ressources**

#### **phytogénétiques**

Au début du 21<sup>ème</sup> siècle, les études éco géographiques ont pris un poids important en matière de conservation et de gestion de la diversité des ressources phytogénétiques (Guarino et Maxted, 2006). Il a été souligné par Maxted et *al.*, (2011) que la planification et le ciblage de la conservation sont associés à une préparation minutieuse afin d'identifier où prélever le matériel génétique, où établir les réserves génétiques et comment précisément la ressource sera conservée et utilisée ultérieurement. Essentiellement, les relevés éco géographiques utilisent les données historiques de provenance et de population comme base de planification et de ciblage de la conservation future : les données passées sont prédictives (Bilz et *al.*, 2012). Par exemple, étant donné la nécessité de conserver les espèces vivaces sauvages apparentées aux pois de jardin *Vavilovia formosa* (Steven) Fed. Il a été rapporté que cette espèce a toujours poussé sur des éboulis calcaires au-dessus de 2000 mètres en Asie du Sud-Ouest. C'est donc l'habitat susceptible de contenir le matériel génétique pour une conservation *ex situ* et/ou *in situ*. Bien qu'ayant fait cette simple remarque, il faut admettre qu'il y a des régions du monde qui restent encore aujourd'hui sous-étudiées (comme l'Est de la Turquie et la République démocratique du Congo), et que les données passées sont donc imparfaites (Álvarez et *al.*, 2011). Pourtant, il est possible d'utiliser la modélisation prédictive basée sur les données historiques disponibles pour planifier et mettre en œuvre plus efficacement la conservation.

#### **1. Evolution de l'approche éco géographique**

Dans le contexte actuel des changements climatiques et l'évolution technologique, le besoin d'analyse des lacunes en matière de données climatiques et de la diversité génétique prend de l'ampleur. Ainsi, l'approche éco-géographique représente un outil essentiel dans la formulation de stratégies de conservation efficaces et efficientes, bien que, de plus en plus, les enquêtes éco-géographiques soient considérées comme un élément d'une analyse systématique plus complète des lacunes (Gap Analysis) (Alvarez et *al.*, 2011).

Enfaite, il existait déjà une documentation abondante sur l'analyse des lacunes. Il s'agit des protocoles détaillés démontrant comment identifier les domaines dans lesquels certains éléments de la biodiversité sont sous-représentés (Margules, 1989). Ce corpus de documentation a continué d'être élargi (Brooks et *al.*, 2004; Margules et Pressey, 2000; Riemann et Ezcurra, 2005). À l'origine, cette littérature a été appliquée aux forêts indigènes, en particulier dans les petites îles riches en espèces endémiques. Cependant, Maxted et *al.*, (2008) ont montré comment la méthodologie existante pourrait être adaptée pour une conservation plus générale

et ont proposé une méthodologie spécifique pour l'analyse des écarts génétiques des espèces sauvages apparentées aux plantes cultivées (Crop Wild Relatives), qui comprend quatre étapes :

- Identifier les taxons prioritaires,
- Identifier l'étendue éco géographique et les hotspots complémentaires en utilisant la diversité génétique, la distribution géographique et les données environnementales,
- Faire correspondre les activités actuelles de conservation *in situ* et *ex situ* avec la diversité génétique, l'étendue éco géographique et les hotspots complémentaires identifiés afin de caractériser les "lacunes" de conservation,
- Formuler une stratégie de conservation *in situ* et *ex situ* révisée.

L'analyse des lacunes (Gap Analysis) s'est rapidement imposée comme étant la méthodologie de planification de la conservation (FAO, 2009; Parra-Quijano et *al.*, 2011; Ramírez-Villegas et *al.*, 2010). À ce titre, des relevés éco-géographiques continueront d'être effectués régulièrement, mais de plus en plus dans le cadre d'une analyse des lacunes (Álvarez et *al.*, 2011). Ainsi, il est nécessaire de passer en revue sur l'apport de cette approche à la conservation génétique qui est intimement liée à la conservation de la biodiversité.

## **2. Potentialités actuelles de l'approche éco géographique**

Bien que les enquêtes éco-géographiques soient un précurseur nécessaire à la conservation des espèces cultivées et sauvages, l'intérêt croissant pour la conservation des espèces sauvages apparentées (CWR) signifie que les techniques utilisées pour rassembler les données éco-géographiques ont considérablement progressé depuis 1995, notamment en ce qui concerne les méthodes de collecte de données et les analyses ultérieures (Álvarez et *al.*, 2011). Guarino et *al.*, (2006) et Maxted et Guarino (2003) ont étudié en profondeur l'utilisation de techniques éco-géographiques pour la diversité des plantes cultivées et des plantes sauvages apparentées. Ce qui suit est une revue des principales innovations depuis la publication du texte original en 1995, démontrant ainsi la valeur des techniques éco-géographiques, les nouvelles opportunités et les défis qu'elles offrent aux conservationnistes (Álvarez et *al.*, 2011).

### **2.1. Standards des bases de données éco géographiques**

Les données éco-géographiques décrivent en partie l'emplacement de la population et, par conséquent, l'écologie et l'environnement où des taxons particuliers peuvent se trouver (Álvarez et *al.*, 2011). Il est courant que ces données soient organisées selon des normes, des structures de données et des formats de fichiers différents, et qu'elles saisissent habituellement différents

types de détails. Ainsi, lors de la fusion d'informations éco-géographiques provenant de différentes sources, il faut veiller à combiner correctement des informations similaires et éviter les combinaisons qui pourraient entraîner des erreurs ou des pertes de données (Álvarez et *al.*, 2011). De plus en plus, les efforts mondiaux de normalisation de l'information biologique avancent dans la mise en œuvre de normes visant à améliorer l'enregistrement et l'échange des informations via les bases de données. Le Groupe de Travail sur les bases de Données Taxonomiques (GTDT) ([www.tdwg.org](http://www.tdwg.org)) est l'une des principales initiatives visant l'élaboration et la promotion des normes qui permettent l'échange de dossiers biologiques. Parmi les normes les plus recommandées par le GTDT, on trouve : "Darwin Core" (<http://rs.tdwg.org/dwc/index.htm>). La norme "Accès aux données de la collecte biologique" (<http://wiki.tdwg.org/twiki/bin/view/ABCD/AbcdIntroduction>) est également recommandée.

## **2.2. Disponibilité des données éco géographiques en ligne**

L'un des principaux changements survenus entre 1995 et aujourd'hui est peut-être la croissance exponentielle des ensembles de données éco géographiques accessibles sur le Web, en particulier la GBIF (Global Biodiversity Information Facility). Créé en 2001 (<http://data.gbif.org>), la GBIF offre un accès étendu à la nomenclature mondiale des taxons, leur distribution spatiale, à la conservation et aux données environnementales. Son rôle consiste à encourager l'accès libre et gratuit aux données sur la biodiversité via l'internet (Álvarez et *al.*, 2011). Ces données proviennent principalement d'herbiers numérisés ou d'enregistrements sur le terrain fournis par différents programmes nationaux et organismes internationaux qui numérisent leurs collections et rendent les données accessibles par internet. D'où le rôle de l'approche participative dans la conservation de la biodiversité.

En 2011, la GBIF englobait un réseau de 57 pays et 47 organisations. Grâce à ce réseau qui ne cesse de grandir, la GBIF facilite la mobilisation, l'accès, la découverte et l'utilisation de l'information sur l'occurrence des organismes vivants dans le temps et à travers la planète. Ceci atteste de l'évolution qu'a fait l'approche éco géographique vers la digitalisation et la normalisation des données sur les ressources naturelles (Álvarez et *al.*, 2011).

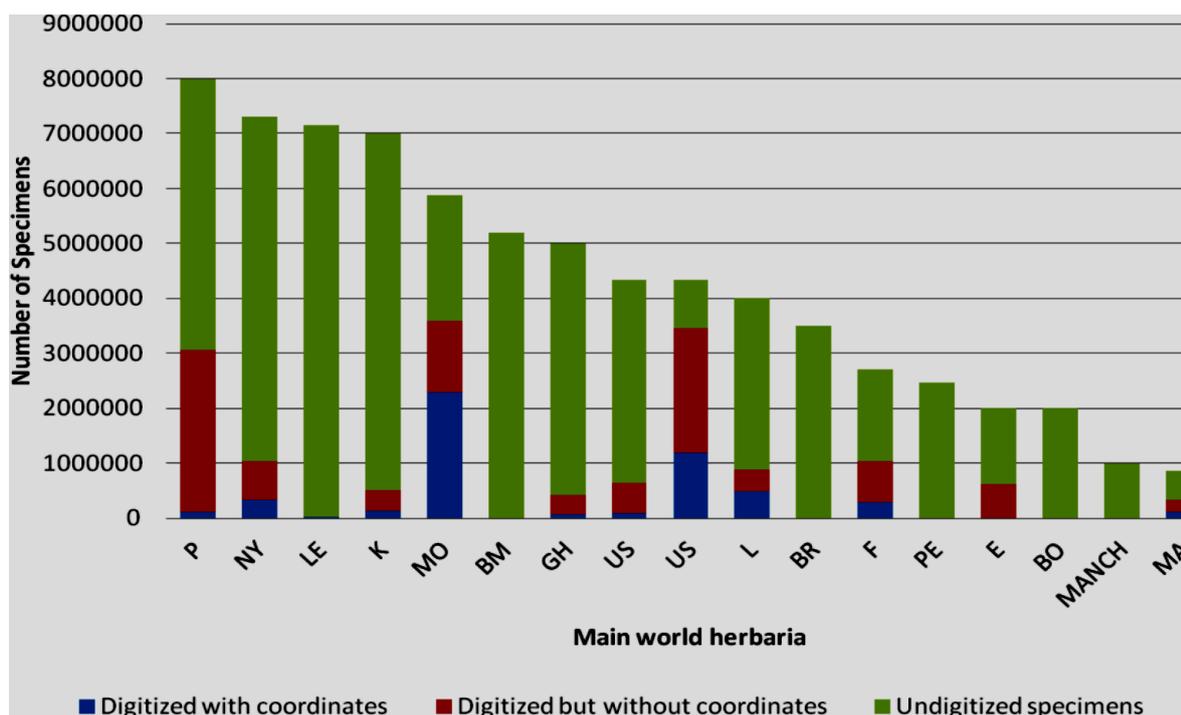


Figure 4: Disponibilité d'informations sur les spécimens des principaux herbiers du monde par la GBIF (Source : Collecting Plant Genetic Diversity. Technical Guidelines, 2011)

**Note:** **P** = Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris; **NY** = New York Botanical Garden, New York; **LE** = Karmarov Institute, St. Petersburg; **K** = Royal Botanic Gardens, Kew; **MO** = Missouri Botanical Garden, St Louis; **GH** = Harvard University, Cambridge, MA; **US** = Smithsonian Institution, Washington DC; **L** = Nationaal Herbarium Nederland, Leiden; **BR** = National Botanic Garden of Belgium, Meise; **F** = Field Museum of Natural History, Chicago; **PE** = Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing; **E** = Royal Botanic Garden, Edinburgh; **BO** = Herbarium Bogoriense, Cibinong; **MANCH** = University of Manchester, Manchester; **MA** = Real Jardín Botánico, Madrid.

La couleur bleue désigne les espèces digitalisées avec leurs coordonnées, la couleur rouge désigne les espèces digitalisées sans coordonnées et la couleur verte indique les espèces non digitalisées à l'échelle mondiale.

D'après la figure 4, il existe un nombre très important d'espèces dénombrés et non digitalisés, comparés aux espèces digitalisées avec leurs coordonnées. Alors que pour certains pays comme US et France, il paraît qu'une proportion importante des spécimens sont digitalisés.

### 2.3. Méthodes de collecte des données éco-géographiques

Dans le texte de 1995, on supposait en grande partie que la façon de rassembler les données éco-géographiques était pour le conservationniste de sélectionner les herbiers ou les banques

de gènes prioritaires, de visiter les institutions prioritaires, de sélectionner les spécimens ou les accessions (principalement sur la base de la qualité des données éco-géographiques) et ensuite de saisir le spécimen sélectionné ou les données du passeport d'accession dans un ordinateur. Il s'agit probablement encore de l'approche la plus couramment utilisée (Álvarez et *al.*, 2011). Cependant, ce n'est pas la seule méthode qui peut être employée actuellement. Le Projet sur l'Adaptation de l'Agriculture au Changement Climatique (PAACC), mené par le « Global Crop Diversity Trust » (Guarino et Lobell, 2011), utilise une approche davantage basée sur la photographie. Il s'agit de visiter les herbiers prioritaires, de photographier les spécimens sélectionnés, puis, de retour à la base, déterminer la latitude et la longitude nécessaires à l'analyse spatiale. Cette approche a l'avantage d'être relativement rapide, ce qui réduit le temps que le conservationniste doit passer à l'herbier hôte, et elle fournit une image permanente de l'échantillon, qui peut être vérifiée si l'identification est considérée comme incorrecte. Cela signifie également que l'identification des spécimens dans l'herbier n'est pas aussi importante car l'image peut être vue et validée plus tard par un expert (Álvarez et *al.*, 2011).

Dans le même cadre, le PAACC a également défini le seuil minimal à 20 spécimens, afin de produire un modèle de distribution fiable représentant les zones géographiques potentielles dans lesquelles l'espèce pourrait se trouver (Hernandez et *al.*, 2006; Pearson et *al.*, 2007).

#### **2.4. Evaluation des menaces**

Il est reconnu dans le monde entier que la biodiversité est actuellement gravement menacée par une série de facteurs délétères. Cependant, l'impact prévu du changement climatique sera probablement plus catastrophique en termes de perte de diversité génétique interspécifique et intraspécifique. Globalement, Hilton-Taylor et *al.*, (2008) estiment que depuis l'an 1500, 115 espèces végétales ont disparu ou se sont éteintes dans la nature, 8 457 autres espèces végétales sont menacées d'extinction et environ 2/3 des espèces évaluées sont actuellement menacées. En outre, il est prévu que le changement climatique fera augmenter les températures moyennes de 2 à 4 °C en Europe au cours des 50 prochaines années, ce qui entraînera des changements considérables dans les régimes régionaux et saisonniers des précipitations (GIEC, 2007). Cela aura un impact direct sur les cycles naturels de reproduction et la répartition des espèces de plantes sauvages, et devrait entraîner une perte de 27 à 42 % d'espèces végétales en Europe d'ici 2080 (Thuiller et *al.*, 2005) et une perte de 60 % d'espèces végétales de montagne d'ici 2100 (EEA, 2009). Bien qu'il soit difficile de quantifier la perte de diversité génétique au sein des espèces, il est probable qu'elle soit beaucoup plus importante que la perte des espèces elles-mêmes, étant donné que la plupart des espèces qui subsistent, subiront une certaine perte de

diversité génétique (Maxted 2003). On peut soutenir que les espèces qui font partie de CWR sont, particulièrement, menacées par le changement climatique. En effet, beaucoup d'entre elles sont associées à des habitats perturbés (Hopkins et Maxted, 2010) et que ces habitats sont particulièrement menacés par le changement climatique (Hopkins et *al.*, 2007).

Face à ce niveau de menaces, il est nécessaire de considérer que les menaces relatives à un taxon soient utilisées pour prioriser les ressources phytogénétiques nécessitant leur conservation. Encore plus, le recours aux études éco géographiques pour l'évaluation des menaces vu que la majorité des données collectés peuvent être utilisées pour l'évaluation des risques.

Quant à l'évaluation générale des menaces et l'établissement des priorités en matière de biodiversité, le système normalisé d'application des catégories de la Liste rouge (IUCN, 2001) est couramment utilisé.

La première évaluation exhaustive de la diversité des CWR de l'IUCN sur la Liste rouge a été publiée pour les espèces européennes (Bilz et *al.*, 2011 ; Kell et *al.*, 2012). Au total, 571 CWR européennes indigènes d'espèces de cultures vivrières humaines et animales hautement prioritaires ont été évaluées : 313 (55 %) ont été évaluées comme étant la préoccupation mineure, 166 (29 %) comme étant une lacune dans les données, 26 (5 %) comme étant presque menacée, 22 (4 %) comme étant vulnérable, 25 (4 %) comme étant en voie de disparition et 19 (3 %) comme étant gravement menacée. Les facteurs de menace les plus fréquents enregistrés ont été l'élevage intensifs, l'augmentation des "zones touristiques et récréatives" et le développement des "zones d'habitation et des zones urbaines". Près de la moitié des espèces de CWR avaient au moins une inscription conservée *ex situ*, mais pratiquement aucune n'a été activement conservée *in situ* dans des aires protégées. Il serait utile que cette initiative soit répétée dans d'autres régions, car des évaluations de la Liste rouge facilement accessibles faciliteraient le processus éco géographique (Álvarez et *al.*, 2011).

## **2.5. Analyse SIG et prédiction de la distribution des espèces**

Les systèmes d'information géographique (SIG) se sont avérés être des outils très flexibles avec des applications dans d'innombrables domaines, y compris les affaires, le gouvernement, les sciences et les organisations non gouvernementales (ESRI, 2012). L'utilisation des SIG en agriculture, écologie, biogéographie et l'étude des ressources naturelles aident à mieux comprendre les modèles et les relations entre les différents éléments de la nature.

Quant à la conservation, le SIG a été utilisé dans plusieurs études sur les ressources phytogénétiques dans l'objectif d'identifier les zones de grande diversité (Maxted *et al.*, 2004 ; Ocampo *et al.*, 2007; Scheldeman *et al.*, 2007), les espèces nécessitant une conservation supplémentaire (Dulloo *et al.*, 1999 ; Jarvis *et al.*, 2003), les zones potentielles pour collecter le germoplasme (Jarvis *et al.*, 2005; Ramírez-Villegas *et al.*, 2010), les zones appropriées pour la conservation *in situ* (Draper *et al.*, 2003; Maxted, 1995; Peters *et al.*, 2005) et les niveaux de menaces affectant les espèces végétales (Jarvis *et al.*, 2008), ainsi que la création de compilations informatives comme les atlas (Azurdia *et al.*, 2011; Hijmans *et al.*, 2002).

Les principales données d'entrée de la modélisation de la distribution des espèces sont partagées entre des données de présence (coordonnées d'espèces) et des couches environnementales (rasters). Les sources de couches environnementales spatialisées à l'échelle mondiale sont : WorldClim et ENVIREM. Ces bases de données accessibles au public fournissent une multitude de variables environnementales essentielles dans la modélisation des niches écologiques (Hijmans *et al.*, 2005; Bemmels *et al.*, 2018). La figure 5 illustre les composantes principales de cette approche méthodologique.

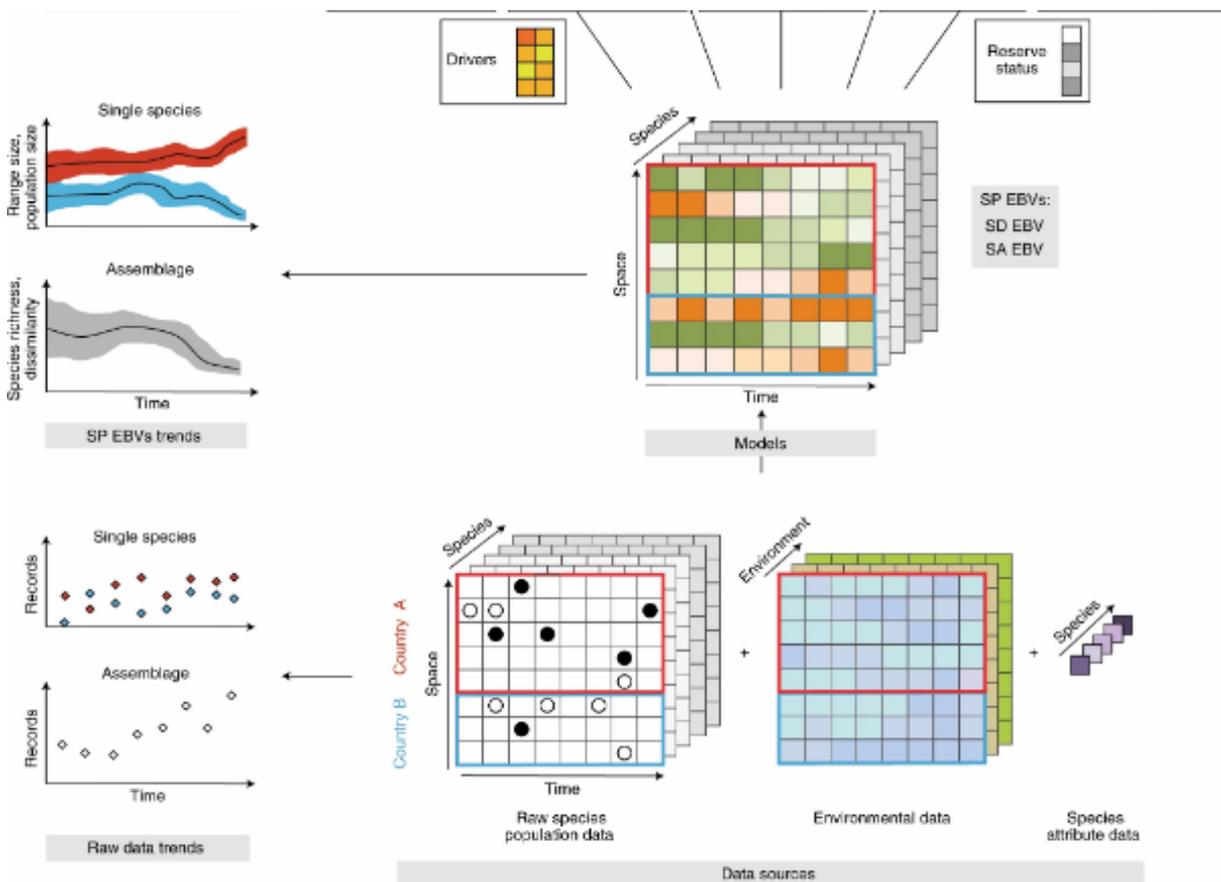


Figure 5: Illustration du schéma générale d'SSDM utilisé pour l'évaluation des variables essentielles de la biodiversité (VEB)

Les résultats d'SSDM fournissent différents résultats intimement liés à la biodiversité. Citant entre autres, la richesse spécifique et la taille des populations étudiées, aussi que leur évolution spatiotemporelle. Les résultats permettent l'évaluation de la dynamique des populations, le degré de dégradation et les paramètres clés déterminants de leur distribution. Ces données de sortie s'impliquent par leur poids dans la planification des programmes de conservation et la gestion durable de la biodiversité.

Il se peut qu'avec le temps, les relevés éco géographiques soient réduits à une composante de l'approche plus globale et structurée de l'analyse des lacunes dans la planification de la conservation, mais que ce soit le cas ou non, la collecte, l'analyse et l'utilisation des données éco géographiques demeurent un aspect clé de la planification de la conservation (Álvarez et *al.*, 2011).

#### IV. Apport des images satellitaires pour la différenciation des formations végétales

Actuellement, la télédétection spatiale représente un outil très fort pour la caractérisation de l'espace en termes d'occupation de sol et de sa dynamique. Encore plus, ses bienfaits s'étendent plus profondément pour l'évaluation de la biodiversité des écosystèmes forestiers à l'aide des images satellitaires à très haute résolution (THR) (Pereira *et al.*, 2013). La figure ci-dessous représente les différents champs d'application et les résolutions requises pour chaque niveau d'utilisation de l'information.

**Résolution spatiale nécessaire :** GROSSIERE ➔ FINE

	Niveau d'utilisation de l'information				
	Global	National/ Régional	Sub-Régional	Massif Forestier	Peuplement
<b>Suivi global</b>					
-Couvert forestier -Déforestation -Modélisation biomasse/carbone -Principales espèces et types de forêts	X	X	X		
<b>Catastrophes naturelles</b>					
-Incendies (détection, suivi de restauration)	X	X	X	X	
-Tempêtes			X	(X)	
<b>Déforestation, exploitation illégale</b>					
-Détection	X	X	X		
<b>Défoliations massives</b>					
-Détection des dommages et suivi			X	X	
<b>Inventaires forestiers et gestion</b>					
-Types forestiers et espèces -Structure forestière : estimation de variables dendrométriques -cartographie des habitats naturels			X	(X) (X) (X)	(X) (X) (X)

Figure 6: : Présentation des différentes applications de la télédétection en milieu forestier en fonction de la résolution spatiale.

Cet apport principal des images à THR pour la caractérisation des écosystèmes forestiers ouvre de nouvelles opportunités de réflexion. En effet, son usage serait très utile dans différents champs d'application, tels que : Le suivi-évaluation de la biodiversité, la détection des zones vulnérables et les zones potentiels à exploiter. Ainsi, on peut combiner à la fois, la valorisation de la biodiversité, la conservation et la gestion durables des ressources naturelles.

## **1. Utilisation des images satellitaires : Cas de l'arganeraie**

Depuis le début du 21<sup>ème</sup> siècle, l'utilisation des images satellitaires pour l'étude des écosystèmes d'arganeraie a pris de l'ampleur avec un large champ d'applications. Plusieurs auteurs ont témoigné les multiples avantages de cette approche pour une caractérisation plus précise et efficace.

Les outils de la télédétection ont été mis en œuvre dans plusieurs champs d'application pour l'étude de l'arganier. Citant entre autres, le suivi de la dynamique de dégradation (Le Polain et Lambin, 2011; El Aboudi, 2014), la caractérisation des composantes environnementales (sol, végétation, reliefs, etc.) (Culmsee, 2004; Wahidi et al., 2010; Aouragh, 2012; Sabir et al., 2015; El Aboudi et Ajjadiani, 2015), encore plus, à une échelle régionale, à partir des recherches palynologiques (McGregore et al., 2009).

Récemment, (Wahidi et al., 2017) ont travaillé sur la délimitation de l'aire de distribution actuelle de l'arganeraie à l'aide d'images satellitaires à haute résolution (SPOT5-10m). Les résultats ont abouti à l'élaboration des cartes d'extension de l'arganeraie les plus précises (90 % en moyenne).

## **2. Apport des images satellitaires à Très Haute Résolution (THR)**

Depuis une dizaine d'années, le nombre de capteur satellitaires fournissant des images à Très Haute Résolution spatiale (THR) ne cesse d'augmenter, les plus connus étant Ikonos, Quickbird, Geoeye et la nouvelle constellation de satellites Pléiades développée par le CNES.

En fait, les images THR permettent, grâce à leurs résolutions sub-métriques, de voir de nombreux détails dans l'image et fournissent aussi une texture très informative. Plusieurs représentations texturales ont été proposées dans la littérature et appliquées aux données de télédétection dans plusieurs domaines. On cite entre autres, la cartographie du milieu urbain (Dell'Acqua et Gamba, 2003; Pacifici et al., 2009; Soe et Tyler, 2004), la cartographie de la végétation et des habitats naturels (Tuttle et al., 2006; Wood et al., 2012) ou encore la segmentation des images (Gaetano et al., 2009; Trias- Sanz et al., 2008).

Certes, nombreuses études ont été conduites pour la caractérisation du couvert forestier à l'aide des images satellitaires à des résolutions spatiales moindres telles que: Landsat 7 et Sentinel 2. Or, l'utilisation d'images THR apporte de nouvelles informations, beaucoup plus fines et détaillées, avec des pixels dont la taille est bien souvent inférieure à la dimension des arbres. Les indicateurs images caractérisent alors la forêt à l'échelle du peuplement en fonction de

l'intensité du signal radiométrique (Beguet, 2014). En effet, l'image THR présente une texture avec des contrastes importants, ainsi de nombreux détails pertinents sont observés. La texture des images des forêts représente une grande complexité qui va des structures en rangs pour les peuplements les plus jeunes jusqu'à des structures très hétérogènes pour ceux plus âgés. La complexité de la structure forestière, au sein d'un même peuplement, est observable (Beguet, 2014). Il en découle l'avantage des images THR qui à travers leurs textures, les différents types de structures forestières ainsi que des variations spatialement fines sont décelées.

### **3. Suivi et évaluation de la biodiversité mondiale**

Actuellement, la conservation de la biodiversité mondiale et la garantie de la durabilité écologique des ressources naturelles représentent des défis majeurs à relever. Même s'il s'agit simplement d'évaluer de manière fiable les progrès accomplis dans la réalisation des objectifs d'Aichi (plan stratégique de la diversité biologique 2011-2020) et des OMD (Objectifs du millénaire pour le développement), notamment, à l'échelle mondiale. Cette situation impose la nécessité de trouver des mécanismes pour combler les lacunes connues en matière de données (Meyer et *al.*, 2015; Skidmore et *al.*, 2015; Sutherland, 2016). Encore plus, normaliser les données, les rendre disponibles et accessibles (Schildhauer, 2011) afin de développer des outils techniques et l'infrastructure électronique durable qui soutiennent la découverte, l'analyse, l'accès, la diffusion et le stockage permanent des ensembles de données nécessaires pour quantifier le changement de biodiversité au niveau mondiale (The Biodiversity Informatics Community, 2013; Hobern et Coll, 2013; Kissling et *al.*, 2015; Hugo et *al.*, 2017).

Pour ce faire, le Groupe sur le Réseau d'observation de la biodiversité et de la Terre (GEO BON) a introduit le cadre des variables essentielles de la biodiversité (VEB) (Pereira et *al.*, 2013). Ces VEB peuvent être considérées comme des variables d'état biologique comportant trois dimensions clés (temps, espace et organisation biologique) qui sont essentielles pour documenter avec précision les changements de biodiversité (Schmeller et *al.*, sous presse). De plus, les VEB représentent des données harmonisées qui se situent conceptuellement sur un continuum entre les observations de données primaires (données brutes) et les indices synthétiques ou dérivés (indicateurs). Semblable aux variables climatiques essentielles - qui sont conçues pour fournir une base empirique expliquant la variabilité et les changements climatiques passés, présents et possibles (Bojinski et *al.*, 2014) - le cadre des VEB a été élaboré pour aider à prioriser un ensemble minimal de mesures essentielles pour l'étude cohérente, la

communication et la gestion des principales dimensions des changements de la biodiversité (Pereira *et al.*, 2013). La figure suivante illustre le schéma général du cadre des VEB.

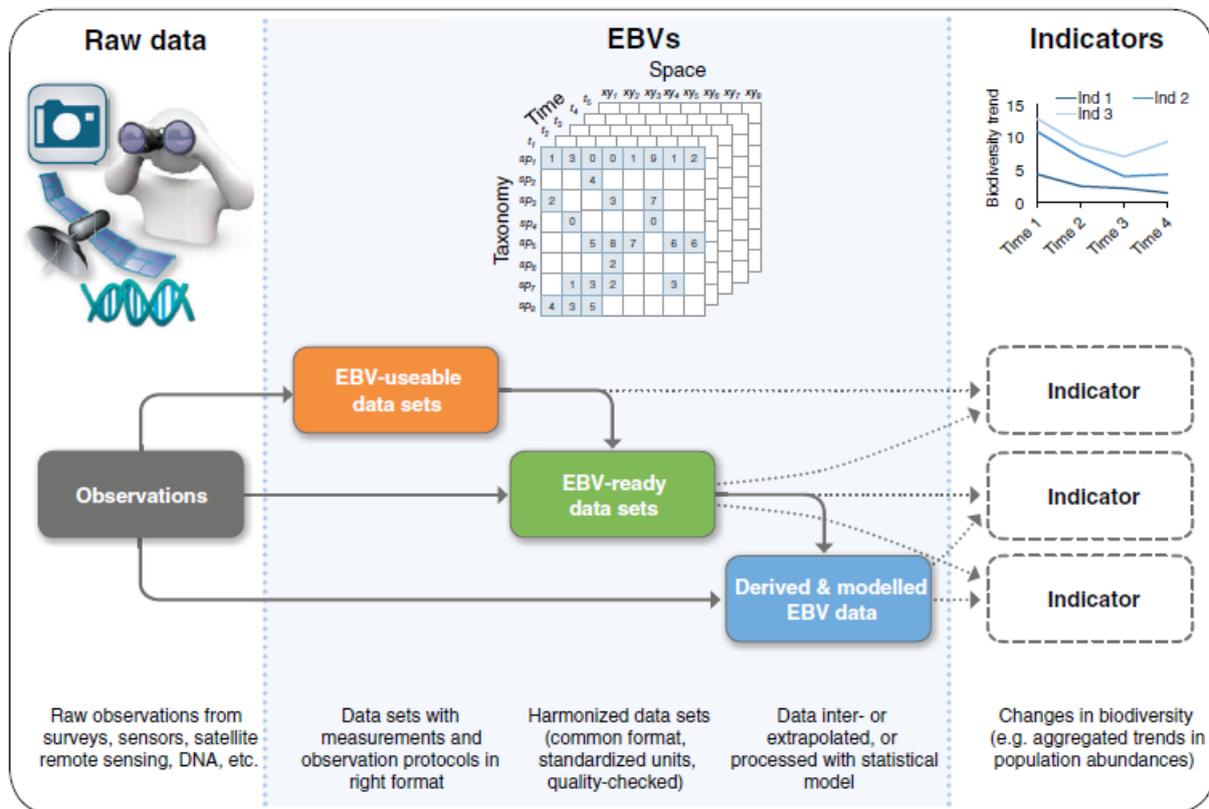


Figure 7: Illustration de l'organisation de la chaîne de valeur des variables essentielles de la biodiversité (VEB) (Kissling *et al.*, 2017)

Les variables essentielles de la biodiversité (VEB) font partie d'une chaîne d'approvisionnement en information, positionnées conceptuellement entre les données brutes (c'est-à-dire les observations de données primaires) et les indicateurs (c'est-à-dire les indices synthétiques pour rendre compte des changements de biodiversité aux politiques et aux gestionnaires). Ils peuvent être illustrés comme un cube de données avec trois dimensions de base (taxonomie, temps et espace), couvrant différentes espèces (sp<sub>1</sub>, sp<sub>2</sub>, ...) à différents moments dans le temps (t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>, ...) et à différents endroits (xy<sub>1</sub>, xy<sub>2</sub>, ...). D'après les observations (c'est-à-dire l'échantillonnage des données brutes), différents produits de données VEB peuvent être obtenus à différentes étapes du traitement des données. Nous distinguons ici les ensembles de données VEB utilisables, les ensembles de données VEB prêts et les données VEB dérivées et modélisées. Ils représentent des mesures comparables ou des protocoles d'observation similaires (données VEB utilisables), des ensembles de données harmonisés (données VEB prêts) et des produits de données dérivés du traitement des données avec des modèles statistiques (données VEB dérivées et modélisées). Ces produits de données VEB peuvent être utilisés de diverses manières pour dériver des indicateurs (Ind 1, Ind 2...) qui quantifient les changements

spatiotemporels dans la distribution des espèces et l'abondance des populations ou d'autres aspects de la biodiversité.

Par conséquent, la quantification et la prévision des variations dans la répartition des espèces et la taille des populations sont d'une grande importance pour la recherche, la gestion et les politiques de conservation de la biodiversité (Lomolino et *al.*, 2010). Vu qu'ils permettent l'évaluation des risques d'extinction pour la catégorisation des menaces (Butchart et *al.*, 2010) aussi bien que l'évaluation de la réaction des écosystèmes aux changements climatiques (Stephens et *al.*, 2016). La figure suivante illustre le lien entre l'approche éco géographique, la télédétection spatiale et la cartographie de la biodiversité intégrée dans le cadre des variables essentielle de la biodiversité (VEB).

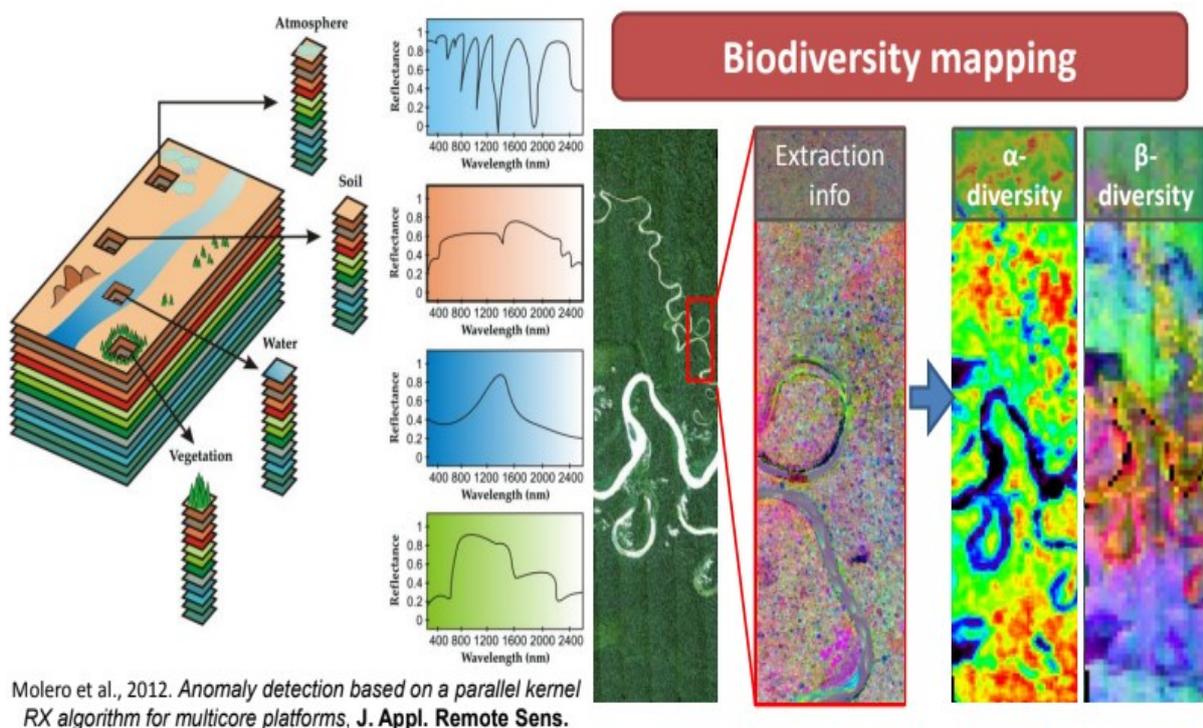


Figure 8: Spécifications instrumentales et améliorations méthodologiques : la télédétection au service de l'évaluation des Variables Essentielles de la Biodiversité (VEB). (Pereira et al., 2013)

La télédétection spatiale combinée à l'approche éco géographique permettrait une meilleure évaluation de la biodiversité avec plus de précision dans l'espace-temps. Par conséquent, l'évaluation de la biodiversité servira à la planification de stratégies de conservation appropriées et durables.

## **MATERIEL ET METHODES**

## **I. Présentation du cadre d'étude**

La présente étude s'inscrit dans une perspective nationale de sauvegarde de l'arganeraie et rentre dans le cadre des efforts du "Centre National de l'Arganier", de l'Agence Nationale pour le Développement des Zones Oasiennes et de l'Arganier (ANDZOA) appuyés par l'Agence Allemande de Coopération Internationale pour le Développement Durable (GIZ) et le support technique de l'ICARDA (Centre Internationale pour la Recherche Agronomique dans les Zones Arides).

### **1. Objectif global**

La présente étude vise la caractérisation des écosystèmes d'arganeraie via l'approche éco-géographique en vue de leur conservation et utilisation durable conformément aux objectifs de la Convention sur la Diversité Biologique de Rio de Janeiro (1992). Cette approche consiste à collecter et synthétiser de l'information sur l'écologie, la géographie, la diversité taxonomique et génétique moyennant le SIG et la modélisation spatiale. Le modèle adopté pour la réalisation des objectifs précités a été proposé par Maxted et *al.*, (1999). Le schéma suivant illustre ses différentes composantes.

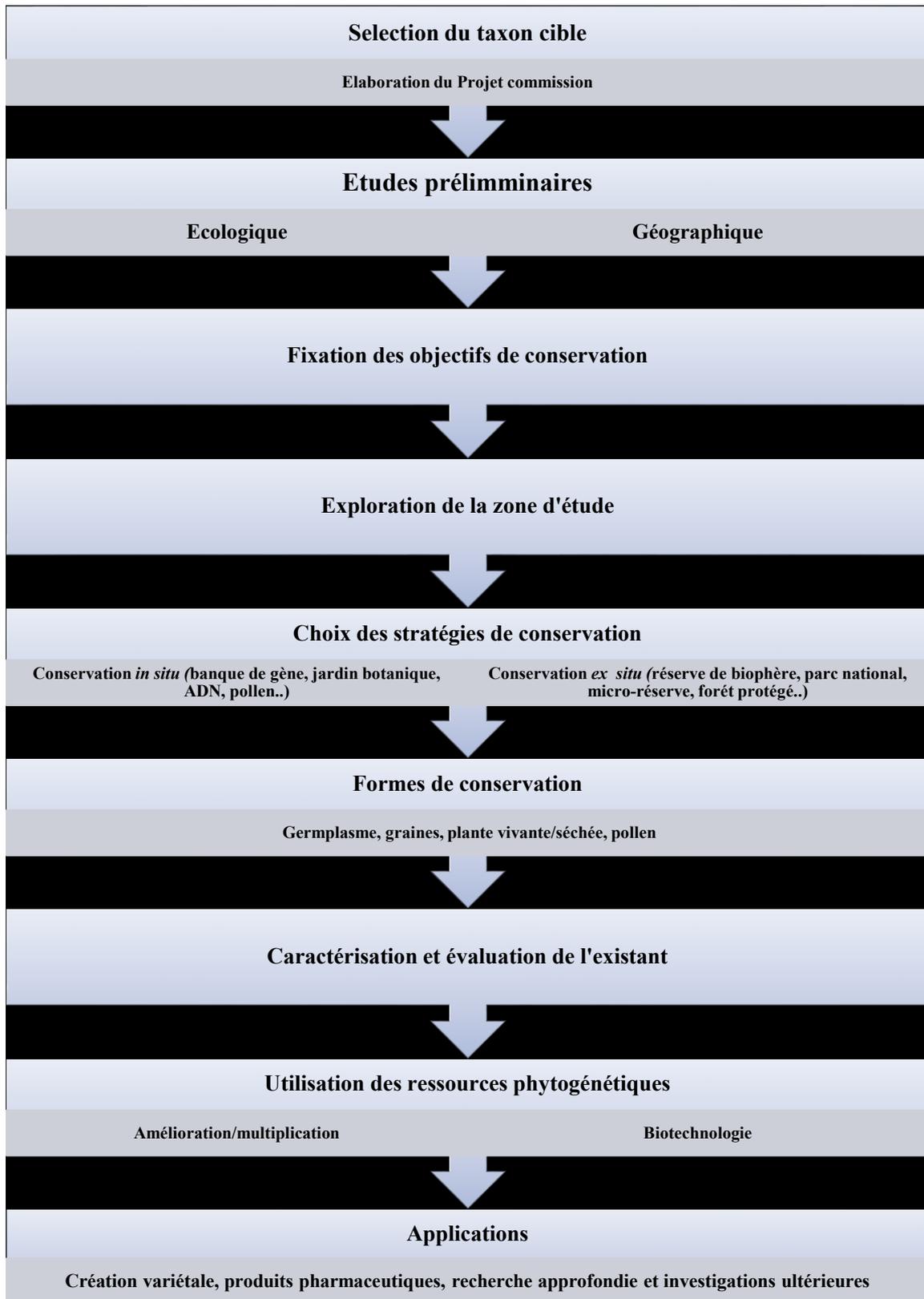


Figure 9: Schéma illustrant le modèle adopté pour la conservation des ressources phytogénétiques (Maxted et al., 1997)

## **2. Objectifs spécifiques**

Afin de contribuer à la caractérisation des écosystèmes d'arganeraie, il est nécessaire d'adopter l'approche éco-géographique pour arriver à collecter un maximum de données brutes de différentes sources des variables essentielles de la biodiversité (VEB), à savoir : La composition génétique, les populations d'espèces, les caractéristiques des espèces, la composition des communautés, le fonctionnement et la structure des écosystèmes) (Pereira *et al.*, 2013).

Pour ce faire, les objectifs spécifiques assignés pour ce présent travail s'organisent comme suit:

- La caractérisation du milieu (sol, climat, physiographie),
- La caractérisation des grandes formations végétales associées à l'arganier,
- L'élaboration de cartes thématiques de la biodiversité,
- La contribution à l'actualisation de la base de données de l'arganier via l'approche éco-géographique.

## **II. Présentation de la zone d'étude**

L'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc se présente en forme triangulaire à partir d'un segment littoral allant du Nord d'Essaouira au Sud d'Agadir en pénétration continentale jusqu'à l'Est de Taroudant. L'arganeraie est limitée, au Nord par Oued Tensift, au Sud par Oued Noun et Oued Seyad, à l'Ouest par l'Océan Atlantique et à l'Est par les environs d'Aoulouz à l'Ouest de Jbel Siroua. Les sites étudiés ont été choisis avec l'intention de couvrir un maximum de diversité environnementale des écosystèmes d'arganeraie.

## 1. Cadre administrative

En tant que système socio-écologique, l'arganeraie du Sud-Ouest marocain s'étend sur une superficie de 5 038 400 ha étalée sur les territoires de trois régions administratives. Il s'agit des régions de Marrakech-Safi, Souss-Massa et Guelmim-Oued Noun. Elles englobent 479 municipalités/communes réparties sur trois régions et quinze provinces (ANDZOA, 2016).

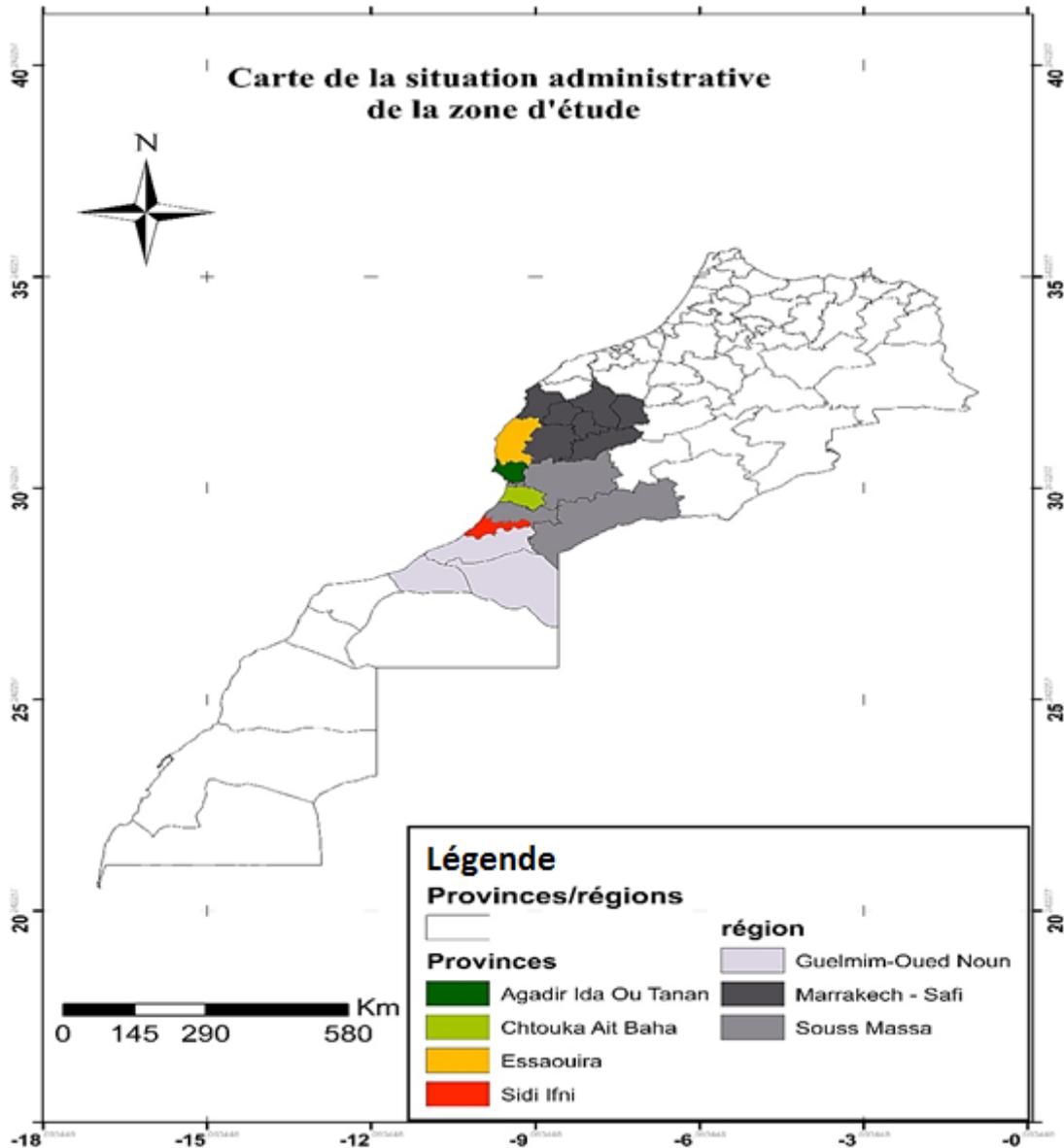


Figure 10: Carte thématique de la situation administrative de l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc

Ces zones sont délimitées par voie réglementaire, sous réserve des dispositions législatives et réglementaires relatives à la protection et à la délimitation des forêts d'arganier (ANDZOA : 2010).

## **2. Cadre géographique et localisation des sites**

Le choix des sites pour la collecte des données a été fait à l'aide de la documentation bibliographique, de l'orientation et du support technique fournis par la direction de développement des zones de l'arganier, ANDZOA, Agadir. Le choix des sites s'est basé sur l'identification des zones différentes géographiquement, aussi bien qu'en terme de typologie des écosystèmes d'arganeraie. En effet, l'idée repose sur le choix d'un minimum de sites en garantissant un maximum d'informations sur la diversité des écosystèmes de l'arganeraie. Ainsi, le choix de 4 sites s'est fait suivant les gradients littoral et continental en considérant les situations environnementales, administratives et sociales. Les 4 sites étudiés sont répartis sur les 4 coins de l'aire de distribution d'arganeraie. Administrativement, ils sont distribués sur 4 provinces, à savoir : Essaouira, Agadir Ida Ou Tanane, Chtouka Ait Baha et Sidi Ifni

## Carte de la situation administrative et géographique de la zone d'étude

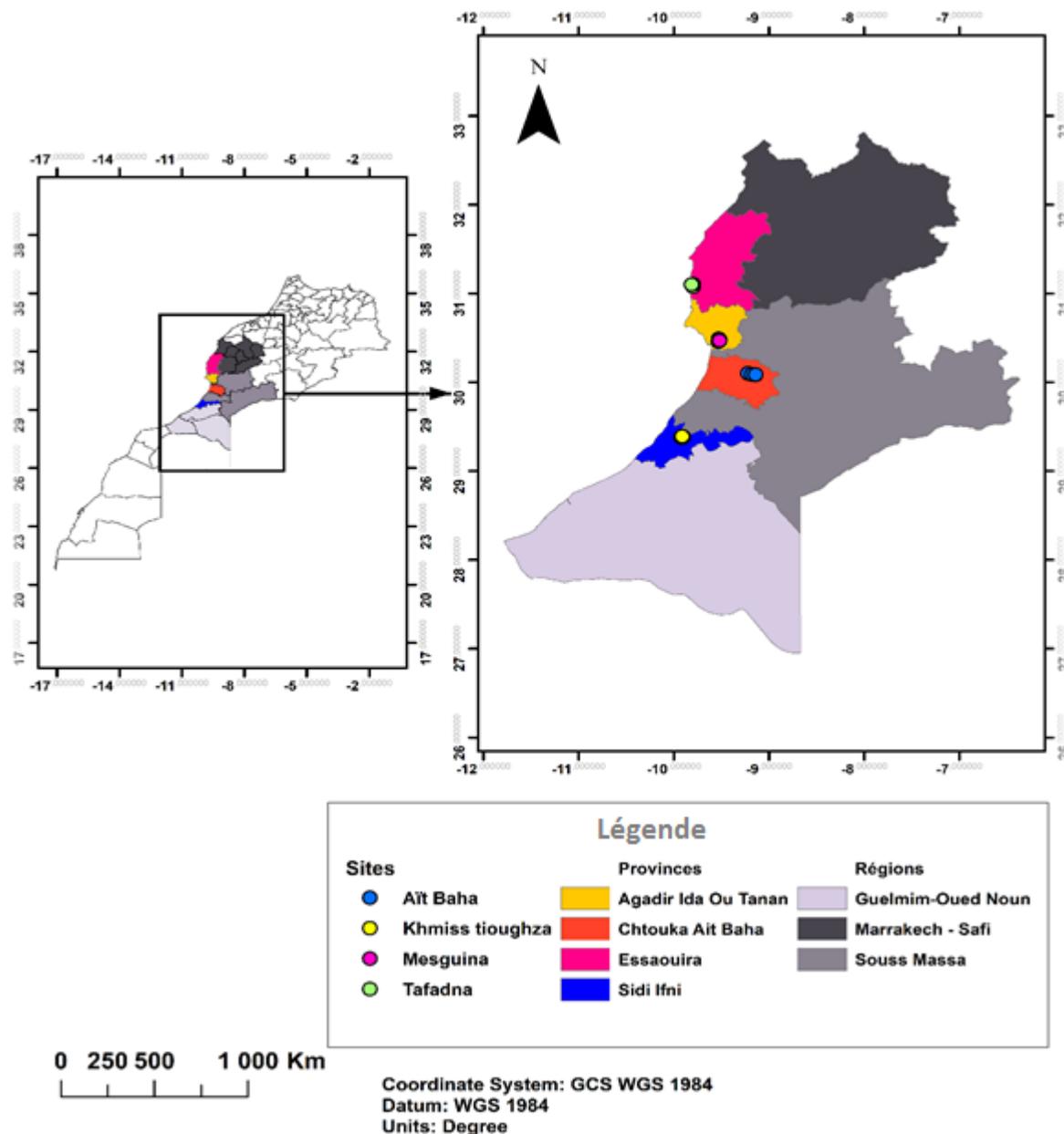


Figure 11: Carte thématique de la zone d'étude illustrant la situation géographique administrative de la zone d'étude

### 3. Cadre sociale

L'aire de distribution de l'arganier couvre un grand nombre de communes rurales (101) et 10 communes urbaine. Pour illustrer le cadre social de la zone d'étude, le tableau suivant représente des statistiques descriptives générales de quelques variables sociales de la zone d'étude.

Tableau 3: Statistiques descriptives des caractéristiques générales des provinces de la zone d'étude (ANDZOA,2010)

Localité	Superficie moyenne (Km <sup>2</sup> )	Effectif moyen de Population (hab.)	Taux de pauvreté moyen (%)	Taux de vulnérabilité moyen (%)
<b>Agadir Ida Ou Tanane</b>	<b>2297</b>	<b>498000</b>	<b>4</b>	<b>11,9</b>
<b>Nord de la région Souss Massa Daràa</b> Doux, tempéré à semi-aride 12 C. Rurales, 1 C. Urbaines				
<b>Chtouka Ait Baha</b>	<b>838,3</b>	<b>338341</b>	<b>8,4</b>	<b>18,5</b>
<b>Sud d'Agadir</b> Doux et tempéré 20 C. Rurales, 2 C. Urbaines				
<b>Essaouira</b>	<b>6335</b>	<b>500000</b>	<b>16,1</b>	<b>25,8</b>
<b>Versant occidental du grand Atlas</b> Doux et variable 52 C. Rurales, 5 C. Urbaines				
<b>Sidi Ifni</b>	<b>3790,7</b>	<b>20051</b>	<b>17,9</b>	<b>24,4</b>
<b>Sud-Ouest de la région Souss Massa Daràa</b> Humide à aride 17 C. Rurales, 2 C. Urbaines				
<b>Grand Total</b>	<b>13261</b>	<b>1356392</b>	<b>12,25</b>	<b>21,45</b>

D'après les données ci-dessus, le système socio écologique d'arganier abrite un nombre important d'habitants. Par ailleurs, les taux de vulnérabilité et de pauvreté augmentent en s'éloignant de la province d'Agadir vers le Nord jusqu'à Essaouira et vers le sud jusqu'à Sidi Ifni. Cette situation peut être expliquée par les activités anthropiques et économiques dans la plaine de Souss (principalement l'extension de l'agriculture et le tourisme).

#### 4. Etat d'occupation de sol

L'état d'occupation de sol dans la région d'arganeraie connaît actuellement une dynamique de dégradation prononcée (Aouragh, 2012; Wahidi, 2013; El Aboudi et *al.*, 2014). Le tableau suivant illustre les différentes classes d'occupation de sol et leurs pourcentages par rapport aux limites administratives de l'arganeraie (Qarro et *al.*, 2017).

Tableau 4: Superficie d'occupation de sol dans d'arganeraie (Sinsin , Qarro et al., 2017)

Occupation de sol	Superficie(ha) 2017	Taux de recouvrement (%)
<b>Agglomération</b>	138966,1	4
<b>Arboriculture</b>	401873,3	11,7
<b>Eau</b>	8569,3	0,2
<b>Forêt</b>	572545,8	16,7
<b>Matorral</b>	1223691,4	35,6
<b>Parcours et sol nu</b>	892748,7	26
<b>Terrains de culture</b>	198609,1	5,8
<b>Total</b>	3437004	100

## 5. Milieu physique

### 5.1. Géologie

Les formations géologiques au niveau de la zone d'étude sont variées et partagées entre le précambrien, le Jurassique, le Crétacé, le Trias et le Quaternaire, à savoir :

- Précambrien avec ses grès, quartzites, dolérites, basaltes, gabbros, granites,
- Le Jurassique et le Crétacé qui englobent plusieurs faciès lithologiques à savoir le calcaire, les dolomies avec gabbros,
- Trias avec des grès argileux rouges,
- Les nappes gréso-schisteuses et marneuses,
- Les sédiments néogènes et quaternaires

### 5.2. Pédologie

La zone d'étude est caractérisée par une grande diversité des sols, les travaux pédologiques effectués dans la région (Cavallar, 1950) ont montré l'existence de différents types de sols (Figure 12):

- Sols sablonneux de la bande littorale atlantique ;
- Sols châtaîns et châtaîns-rouges à horizon encroûté ou à concrétions calcaires sous la forme de bieloglazka (concrétions parfaites et dures) et bielovatitza (concrétions en formations, pas encore cimentées) sur terres sablo-argileuses alluviales d'aspect loessiques des steppes sèches avec buisson ;
- Sols humifères carbonatés de couleur très foncée et rouge, les deux types de sols fortement érodés, sablo-pierreux, à croûte contenant un horizon calcaire silicaté durci, terres rouges sableuses développées sur roches sédimentaires calcaires (du jurassique et

du crétacé) et calcaire sableux tertiaire (groupe de type des sols de la bande littorale l'atlantique).

- Sols rouges (bordeaux) dégradés : hamris formés sous-bois du type *Pistacia lentiscus*, *Chamaerops humilis* et autres en association avec des sols rouges régénérés, sur « terra rossa » de formation contemporaine (de calcaire lacustre du Sais) ou ancienne (permo-triassique) in situ ou remanié.

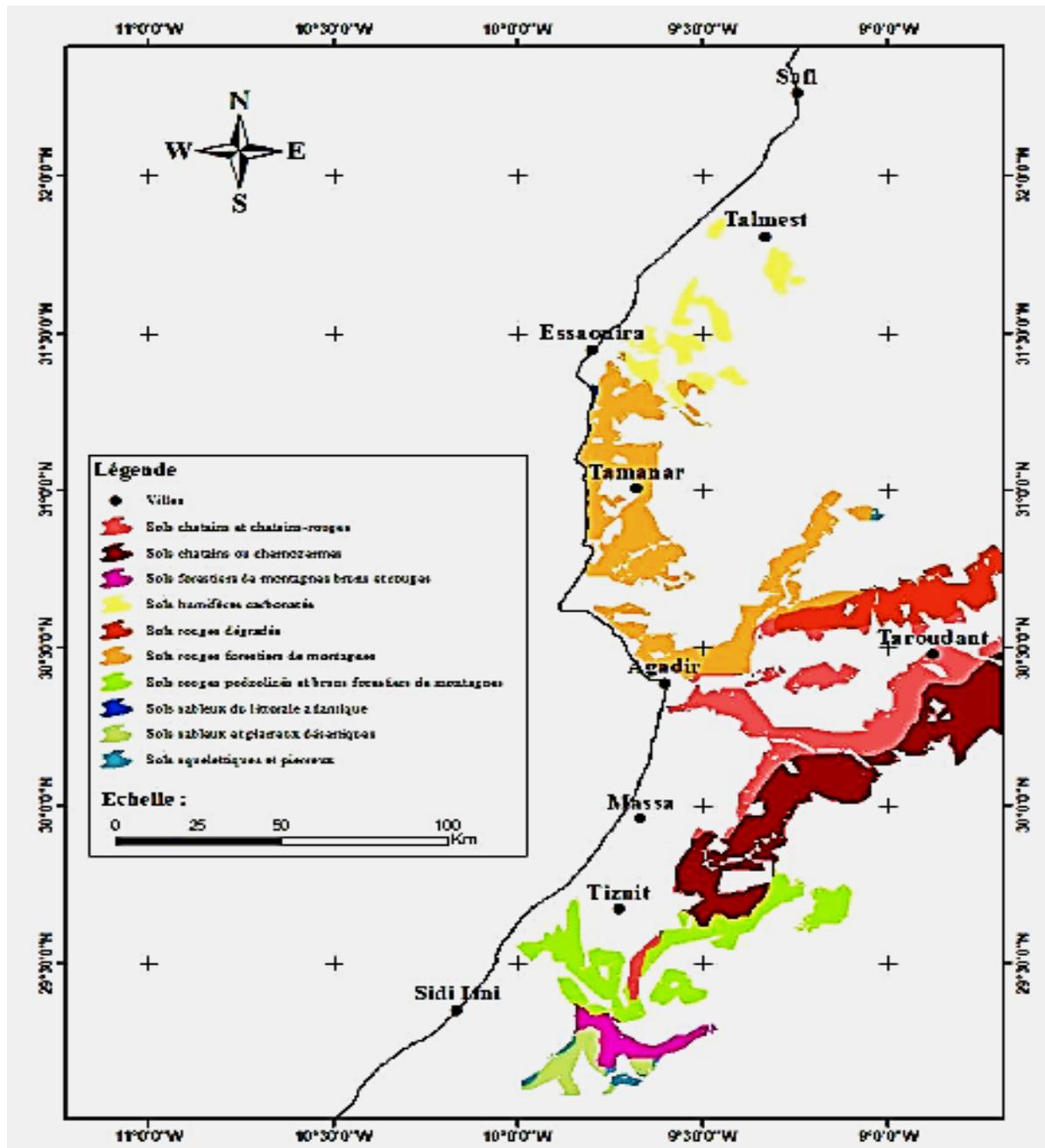


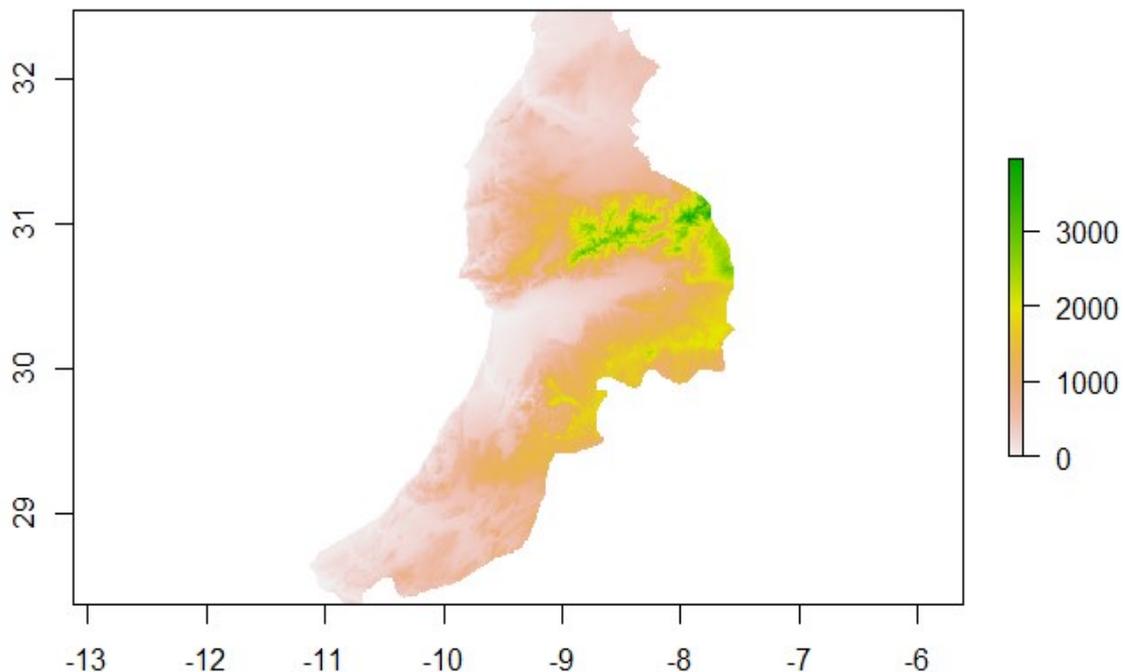
Figure 12 : Carte pédologique de l'aire de répartition de l'arganier (Cavallar, 1950)

### 5.3. Orographie

La topographie joue un rôle important dans le conditionnement de microclimats favorables pour le développement de la végétation. L'altitude compte parmi les facteurs déterminants de la physiographie générale et la délimitation des étages bioclimatiques. Ainsi, elle conditionne d'autres variables intimement liées au développement du couvert végétale, à savoir: la pente, l'exposition, l'hydrographie et d'autres paramètres physiques du sol.

Pour illustrer la diversité des reliefs dans l'arganeraie, un modèle numérique du terrain (résolution =0.8 km) a servi comme donnée brute pour extraire les différentes variables orographiques précitées dans cette partie. Ainsi, les cartes thématiques de la pente et de l'exposition ont été élaborées pour caractériser la structure orographique de l'arganeraie.

#### Distribution Spatiale de l'altitude dans la région d'Arganeraie



*Figure 13 : Illustration de la distribution spatiale de l'altitude dans la région d'arganeraie du Sud-Ouest Marocain.*

D'après le modèle numérique de terrain (Figure 13), l'altitude affiche une faible variation suivant le gradient littoral avec des valeurs minimales prolongées principalement dans la plaine de Souss et les extrémités Nord et Sud. Quant à la bande latitudinale comprise entre les villes d'Agadir et Essaouira, l'altitude augmente rapidement suivant le gradient longitudinal allant du niveau de la mer jusqu'à 3000m vers l'extrémité Est de l'arganeraie (Haut-Atlas). De même pour la bande latitudinale comprise entre 29° et 30.5°, l'altitude avoisine 2000 m en moyenne

au niveau de l'Anti-Atlas. Cette variation spatiale de l'altitude fait de l'arganeraie une région bioclimatique spéciale rassemblant deux étages de végétation à savoir: l'Inframéditerranéen et le Thermoméditerranéen, d'où la richesse de son cortège floristique (Msanda et *al.*, 2005).

## **6. Cadre climatique**

Le Sud-Ouest du Maroc jouit d'un climat méditerranéen qui se distingue par la succession de deux saisons contrastées : une saison froide avec une concentration des pluies et une saison chaude dominée par la sécheresse. Ainsi sur toute l'étendue de l'arganeraie, la pluviométrie, les températures, l'hygrométrie de l'air et le bioclimat ne sont pas homogènes. En effet, ces facteurs climatiques représentent des éléments clés derrière le développement écophysologique de l'arganier et sa distribution spatiale (M'hirit et *al.*, 1998).

Vue le manque de données bioclimatiques cumulées et spatialisées sur l'arganeraie, leur extraction et utilisation dans cette étude permettrait une meilleure caractérisation du contexte climatique et contribuerait mieux à la compréhension de différents aspects de l'arganier dans le cadre des investigations ultérieures.

### **III. Approche méthodologique**

Afin d'aboutir à la réalisation des objectifs spécifiques précités, l'adoption des méthodes adéquates au contexte actuel de l'arganeraie est une étape clé. Ainsi, l'approche éco-géographique prend sa place comme étant le modèle le plus approprié pour la caractérisation des écosystèmes d'arganeraie.

En effet, Maxted et *al.*, (1995) ont défini l'approche éco-géographique comme étant le processus d'obtention, de collation et d'analyse des données d'un écosystème. Elle consiste à analyser les différents types de données existantes relatives à un taxon dans une région définie.

Avant que des décisions de conservation peuvent être prises, une compréhension de base de la taxonomie, de la diversité génétique, de la répartition géographique, de l'adaptation écologique et l'ethnobotanique des groupe végétaux, de l'écologie, du climat et des communautés humaines de la région cible est essentielle (Maxted et Chiwona, 2005).

Pour ce faire, la méthodologie adoptée pour mener la présente étude consiste à un enchaînement d'étapes logiques pour optimiser la collecte de données et garantir leur représentativité.

#### **1. Collecte de données**

Après avoir identifié les différents sites pour la collecte de données, une inspection de l'orographie a été faite à l'aide de modèles numériques de terrains. Il s'en suit la délimitation d'une superficie de 25km<sup>2</sup> sur laquelle les transects sont tracés selon les gradients orographiques prédominants dans chaque site. Ainsi, la carte topographique est enregistrée sur « google map ».

Sur le terrain, l'échantillonnage s'est fait selon la méthode transect/quadrats. Cinq quadrats sont choisis le long des transects préalablement tracés, à l'exception du site Mesguina, où il y'avait 2 transects avec 4 quadrats pour le deuxième transect. Dans chaque site, les différents arbres - vigoureux, sains et adultes- et arbustes sont géolocalisés et un échantillon de sol est prélevé dans chaque quadrat. En outre, les différentes composantes environnementales (physiographie générale, occupation de sol, facteurs de dégradation, paramètres de la végétation) ont été notés à l'aide d'un formulaire développé par IPGRI (International Plant Genetic Resources Institut) implanté dans l'application « ODK-Collect » sur Tablette. La composante agroforestière a été noté via des enquêtes effectives auprès des ayants droits et des associations représentant la population locale des sites étudiés. Au total, 37 variables ont été collectées sur le terrain. Le tableau 5 les illustre ensemble :

Tableau 5: Liste des variables collectées sur les différents sites étudiés

[1] "Province"	"Project site"
[3] "Transect"	"Quadrat"
[5] "St. Latitude"	"St. Longitude"
[7] "St. Altitude"	"St. Microenvironnement"
[9] "St. Slope"	"St. Slope length"
[11] "St. Slope direction"	"St. Aspect"
[13] "St. Rocks"	"St. Soil remarks"
[15] "St. General remarks"	"St. Landcover type"
[17] "St. Landcover"	"St. Land use"
[19] "St. Habitat"	"St. Grazing"
[21] "St. Disturbance"	"St. Soil preparation"
[23] "predominant associated species"	"Species"
[25] "Other Species"	"Growth stage"
[27] "Trees. Shape"	"Health"
[29] "Sp. Longitude"	"Sp. Latitude"
[31] "Altitude"	"Gps accuracy"
[33] "Cover"	"Density"
[35] "Trees. Height"	"Trees. Crown"
[37] "Number of trunks"	

## 2. Préparation des données

Après avoir collecté les données du terrain, elles ont été soumises à un ensemble d'opérations visant l'homogénéisation des données brutes avant d'entamer la phase de traitement.

Le prétraitement consiste, principalement, à subdiviser l'ensemble des données à des sous-groupes représentatives, à savoir: les variables caractérisant la localisation des sites, les variables décrivant la physiographie générale, ceux décrivant les pratiques agroforestières et les variables phytoécologiques rassemblant les différents paramètres de la végétation.

Par la suite vient l'élimination de la redondance, la correction des informations incomplètes et la vérification de l'homogénéité reliant les différents sous-groupes de variables. Finalement, les données obtenues après pré-traitement représentent : 36 variables, 169 individus répartis sur les 4 sites étudiés. Les tableaux suivants résument les différents sous groupement obtenus:

Tableau 6: Liste des variables caractérisant la localisation géographique de quelques individus d'arganier

<b>Individu</b>	<b>Province</b>	<b>Project site</b>	<b>Transect</b>	<b>Quadrate</b>
1	Ida Ou Tanane	Mesguina	1	1
2	Ida Ou Tanane	Mesguina	1	1
164	Sidi Ifni	Khmiss Tioughza	1	5
165	Sidi Ifni	Khmiss Tioughza	1	5
<b>Individu</b>	<b>St. Latitude</b>	<b>St. Longitude</b>	<b>St. Altitude</b>	
1	30.46312	-9.523222	311	
2	30.46312	-9.523222	311	
164	29.38710	-9.903870	631	
165	29.38702	-9.903865	636	

**Remarque:** le préfixe 'St' figurant dans les noms de variables revient au quadrat. La première colonne contenant la variable 'individus' indique le numéro de la ligne correspondant à l'espèce géolocalisée au sein du Site/transect/quadrat. Les individus ayant les mêmes coordonnées et ayant le préfixe 'St' appartiennent au même quadrat.

Tableau 7: Liste des variables caractérisant la physiographie générale de l'arganeraie.

	<b>St. Microenvironnement</b>	<b>St. Slope</b>	<b>St. Slope length</b>	<b>St. Slope direction</b>
1	Hillside, Roadside	16-30%	51-200 m	E_W
2	Hillside, Roadside	16-30%	51-200 m	E_W
3	Hillside, Roadside	16-30%	51-200 m	E_W
4	Hillside, Roadside	16-30%	51-200 m	E_W
5	Hillside, Roadside	16-30%	51-200 m	E_W
	<b>St. Aspect</b>	<b>St. Rocks</b>	<b>St. Soil remarks</b>	<b>St. General Landcover</b>
1	W	11-33%	Peu d'humus	Arborescent
2	W	11-33	Peu d'humus	Arborescent
3	W	11-33	Peu d'humus	Arborescent
4	W	11-33%	Peu d'humus	Arborescent
5	W	11-33%	Peu d'humus	Arborescent
	<b>St. General_remarks</b>		<b>St. Landcover type</b>	
1	Présence d'arbres chétifs et touffes d'arganier		Agriculatural_Natural vegetation	
2	Présence d'arbres chétifs et touffes d'arganier		Agriculatural_Natural vegetation	
3	Présence d'arbres chétifs et touffes d'arganier		Agriculatural_Natural vegetation	
4	Présence d'arbres chétifs et touffes d'arganier		Agriculatural_Natural vegetation	
5	Présence d'arbres chétifs et touffes d'arganier		Agriculatural_Natural vegetation	

Tableau 8: Liste des variables caractéristiques des pratiques agroforestières

	<b>St. Land use</b>	<b>St. Grazing</b>	<b>St. Disturbance</b>
1	Heterogeneous	3 Low	Grazing + Cultivation
2	Heterogeneous	3 Low	Grazing + Cultivation
3	Heterogeneous	3 Low	Grazing + Cultivation
4	Heterogeneous	3 Low	Grazing + Cultivation
5	Heterogeneous	3 Low	Grazing + Cultivation
6	Heterogeneous	3 Low	Grazing + Cultivation
	<b>St. Soil preparation</b>		
1	Surface tillering		
2	Surface tillering		
3	Surface tillering		
4	Surface tillering		
5	Surface tillering		
6	Surface tillering		

Tableau 9: Liste des variables phytoécologiques caractéristiques de quelques individus géolocalisés

	<b>Predominant_associated_species</b>	<b>Species</b>	<b>Other Species</b>
1	Acacia gummifera	Argan	
2	Acacia gummifera	Argan	
3	Acacia gummifera	Argan	
4	Acacia gummifera	Argan	
5	Acacia gummifera	Argan	
6	Acacia gummifera	Other	Acacia gummifera
	<b>Growth stage</b>	<b>Health</b>	
1	Adulte	Bon	
2	Adulte	Bon	
3	Adulte	Bon	
4	Adulte	Bon	
5	Adulte	Bon	
6	Jeune	Bon	
	<b>Trees. Shape</b>		
1	Very_little_spiny, little branched with very long branches		
2	Spinely, less_branched_with_long_branches		
3	Very_little_spiny, little branched with very long branches		
4	Spinely, less_branched_with_long_branches		
5	Very_little_spiny, little_branched_with_very_long_branches		
6			

	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>Gps_Acc</b>	<b>Cover</b>	<b>Density</b>
1	-9.52336	30.46315	303	3.216	50	40
2	-9.52332	30.46311	309	4.288	50	40
3	-9.52334	30.46295	299	4.288	50	40
4	-9.52336	30.46310	309	4.288	50	40
5	-9.52336	30.46292	302	4.288	50	40
6	-9.52348	30.46302	300	4.288	5	14
	<b>Trees. Height</b>	<b>Trees. Crown</b>	<b>Number of trunks</b>			
1	4.5	4.0	4			
2	8.0	9.0	1			
3	6.0	9.0	1			
4	4.5	12.0	3			
5	7.0	10.5	2			
6	-	-	-			

L'ensemble des données mentionnées dans les tableaux 6, 7, 8 et 9 ont servi à la caractérisation des différentes composantes environnementales des écosystèmes étudiés.

- **Données de présence**

169 points répartis sur les 4 sites étudiés ont été utilisés pour l'analyse de similarité environnementale. Ils ont servi aussi à l'entraînement du classificateur utilisé pour le traitement d'image satellitaire.

Vu que les données climatiques concernent la période 1950-2000, d'autres points d'occurrence d'arganier (collectés pendant la sortie au terrain) ont été ajoutés pour augmenter la taille de l'échantillon d'entraînement et réduire l'incertitude des modèles de prédiction, ainsi éviter les biais spatio-temporels. Quant aux deux petites stations Septentrionales d'arganier au niveau de Bni-Snassen et Oued Grou, aucun point de présence n'a été utilisé.

- **Variables environnementales**

Les variables environnementales utilisées dans le cadre de ce travail ont été extraites de deux bases de données bioclimatiques mondiales spatialisées et libres d'accès :

- La Base de données **WorldClim2** (Fick et Hijmans, 2017): Elle contient, en plus des données mensuelles interpolées relatives aux précipitations et aux températures pour l'ensemble du globe, un ensemble de 19 paramètres bioclimatiques. Ces données correspondent aux valeurs moyennes pour la période 1950-2000 pour une résolution de 30 arc seconde, soit environ 1km.

- La Base de données **ENVIREM** (Bemmels et *al.*, 2018): il s'agit des variables climatiques et topographiques qui ont été jugées essentielles et pertinentes pour les études de la distribution géographique et écologique des espèces. En outre, plusieurs études visant la modélisation de la distribution des espèces ont attesté l'efficacité de prédiction de ces variables (Bemmels et *al.*, 2018).

Enfaite, les variables climatiques et topographiques issues d'**ENVIREM** ont été générées à partir des variables de bases issues de **WorldClim2**, d'où leurs complémentarités.

Au total, 16 variables climatiques et 2 variables topographiques ont été extraites à partir d'**ENVIREM**. L'altitude, la pression de la vapeur, la précipitation moyenne annuelle (Bio 12), la température minimale du mois le plus froid (Bio5), la température maximale du mois le plus chaud (Bio6) et la température annuelle moyenne (Bio1) ont été extraites de **WorldClim2**.

Concernant l'humidité de l'air, elle a été déduite à partir des variables issues des deux bases de données précitées. Il s'agit de la température moyenne annuelle "**Bio1**", de la vapeur d'eau contenue dans l'air "**Pvap**" et la pression de vapeur saturante "**Psat**" à la même température moyenne annuelle. Le calcul du paramètre "**Psat**" a nécessité le recours à la formule de Tetens telle qu'elle est reprise par Monteith et Unsworth en 2008:

$$\mathbf{Psat=0.61078*Expo((17.27*T) / (237.3+T))}$$

Ainsi, l'humidité de l'air est déduite via le rapport entre **Pvap** et **Psat**.

Moyennant les logiciels R-Studio 3.5.3 et ArcGIS 10.3, différents jeux de données ont été utilisés pour l'extraction, l'agrégation, l'homogénéisation, tests de corrélation et la visualisation des variables environnementales avant d'entamer le traitement.

L'ensemble des variables utilisées pour la caractérisation pédoclimatique est résumé dans le tableau 9 :

Tableau 10: Description des variables environnementales utilisées pour la caractérisation pédoclimatique de l'arganeraie Sud-Ouest du Maroc

Code variable	Description	Unités
<b>AnnualPET</b>	Évapotranspiration potentielle annuelle : mesure de la capacité de l'atmosphère à retirer de l'eau par évapotranspiration, compte tenu de l'humidité illimitée	mm / an
<b>Continentality</b>	Température moyenne du mois le plus chaud-Température moyenne du mois plus froid	°C
<b>Emberger Q</b>	Le quotient pluviothermique d'Emberger : une mesure conçue pour différencier les climats de type méditerranéen	-
<b>GrowingDegDays0°C</b>	Somme de la température mensuelle moyenne pendant les mois ayant une température moyenne supérieure à 0 °C multipliée par le nombre de jours	-
<b>GrowingDegDays5°C</b>	Somme de la température mensuelle moyenne pendant les mois ayant une température moyenne supérieure à 5°C multipliée par le nombre de jours	-
<b>MaxTempColdestMonth</b>	Température maximale du mois le plus froid	°C * 10
<b>MinTempWarmestMonth</b>	Température minimale du mois le plus chaud	°C * 10
<b>PETColdestQuarter</b>	Évapotranspiration potentielle mensuelle moyenne du quadrimestre le plus froid	mm/ mois
<b>PETDriestQuarter</b>	Évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle du quadrimestre le plus sec	mm/ mois
<b>PETseasonality</b>	Evapotranspiration potentielle saisonnière	mm/ mois
<b>PETWarmestQuarter</b>	Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle du quadrimestre le plus chaud	mm/ mois
<b>PETWettestQuarter</b>	Evapotranspiration potentielle moyenne mensuelle du quadrimestre le plus humide	mm/ mois
<b>Alt</b>	Élévation par rapport au niveau de la mère	m
<b>TWI</b>	Indice d'humidité topographique	-
<b>Pvap</b>	Pression de la vapeur contenue dans l'air	Pascal
<b>Psat</b>	Pression de la vapeur saturante à la même température	Pascal
<b>Bio1</b>	Température moyenne annuelle	°C

L'ensemble des variables environnementales retenues pour la modélisation de la distribution spatiale de l'arganier est résumé dans le tableau 10 :

Tableau 11: Liste des variables environnementales utilisées pour la modélisation de la niche écologique de l'arganier au Maroc

Code	Variables environnementales
<b>AnnualPET</b>	Evapotranspiration potentielle annuelle (mm/an)
<b>TWI</b>	Indice d'humidité topographique (-)
<b>Elevation</b>	Altitude(m)
<b>AridityIndexThW</b>	Indice d'aridité de Thornthwaite (-)
<b>Continentality</b>	Continentalité (°C)
<b>Bio1</b>	Température moyenne annuelle (°C)
<b>Bio5</b>	Température minimale du mois le plus chaud (°C)
<b>Bio6</b>	Température maximale du mois le plus froid (°C)
<b>Bio12</b>	Précipitations annuelle (mm/an)
<b>GDD0</b>	Degré jour de croissance à t>0°C (-)
<b>GDD5</b>	Degré jour de croissance à t>5°C (-)
<b>HR</b>	Humidité relative moyenne annuelle (%)
<b>Emberger Q</b>	Quotient d'Emberger (-)
<b>PETColdestQ</b>	Evapotranspiration potentielle du quadrimestre le plus froid (mm/mois)
<b>PETDriestQ</b>	Evapotranspiration potentielle du quadrimestre le plus froid (mm/mois)
<b>PET Seasonality</b>	Evapotranspiration de saisonnalité (mm/mois)
<b>PETWarmestQ</b>	Evapotranspiration potentielle du quadrimestre le plus chaud(mm/mois)
<b>PETWettestQ</b>	Evapotranspiration potentielle du quadrimestre le plus humide (mm/mois)

### 3. Traitement des données

L'ensemble des données recueillies dans la présente étude proviennent de différentes sources et sont de types différents.

Il s'agit des données collectées du terrain rassemblant différents sous-groupes, à savoir : La localisation géographique, la physiographie générale, les pratiques agroforestières et ceux décrivant la phytoécologie. Ces différents sous-groupes contiennent des variables numériques et catégoriques.

Les variables environnementales extraites de différentes bases de données. Elles sont représentées sous format raster, standardisées à la même résolution et couvrant la même étendue (Maroc).

Il y'a aussi l'image satellitaire du site Mesguina prise par WorldView-2, dont la résolution spatiale est de 50 cm avec 8 bands multispectrales et une bande panchromatique. Cette image a été prise le mois d'Avril 2019.

Cet ensemble de données a été soumis à différents types d'analyses adaptés selon le type de données étudiées.

- **Analyse des données mixtes**

Les données mixtes collectées du terrain ont été utilisées pour la caractérisation générale des différents sites via une analyse statistique descriptive. Quant à l'analyse multivariée (MANOVA) regroupant différentes variables à expliquer (quantitatives) par rapport aux facteurs géographiques et physiographiques des différents sites, elle a servi à mettre en évidence le degré de différence entre les sites étudiés pour les différentes variables dépendantes (densité, recouvrement, nombre de rejets/arbre, hauteur d'arbre et largeur du houppier).

Ensuite, une analyse en composantes principales (ACP) a été procédée sur les groupes de variables géographiques et phytoécologiques pour dégager les relations entre elles et leurs contributions dans la variabilité totale.

Parallèlement, les paramètres phytoécologiques ont servi au calcul de différents indices de diversité. Les indices de Shannon et Simpson ont été utilisés pour l'évaluation de la diversité et la comparaison de la richesse spécifique entre les différents sites étudiés. L'ensemble de ces analyses a été procédé moyennant le logiciel R (R Core Team, 2014).

- **Modélisation de la distribution des espèces**

L'approche méthodologique adoptée pour la modélisation représente plusieurs modèles basés sur l'intelligence artificiel pour la prédiction de la distribution des espèces associées sous le nom : SSDM (Stacked Species Distribution Modeling) (Schmitt et *al.*, 2017). En fait, cette approche (SSDM) permet de rassembler plusieurs modèles et espèces à la fois. En outre, elle offre une large flexibilité avec la possibilité de paramétrisation à chaque étape de la construction du modèle.

En matière de cartographie de la biodiversité, la SSDM permet la sélection automatique de pseudo-absence, fournit les contributions de chaque variable dans la prédiction, aussi bien que les paramètres d'évaluation de la précision du modèle final. En outre, elle fournit des cartes représentant les différentes composantes de la biodiversité, à savoir: La richesse spécifique,

l'endémisme, des cartes d'incertitudes et des cartes de probabilité délimitant les niches écologiques des espèces étudiées (Schmitt et *al.*, 2017).

D'où l'adoption de cette nouvelle approche méthodologique dans la présente étude semble pertinente vue la possibilité d'intégrer l'aspect phytosociologique dans l'évaluation de la biodiversité. Après avoir testé différents algorithmes, SVM (Supported Vector Machine) s'est révélé le plus pertinent. En effet Cet algorithme basé sur l'apprentissage automatique a été jugé parmi les plus forts et les plus fiables en matière de modélisation des niches écologiques (Venables et Ripley, 2002 ; Meyer et *al.*, 2015).

Les résultats fournis par SSDM représentent un ensemble de paramètres d'évaluation de la validité intrinsèque du modèle, dont on trouve : l'AUC, la sensibilité, la spécificité, Kappa, etc. Cet ensemble de paramètres proviennent d'une matrice de confusion opposant les prédictions de l'algorithme aux instances de la réalité. Parmi les paramètres utilisés pour l'évaluation de la viabilité de prédiction, il y a : la Courbe Caractéristique d'Opération dite ROC (*Receiving Operator Characteristic*) (Hanley et McNeil, 1982). L'AUC (aire sous la courbe ROC), qui est un seuil mesurant 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 et McNeil, 1982). Les valeurs de l'AUC sont interprétées comme proposées 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  $AUC \leq 0,60$ .

- **Traitement d'image satellitaire**

L'image satellitaire utilisée dans la présente étude a été prise par Worldview-2. Ce satellite a récemment ajouté quatre nouvelles bandes aux quatre bandes traditionnelles. L'image satellitaire a été prise via huit bandes multispectrales et une bande panchromatique.

Le tableau 11 illustre les différentes caractéristiques spectrales de l'image étudiée.

Tableau 12: Caractéristiques spectrales de l'image satellitaire étudiée.

Type de bande	Indication de la bande	Longueur d'onde	Limites spectrales de la bande	Résolution spatiale
Bandes traditionnelles	B2	Bleu	450 nm to 510 nm	0.5m
	B3	Vert	510 nm to 580 nm	
	B5	Rouge	630 nm to 690 nm	
	B7	Proche-infrarouge-1	770 nm to 895 nm	
Nouvelles bandes	B1	Côtière	400 nm to 450 nm	
	B4	Jaune	585 nm to 625 nm	
	B6	Frontière du rouge	705 nm to 745 nm	
	B8	Proche infra-rouge 2	860 nm to 1040 nm	
Bandes panchromatiques	--	--	--	

Cette image a été prise par Worldview-2 en Avril 2019. En effet, elle couvre une superficie de 25km<sup>2</sup>. Après son acquisition, les différentes étapes de traitement ont été faite moyennant le logiciel Google Earth Engine. L'avantage de cet outil réside dans sa rapidité et sa flexibilité, avec un large éventail de choix de visualisation, de traitement, d'évaluation de précision et de stockage de l'information (Gorelick et *al.*, 2017).

Le prétraitement, le traitement et le post-traitement d'image représentent les trois phases principales adoptées dans la présente étude.

En effet, le prétraitement a été réalisé via le calcul des indices de végétation (NDVI et GNDVI) et la classification non supervisée des couches obtenues. Cette étape vise à la séparation de la végétation du sol nu afin de faciliter la classification par la suite.

Ensuite, le traitement d'image consiste à visualiser les signatures spectrales des différentes données d'occurrence et dégager les différences pertinentes en termes de variation des réflectances par rapport aux différentes bandes et entres les différentes espèces.

Enfin, le post traitement consiste à la validation des résultats et l'évaluation de la précision du classificateur utilisées.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

Les principaux résultats obtenus - après préparation, homogénéisation et traitement des différents types de données - sont structurés en 4 parties. Il s'agit de la caractérisation générale de l'ensemble des sites étudiés de point de vue géographique, physiographique, phytoécologique et agroforestier. La cartographie des variables pédoclimatiques. L'analyse multivariée a été élaboré pour évaluer le degré de dissimilarité entre les sites étudiés. Ensuite, La représentation des outputs de la modélisation de la distribution des espèces associées de l'arganier (SSDM) en finissant par l'analyse multispectrale et la cartographie des espèces géolocalisées.

## **1. Caractérisation générale des sites**

La caractérisation des sites consiste en 4 composantes principales, à savoir : La localisation géographique, la physiographie générale, les pratiques agroforestières et la phytoécologie.

Les résultats des statistiques descriptives sont organisés en tableaux de manière hiérarchique par Site/Transect/Quadrat/ Composante principale.

### **1.1. Localisation géographique**

Les statistiques descriptives par quadrats ont révélé que la longitude et la latitude varient dans les tranches  $[-9,92368^\circ ; -9,14132^\circ]$  et  $[29,37798^\circ ; 31,10348^\circ]$  respectivement. Ceci atteste la variation spatiale importante des échantillons le long du littoral comparé au gradient continental.

Quant à l'altitude, des valeurs minimales ont été enregistrées dans le site Tafedna, à 111,3 m par rapport au niveau de la mère. A contrario, le site Khmiss Tioughza a affiché des valeurs d'altitude élevées, avec un maximum de 661 m.

Le tableau suivant représente les valeurs moyennes des coordonnées (longitude, latitude et altitude) des différents quadrats échantillonnés, indexés par transect et site.

Tableau 13: Liste des coordonnées des différents quadrats échantillonnés.

Site/Transect/Quadrat/Localisation	Longitude	Latitude	Altitude(m)
<b>Aït Baha</b>	<b>-9,18405</b>	<b>30,09049</b>	<b>590,0</b>
<b>1</b>	<b>-9,18405</b>	<b>30,09049</b>	<b>590,0</b>
1	-9,21651	30,09710	579,0
2	-9,14336	30,08253	641,0
3	-9,14132	30,08534	633,5
4	-9,17934	30,08670	576,0
5	-9,22090	30,09891	547,0
<b>Khmiss Tioughza</b>	<b>-9,91069</b>	<b>29,38334</b>	<b>554,0</b>
<b>1</b>	<b>-9,91069</b>	<b>29,38334</b>	<b>554,0</b>
1	-9,91632	29,38618	478,5
2	-9,92368	29,37798	430,2
3	-9,90197	29,37822	661,0
4	-9,91225	29,39041	502,7
5	-9,90387	29,38706	633,5
<b>Mesguina</b>	<b>-9,52410</b>	<b>30,47153</b>	<b>393,6</b>
<b>1</b>	<b>-9,52302</b>	<b>30,46452</b>	<b>308,3</b>
1	-9,52322	30,46312	311,0
2	-9,52147	30,46527	325,0
3	-9,52086	30,46773	322,5
4	-9,52282	30,46449	293,2
5	-9,53148	30,45712	254,0
<b>2</b>	<b>-9,52579</b>	<b>30,48254</b>	<b>527,8</b>
1	-9,52923	30,48716	593,3
2	-9,52848	30,48428	579,0
3	-9,52118	30,47590	419,0
4	-9,52031	30,47849	445,0
<b>Tafedna</b>	<b>-9,80454</b>	<b>31,09387</b>	<b>140,9</b>
<b>1</b>	<b>-9,80454</b>	<b>31,09387</b>	<b>140,9</b>
1	-9,79686	31,07243	177,5
2	-9,80120	31,08021	111,3
3	-9,81439	31,09850	146,5
4	-9,79802	31,10348	163,5
5	-9,81043	31,09872	112,0

## 1.2. Physiographie générale

Les variables contenues dans cette composante sont catégoriques, chacune a des modalités. Les statistiques adaptées à ce type de données sont basées sur les distributions fréquentielles. Ainsi, la caractérisation des sites étudiés en termes de physiographie générale aura plus de sens via la comparaison des fréquences des modalités pour chaque variable. Le tableau suivant illustre les distributions fréquentielles des modalités des différentes variables.

Tableau 14: Récapitulatif des fréquences des modalités des variables caractéristiques de la physiographie générale des différents quadrats étudiés.

<b>St. Microenvironnement</b>		
Colline	:	34.91 %
Colline, Coté d'oued	:	5.92 %
Colline, Coté de la route	:	38.46 %
Haut de colline	:	4.14 %
Replat	:	10.06 %
Replat, steppe	:	3.55 %
Bas de Colline	:	2.95 %
<b>St. Pente</b>	<b>St. Exposition</b>	<b>St. Roches</b>
16-30% :23.07 %	E : 24.26 %	>67 % : 8.28 %
3-8% :15.97 %	NE : 7.1 %	11-33% : 42.01 %
31-60% :46.75 %	NW : 12.42 %	34-66% : 49.7 %
9-15 % :14.21 %	S : 4.7 %	
	SE : 24.26 %	
	SW : 5.32 %	
	W : 21.9 %	
<b>St. Remarques du sol</b>		
Erosion hydrique et Eolienne	:	24.26 %
Sol glissant et Erosion hydrique avancée	:	17.75 %
Erosion hydrique	:	18.34 %
Caillouteux	:	21.9 %
Caillouteux et présence de M.O (origine Animale)	:	17.75 %
<b>St. Type d'occupation de sol</b>		
Forest	:	33.13 %
Dense_dwarf_shrub	:	26.62 %
Forest Streams, springs	:	11.83 %
Forest Bare_rocks_per_soil	:	10.65 %
Agricultural_plus_natural_vegetation	:	18.93 %
<b>St. Remarques générales</b>		
Abondance d'arbres malades(lichens)	:	30.27 %
Carrière intense	:	4.73 %
Coupe d'arbres et traces de feu (camping)	:	15.38 %
Peuplement âgé et vigoureux	:	14.20 %
Présence d'arbres chétifs et touffes d'arganier	:	35.70 %

D'après le tableau 13, de la distribution des fréquences, 73% des quadrats échantillonnés sont localisés sur colline dont 38% sont à proximité de la route. Alors que les quadrats sur des terrains replats représentent 10%.

Ceci peut être expliqué par la classe de pente [3-8%] qui représente 16%, alors que les classes [9-30%] et [30-66%] représentent, respectivement, 37.25% et 46.75%.

Quant à l'exposition, l'absence revient à celle du Nord. Les expositions Est (E) et Sud-Est (SE) ont affiché ensemble 45.2% de la totalité des échantillons avec des poids égaux. L'exposition Ouest (W) représente 21.9% et 12.4% va à l'exposition Nord-Ouest (NW) alors que les modalités qui restent représentent à peine 17.12% ensemble.

Concernant le pourcentage de roches, la classe [34 -66%] prédomine avec 50% de la totalité. Il s'en suit la classe [11-33%] avec 42%. En considérant la présence de l'arganier dans les différents sites, il semble qu'il est flexible, particulièrement, vis-à-vis le pourcentage de roches sur le sol, et généralement, pour la nature de sol.

Dans le même sens, la variable regroupant les remarques portées sur le sol est répartie sur 5 modalités avec 62% signalant l'érosion hydrique dont 17.75% représente des sols glissant avec une érosion hydrique avancée alors que 38% représente des sols caillouteux.

Quant au type d'occupation de sol, 55.6 % est occupé par la forêt, 26.62 % des terrains sont à arbustes nains denses et 19 % revient aux terrains à occupation mixte (végétation naturel et l'agriculture).

Les remarques générales ont porté sur les phénomènes caractérisant les microenvironnements des quadrats. Ainsi, 30% des sites étudiés sont caractérisés par l'abondance des arbres attaqués par des lichens. 35.7% de la population a révélé la présence des arbres chétifs accompagnés de touffes d'arganier résultant du surpâturage. 15.38% attestant la présence des arbres coupés avec des traces de camping. Alors que, seulement 14% des sites étudiés représente des peuplements vigoureux. La présence de carrière intense représente 4.7% des sites étudiés.

### **1.3. Agroforesterie**

Les variables renseignant sur les systèmes de production dans le formulaire IPGRI renseigne sur quelques aspects d'agroforesterie. Certes, l'évaluation descriptive de ce type de variables nous donne une idée sur les facteurs de dégradation de l'arganier. Ainsi, les résultats d'analyse fréquentielle sont résumés dans le tableau suivant:

Tableau 15: Récapitulatif de la distribution fréquentielle des variables caractéristiques des pratiques agroforestières

<b>St. Type de couvert végétal dominant</b>		<b>St. Utilisation du sol</b>	
Arborescent	: 70 %	Terrain cultivé	: 2.9 %
Arborescent et Arbustive	: 30 %	Terre de pâturage	: 40.82 %
		Hétérogène	: 56.80 %
<b>St. Pâturage</b>		<b>St. Perturbation</b>	
3 Faible	: 16.58 %	Construction	: 4.14 %
5 Moyen	: 67.45 %	Patùrage	: 80.47 %
7 Elevé	: 16.97 %	Patùrage+Cultures	: 13 %
		Travail de sol	: 2.49 %
<b>St. Préparation de sol</b>			
No	: 87%		
Travail superficiel	: 13%		

D'après la distribution des fréquences ci-dessus, le type de couvert végétale arborescent représente 70% face à 30% du mélange arborescent-arbustive.

Quant à l'utilisation de sol, 56.8% est hétérogène partagée entre différents types d'usage. 40.82% sont à vocation pastorale, alors que les terres cultivées représentent approximativement 3%. Par ailleurs, 87% des sites sont caractérisés par l'absence de pratiques agricoles. Alors que 13% représente des terrains labourés superficiellement.

L'estimation des facteurs de dégradation a révélé une dominance de pâturage avec 93.47% dont 13% résulte de l'effet combiné de pratique agricole et du pâturage.

L'estimation des effets du pâturage sur la dégradation d'arganier a révélé que 84.43% des quadrats affiche un niveau moyen de dégradation dont 17% représente un niveau élevé, alors que seulement 16.5% des quadrats affiche un niveau faible de l'effet de pâturage sur la dégradation de l'arganier.

#### 1.4. Phytoécologie

Les relevés phytoécologiques intégrés dans le formulaire IPGRI ont permis la caractérisation de l'arganier et ses associations végétales principales dans les différents sites étudiés. Le tableau 15 récapitule les différents paramètres de la végétation mesurés :

Tableau 16: Récapitulatif fréquentiel et statistiques descriptives des différents paramètres de la végétation caractérisant l'arganier.

Nombre d'arbres géolocalisées		Nbre d'arbres des espèces associées			
<i>Argania spinosa</i> :120		<i>Agrania spinosa</i> :	120		
Autres: 49		<i>Olea</i> sp. :	10		
		<i>Asparagus</i> .ssp :	7		
		<i>Euphorbia officinarum</i> .ssp :	7		
		<i>Senecio anteuphorbium</i> :	6		
		<i>Ziziphus lotus</i> :	5		
		<i>Tetraclinis articulata</i> :	3		
		<i>Euphorbia equinus</i> :	2		
		<i>Euphorbia régis Jubae</i> :	3		
		<i>Ononis</i> :	2		
		<i>Genista tricuspidata</i> :	2		
Stade Arganier		Etat sanitaire Arganier			
Adulte :92.33 %		Bon :	61.33 %		
Jeune : 7.63 %		Mauvais :	7.33 %		
		Moyen :	31.33 %		
Recouvrement					
	Project_site	Moyenne	Max	Min	Ecart-type
1:	Mesguina	44.37500	80	25	15.818988
2:	Aït Baha	30.41667	35	20	5.299029
3:	Tafedna	58.14815	70	45	10.932322
4:	Khmiss Tioughza	40.71429	50	25	10.248242
>					
Densité					
	Project_site	Moyenne	Max	Min	Ecart-type
1:	Mesguina	33.85000	54	16	9.739031
2:	Aït Baha	28.33333	40	16	8.849793
3:	Tafedna	52.88889	60	42	8.087661
4:	Khmiss Tioughza	35.42857	48	22	11.95494
Hauteur d'arbre					
	Project_site	Moyenne	Max	Min	Ecart-type
1:	Mesguina	6.937500	12.0	2.5	2.088391
2:	Aït Baha	8.229167	12.5	4.0	2.293560
3:	Tafedna	6.129630	8.5	4.0	1.369956
4:	Khmiss Tioughza	5.735714	10.0	3.5	1.568253
Diamètre du houppier					
	Project_site	Moyenne	Max	Min	Ecart-type
1:	Mesguina	8.287500	15	3	3.056912
2:	Aït Baha	8.625000	12	5	1.883856
3:	Tafedna	7.259259	11	3	1.788695
4:	Khmiss Tioughza	6.500000	11	4	1.855921
Nombre de rejets					
	Project_site	Moyenne	Max	Min	Ecart-type
1:	Mesguina	2.850000	11	1	2.587445
2:	Aït Baha	4.375000	15	1	4.311890
3:	Tafedna	4.777778	15	1	3.826359
4:	Khmiss Tioughza	2.464286	11	1	2.501587

D'après le tableau 15, le nombre d'espèces géolocalisées dans l'ensemble des sites étudiés est partagé entre 120 arbres d'arganier et 49 individus rassemblant différentes espèces associées prédominantes. Les espèces associées sont l'Oleastre, l'Euphorbe, rassemblant différentes espèces, *Acacia gummifera* *Tetraclinis articulata*, *Senecio anteuphorbium*, *Ziziphus lotus* et *Asparagus sp* et *Ononis*.

Concernant le stade de croissance de l'arganier, 92.33 % des individus sont adultes. 61.33 % des arganier géolocalisés sont en bon état, 31.33 % à état moyen alors que 7.33% affichent un état de dégradation avancé.

Quant aux paramètres de la végétation, le recouvrement d'arganier a affiché des valeurs moyennes allant de 30 % (Ait Baha) à 58 % (Mesguina). Une large variation du recouvrement a été enregistrée dans le site Mesguina allant de 25% à 80% alors qu'à Ait Baha, une faible variation de recouvrement a été enregistré à Ait Baha comprise entre 20% et 35%.

La densité moyenne d'arganiers a affiché une valeur maximale de 53 arbres/ha à Tafedna, alors que la densité moyenne minimale a été enregistrée à Ait Baha avec 23 arbres/ha. En termes de variation, une large variation a été enregistrée à Mesguina et Khmiss Tioughza entre 16 et 54 arbres /ha, alors qu'Ait Baha a affiché la plus faible variation avec un minimum de 16 arbres/ha et un maximum de 40 arbres/ha.

Ces résultats attestent d'une part la présence d'une corrélation entre le recouvrement et la densité. D'autre part, ils confirment les études antérieures à propos de la densité d'arganiers. En effet, Ajjadiani et El Aboudi, (2015) ont signalé que la densité moyenne d'arganiers dans la région de Ait Baha peut dépasser 35 arbres/ha dans les zones accidentées, alors que sur les terrains plats, cette densité atteint à peine une dizaine d'arbres/ha.

Concernant les dimensions d'arganier. La hauteur moyenne des arbres varie entre 5.73 m (Khmiss Tioughza) et 8.23 m (Ait Baha). En termes de variation, le site Mesguina a affiché une large variation d'hauteur d'arbres allant de 2.5 m jusqu'à 12 m alors que dans le site Tafedna, la hauteur d'arbres a affiché une faible variation allant de 4 à 8.5 m.

La largeur moyenne du houppier a affiché une valeur moyenne de 8.62 mètres à Ait Baha avec un maximum de 12 m et un minimum de 5 m. Ces constats concordent avec l'étude de Ajjadiani et El Aboudi, (2015). En effet, via la classification orienté objet d'images satellitaires à très haute résolution, il a été attesté que le diamètre du houppier d'arganier sur les terrains accidentés varie entre 4 et 5 m alors que les terrains plats à faible densité se caractérisent par des arbres

dont le diamètre du houppier varie entre 10 et 12 mètres. La valeur moyenne minimale du diamètre du houppier a été affichée à Khmiss Tioughza avoisinant 6.5 mètres. La plus large variation a été enregistrée à Mesguina entre 3m et 15m. Les sites Tafedna et Ait Baha ont affiché la plus faible variation allant de 4 à 12 m.

Concernant le nombre moyen de rejets par arbre, les sites Ait Baha et Tafedna affichent en moyenne plus de 4 rejets par arbre alors que les sites Mesguina et Khmiss Tioughza affiche un nombre moyen de deux rejets par arbre.

## 2. Caractérisation pédoclimatique de l'arganeraie

Les variables édapho-climatiques ayant servi à la caractérisation des écosystèmes d'arganeraie ont permis l'élaboration d'une multitude de cartes orographiques et climatiques.

### 2.1. Caractérisation orographique

- Cartographie de la pente

#### Carte des Pentes de l'Arganeraie du Sud-Ouest Marocain

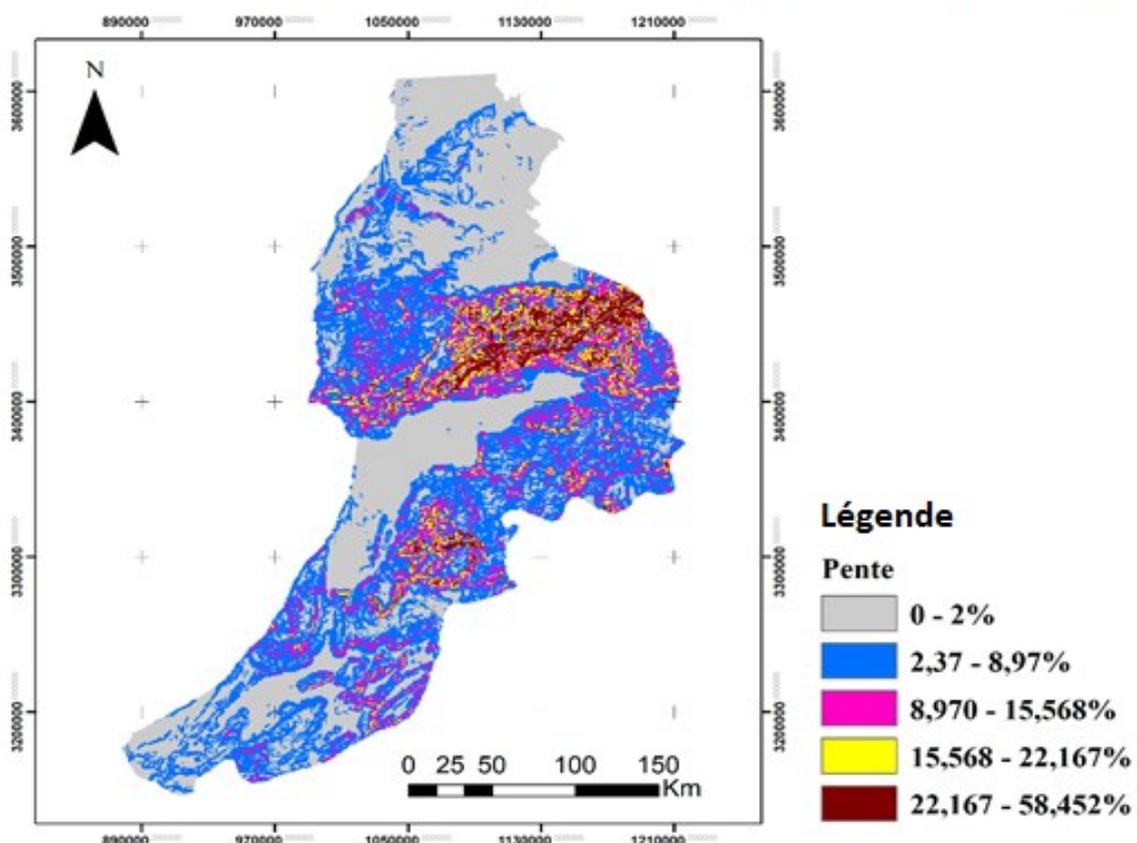


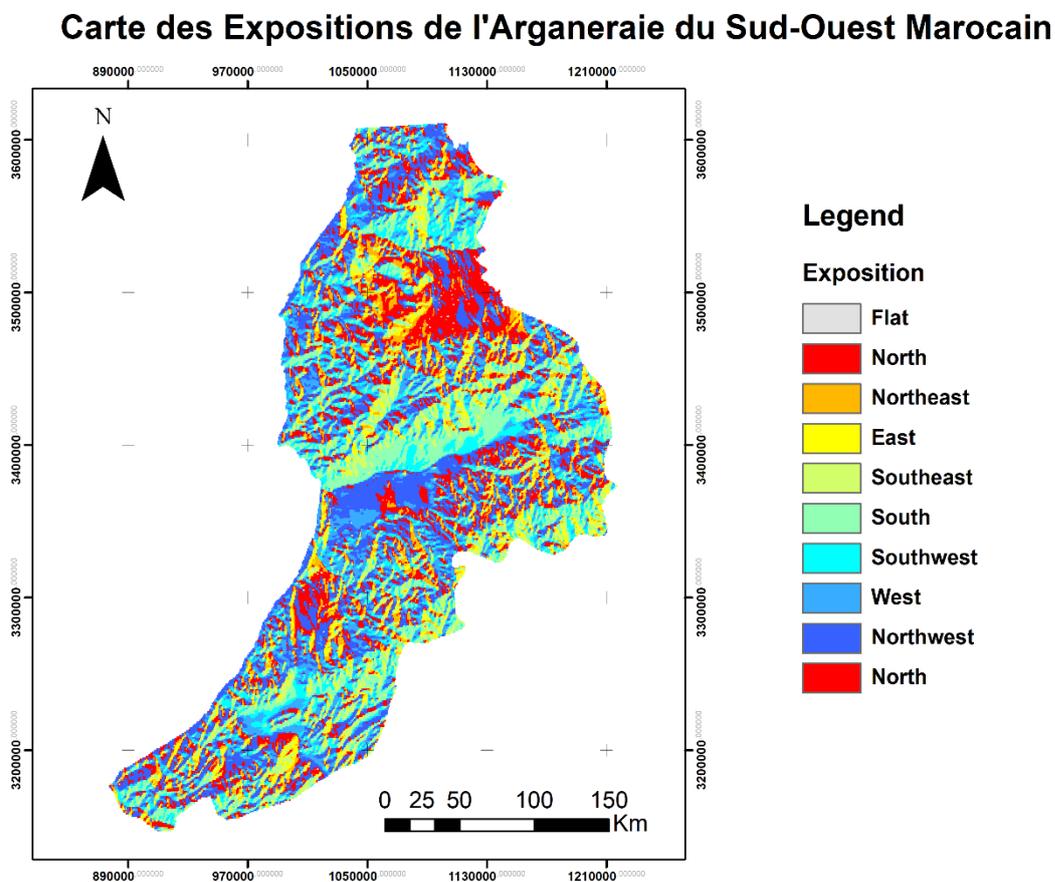
Figure 14 : Carte thématique représentant la distribution spatiale de la pente dans l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc

La carte des pentes (Figure 14) affiche une variabilité importante de la pente allant des terrains relativement plats [0-2%] aux terrains à pente aigus [22-58%] caractérisant, principalement, les

zones montagneuses. Il faut noter que ces constats sont relativement significatifs. Ils sont intimement liés à la résolution du modèle numérique de terrain. Pourtant, la présente carte renseigne sur la flexibilité de l'arganier vis-à-vis la variation de la pente.

- **Cartographie de l'exposition**

L'exposition représente une variable importante dans la discrimination de différents types de végétation et différents phénotypes au sein de la même espèce. Ceci est dû principalement au rayonnement solaire qui diffère en fonction de l'exposition. Ainsi, la carte suivante illustre la distribution spatiale de l'exposition au sein de l'Arganeraie.



*Figure 15 : Carte thématique représentant la distribution spatiale de l'exposition dans l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc*

La carte élaborée (Figure 15) affiche toutes les expositions possibles dans la région d'arganeraie. Ces résultats témoignent de la plasticité d'arganier vis-à-vis l'exposition.

Ces cartes pourraient servir à identifier l'effet de l'exposition et de la pente sur différents traits génétiques de l'arganier avec plus de précision pour la sélection des individus performants et le choix des sites de plantation dans le cadre d'investigations ultérieures.

- **Indice d'humidité topographique**

Il existe plusieurs indices utilisés pour la caractérisation orographique parmi lesquelles, l'indice d'humidité topographique (Topographic Wetness Index=TWI). Le choix de cette variable revient à sa haute corrélation à plusieurs attributs du sol. Cet indice a révélé des contributions intéressantes en matière de modélisation des niches écologiques des espèces (Bemmels et Pascal., 2017).

Plusieurs études ont attesté la corrélation élevée du TWI avec plusieurs variables de sol, dont la profondeur des horizons, le taux de salinité, la teneur en matière organique et en Phosphore (Moore et *al.*, 1993). Parallèlement, il a été signalé que cet indice est très utile pour la quantification des processus hydrologiques (Sørensen et *al.*, 2006).

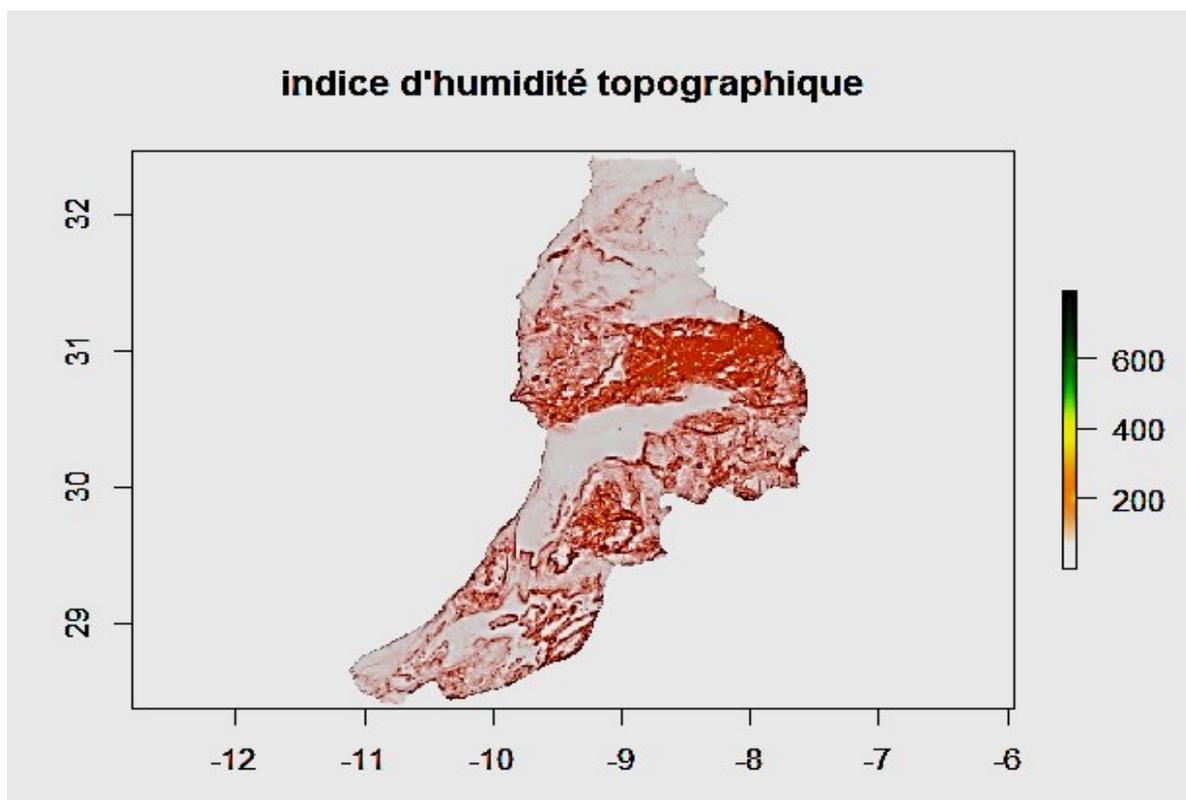


Figure 16 : Illustration de la distribution spatiale de l'indice d'humidité topographique dans l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc

D'après la figure 16, la région d'arganeraie affiche des valeurs faibles d'indice d'humidité topographique à l'exception de la chaîne du Haut-Atlas. En effet, Le TWI balance entre 0 et

400 avec des valeurs moyennes avoisinant 200. Ces valeurs renseignent sur la distribution spatiale du potentiel cumulatif de l'eau dans les zones à faible pente d'une part.

D'autre part, elles témoignent l'importance des processus hydrologique caractéristiques des zones montagneuses.

## 2.2. Caractérisation climatique

Les variables bioclimatiques choisi pour a caractérisation de l'aire de distribution de l'arganier ont été regroupées selon leurs unités pour gagner en homogénéité et faciliter leur comparabilité spatiale.

- **Indices bioclimatiques**

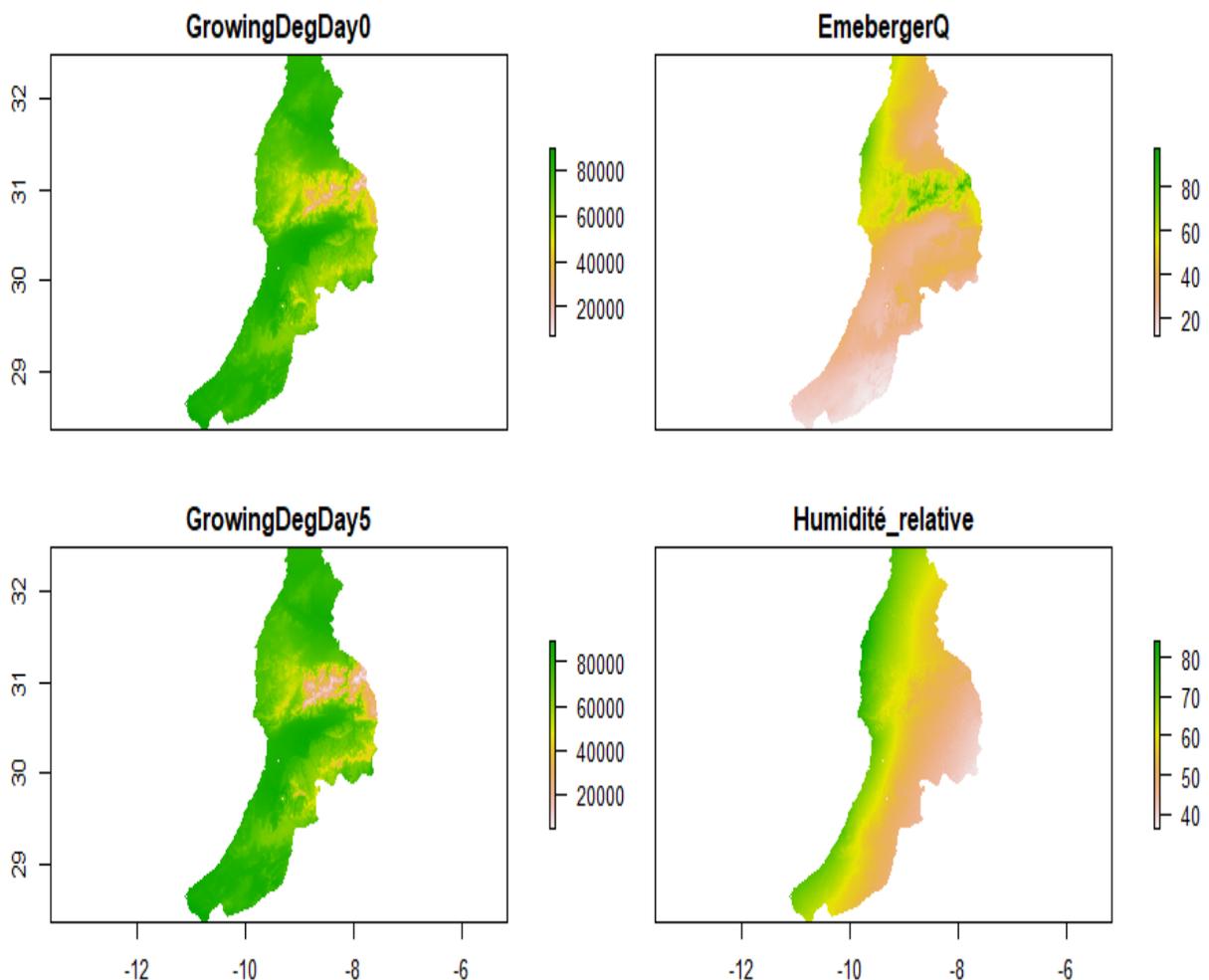


Figure 17 : Illustration de la distribution spatiale des indices bioclimatiques utilisés pour la caractérisation de l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc

D'après la figure 17, le quotient d'Emberger varie entre 20 et 90, avec une dominance de la classe ( $Q < 50$ ). En effet, la province d'Essaouira et les zones montagneuses du Haut Atlas affichent un quotient d'Emberger avoisinant 80 ce qui confère à la zone un caractère des étages

bioclimatiques subhumides. Quant au reste de la zone d'étude, les bioclimats caractéristiques sont partagés entre le semi-aride au Nord et l'aride vers l'extrémité Sud. Cette large variation témoigne de la plasticité et la flexibilité de l'arganier vis-à-vis la variation de la température et de la pluie. Enfaite, la niche écologique d'arganier s'étend du climat semi-aride jusqu'à à l'hyperaride (Mokhtari et *al.*, 2013).

Concernant l'humidité de l'air, elle varie selon le gradient longitudinal allant de l'Ouest à l'Est. En fait, la zone littorale est caractérisée par une humidité élevée de l'ordre de 80%. En prolongeant suivant le gradient longitudinal, l'humidité relative moyenne annuelle décroît rapidement, jusqu'à des valeurs minimales de 38%. D'où l'effet de l'océanité sur la teneur en vapeur d'eau dans l'air.

Les indices de croissance de degrés jour (Growing Degree Day) montrent que la région d'arganeraie est caractérisée par une homogénéité des températures moyennes mensuelles, généralement, supérieures à 5°C, avec des valeurs de GDD comprises dans l'intervalle [20000, 90000]. Ceci indique que la région d'arganeraie est partagée entre les biomes terrestres des terres arides et ceux tempérés chauds, à variantes principalement, tempérés chaudes et chaudes avec quelques zones à variantes tempérées froides (Metzger et *al.*, 2013). Les biomes à variantes tempérées froides sont représentés par les pixels orange de quelques régions montagneuses au Haut-Atlas et à l'Anti-Atlas.

Ainsi, ces constats concordent avec les affirmations de plusieurs auteurs qui stipulent que ces indices sont intimement liés à la végétation (Thornthwaite, 1948; Metzger et *al.*, 2013). D'où, la relation entre la variabilité bioclimatique et la richesse du cortège floristique de l'arganier.

- **Demande climatique**

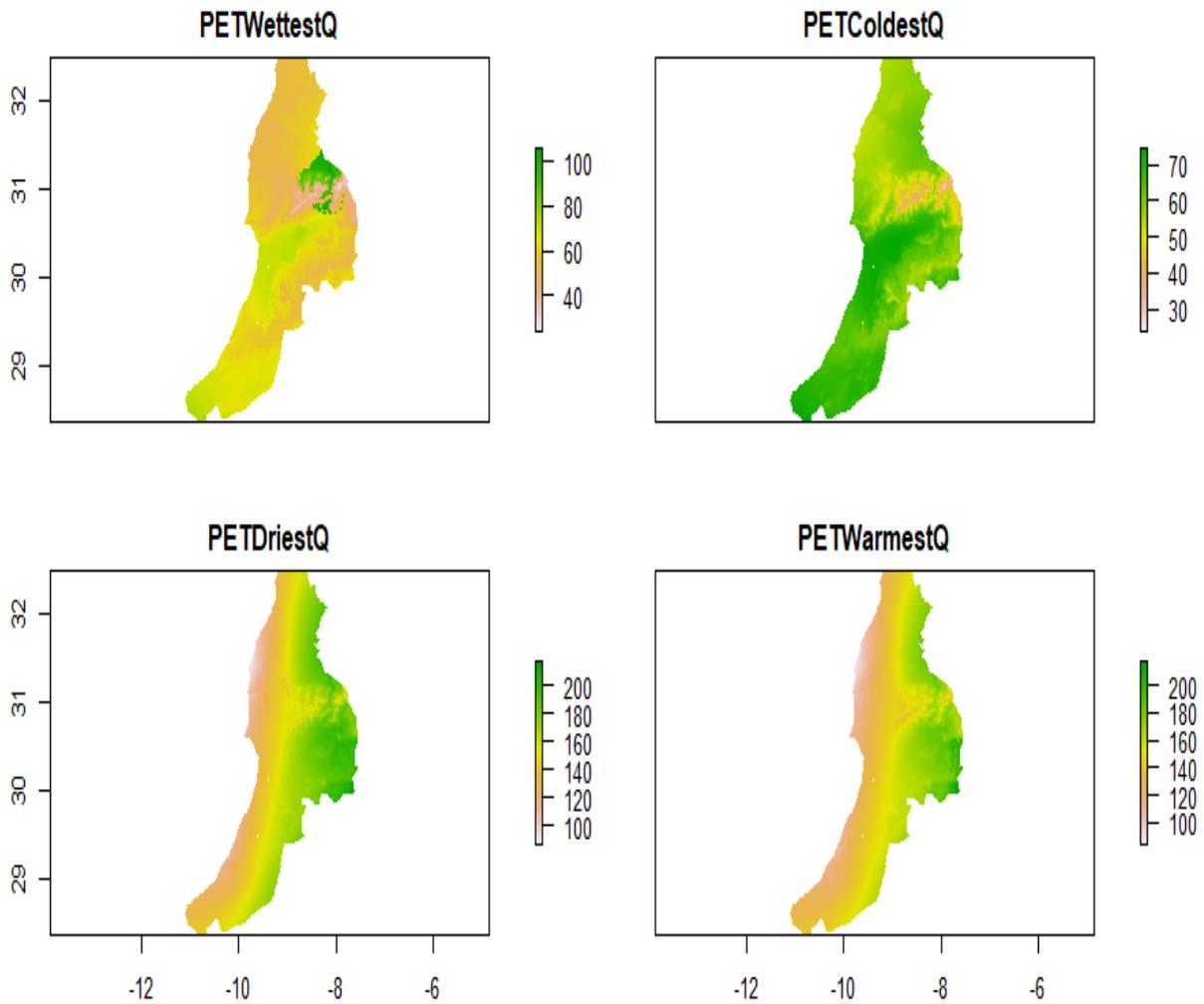


Figure 18 : Illustration de la distribution spatiale des ETP quadrimestrielles moyennes dans l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc

D'après la figure 18, l'ETP mensuelle moyenne des quadrimestres chaud et secs augmente graduellement de l'Ouest vers l'Est en fonction de la longitude. D'où, l'effet marquant du littoral sur la compensation de l'évapotranspiration. Cette dernière, varie entre 100 mm/mois et 200 mm/mois à l'extrémité Est de la région d'arganeraie.

Concernant l'ETP mensuelle moyenne du quadrimestre le plus froid, une faible variation a été enregistrée dans toute la région d'arganeraie dans l'intervalle [60,73] mm/mois, à l'exception,

de la zone montagneuse du Haut Atlas (pixel orange) qui représente des valeurs faibles variant de 30 à 50 mm/mois.

Pour l'ETP mensuelle moyenne du quadrimestre le plus humide, deux grandes zones homogènes sont distinguées, à savoir : La tranche latitudinale [28.5°, 30.5°] avec des valeurs d'ETP entre 60 et 80 mm/mois et la partie Nord dans la tranche latitudinale [30.5°, 32.3°] avec des valeurs d'ETP faibles variant de 30 à 60 mm/mois, à l'exception de la partie Nord-Est du Haut Atlas qui affiche des valeurs élevées d'ETP atteignant 100mm/mois. Ceci peut être expliqué par les courants chauds venant de l'Est.

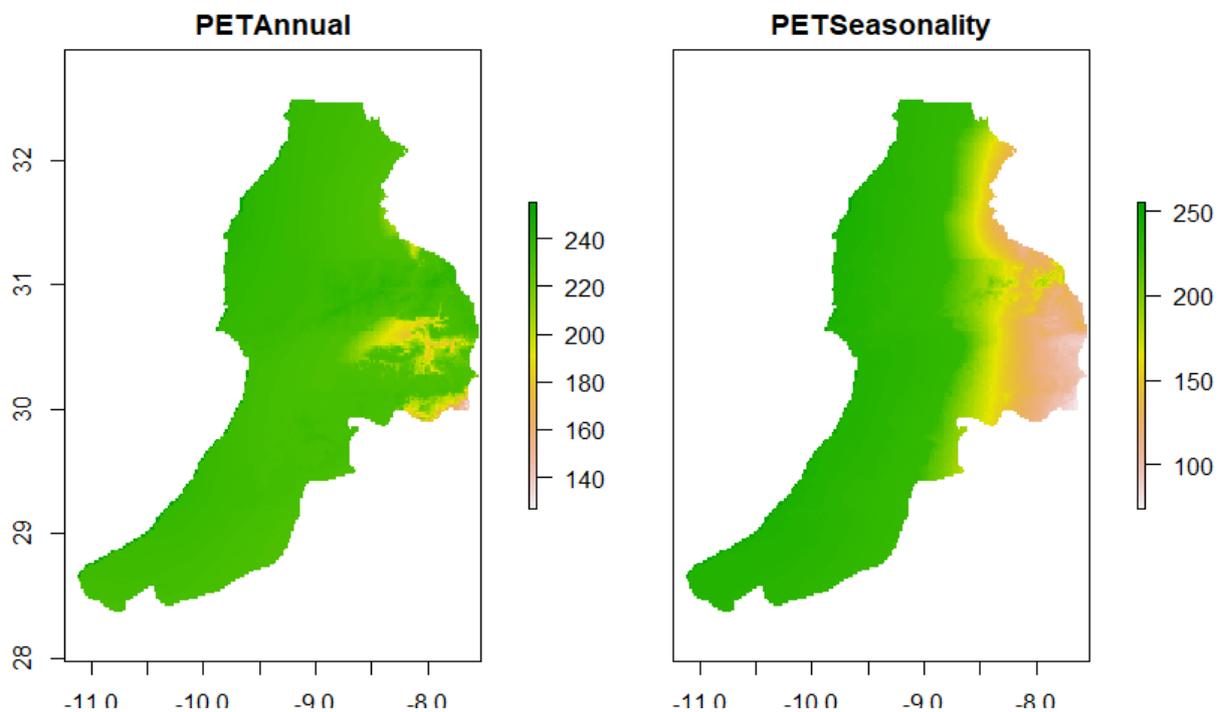


Figure 19 : Illustration de la distribution spatiale de l'ETP annuelle et l'ETP de saisonnalité moyennes dans l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc

Compte tenu de l'humidité, l'ETP moyenne annuelle (Figure 19) affiche des valeurs élevées dans toute la région d'arganeraie avec une moyenne de 230 mm/an. Les zones montagneuses de l'Anti Atlas font l'exception avec des valeurs faibles entre 150 et 190 mm/an.

Concernant l'ETP saisonnière, il existe un gradient longitudinal caractérisé par une diminution de l'ETP suivant l'orientation Ouest-Est. En effet, passant de la tranche longitudinale [-11, -9]

à [-8.5, -7.5], l'ETP diminue de 250 mm/mois jusqu'à 100 mm/mois. Ce changement brusque peut être expliqué par le déséquilibre saisonnier causé par le réchauffement climatique.

- **Paramètres thermiques**

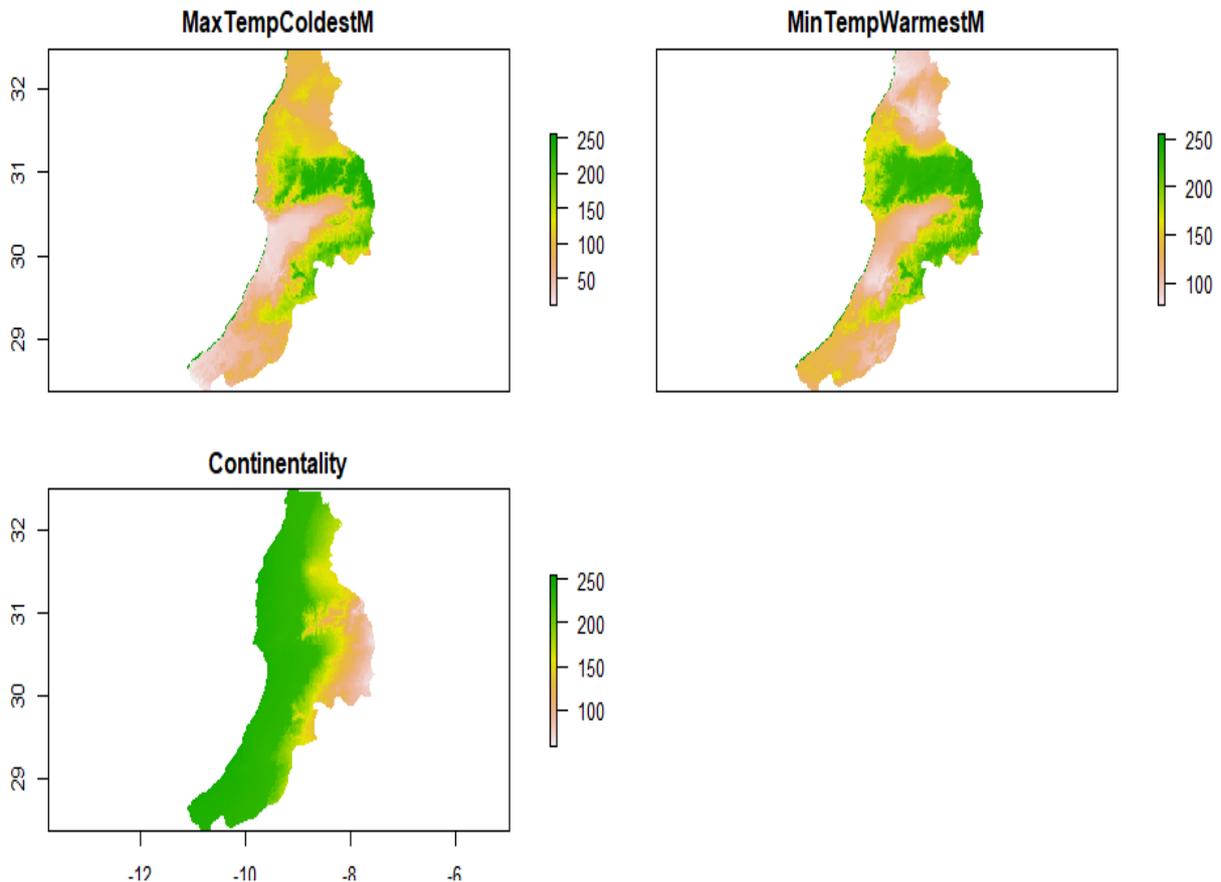


Figure 20 : Illustration de la distribution spatiale de quelques paramètres thermiques utilisés pour la caractérisation de l'arganeraie du Sud-Ouest du Maroc

En termes de caractérisation thermique, les limites de variation de la température renseignent sur l'amplitude thermique caractéristique de la niche écologique de l'espèce dans son aire naturelle et renseignent sur l'aire favorable pour son développement. Il est important de noter que les variables '**MaxTempColdestMonth**', '**MinTempWarmestMonth**' et '**Continentality**' sont multipliées par 10.

D'après la figure 20, la température maximale du mois le plus froid affiche des valeurs élevées dans les zones montagneuses du Haut Atlas et de l'Anti Atlas, avec une moyenne de 20°C. la partie Nord de la tranche latitudinale [31.3', 32.5'] affiche des valeurs moyennes entre 12,5 et

7,5°C, alors que la partie Sud-Ouest de l'arganeraie affiche des valeurs très faibles variant de 0 à 5 °C avec un gradient léger de l'Ouest vers l'Est.

De même pour la température minimale du mois le plus chaud, la zone montagneuse affiche des valeurs élevées entre 15 et 25°C, avec des valeurs moyennes à l'extrémité Sud-Ouest variant entre 16 et 13°C, alors que la plaine de Souss et la partie Nord de l'Arganeraie se caractérisent par des valeurs faibles allant de 12 jusqu'à 8°C.

Il est à noter que vers l'extrémité du continent tout au long le littoral la température maximale du mois le plus froid et la température minimale du mois le plus chaud affichent des valeurs élevées avoisinant 20 °C. Ceci peut être expliqué par l'effet combiné de l'humidité de l'air et de la température.

Concernant la continentalité, la présence d'un gradient longitudinale décroissant suivant l'orientation Ouest-Est est remarqué. Ceci stipule que l'amplitude thermique diminue en s'éloignant du littoral. Par ailleurs, les valeurs de continentalité variant de 20 à 25°C caractérisent une large superficie de l'arganeraie ce qui témoigne de l'adaptabilité d'arganier aux écarts thermiques élevés.

### 3. Analyse multivariée

- MANOVA

La variable dépendante du test MANOVA regroupe le recouvrement, la densité, la hauteur des arbres, le diamètre de la couronne et le nombre de rejets. Les variables factorielles regroupent le site, le microenvironnement, la pente, l'exposition et le pourcentage de roches. Le tableau 16 représente les résultats de l'analyse multivariée structurés par facteur.

Tableau 17: Résultats du test MANOVA par rapport aux différents facteurs physiogéographiques

	Df	Pillai	approx F	Df	Pr(>F)
Project_site	3	0.85985	9.0801	15	< 2.2e-16 ***
St.Microenvi.	6	0.78376	3.47	30	4.091e-09 ***
St.Slope	3	0.70579	6.9527	15	3.2e-13***
St.Aspect	6	0.84706	3.8074	30	1.704e-10***
St.Rocks	2	0.23381	2.9918	10	0.001453**

Signif. Codes : 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Le test MANOVA a révélé des différences très hautement significatives des paramètres de la végétation par rapport aux différents facteurs testés. En effet, ces résultats ont été enregistrés par rapport aux facteurs site, microenvironnement, pente et exposition. Quant au facteur pourcentage de roches, des différences hautement significatives ont été enregistrées.

Ces résultats stipulent que les sites étudiés représentent des écosystèmes différents de point de vue physiographique et phytoécologique. Ceci assure d'une part un maximum d'informations sur la différence existante entre les sites et justifie d'autre part, la viabilité garantie pour l'analyse de similarité environnementale afin de déterminer les descripteurs environnementaux discriminants de la niche écologique de l'arganier.

- **Analyse en composantes principales (ACP)**

Les résultats d'ACP ont affiché différentes informations qui expliquent une grande partie de la variabilité des paramètres de la végétation (composante phytoécologique) d'arganier et leurs relations avec la distribution spatiale (composante géographique).

Le graphe suivant illustre les pourcentages de contributions des différents axes principaux dans l'inertie totale des paramètres phytoécologiques et géographiques de l'arganier.

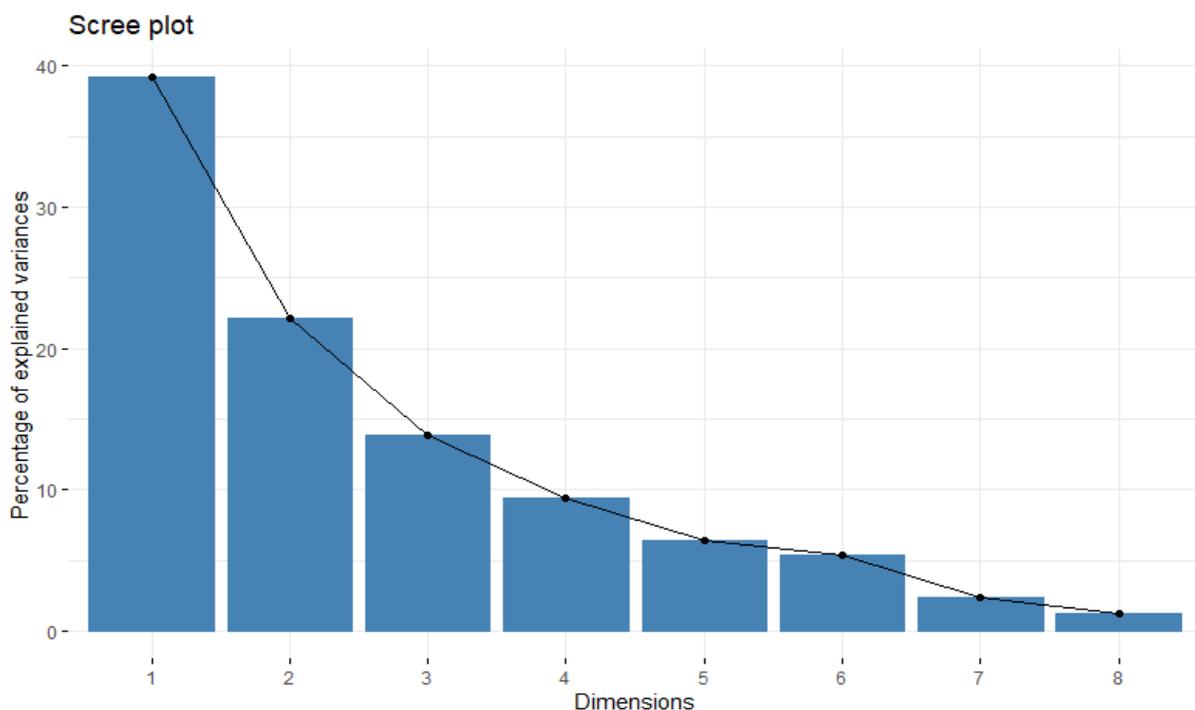


Figure 21 : Diagramme des pourcentages de la variance expliqués par chaque axe principal

Le graphe ci-dessus (Figure 21), montre que les deux premiers axes expliquent plus de 60% de la variabilité totale des variables étudiées. Alors que les axes qui restent expliquent ensemble

40%. Ceci stipule que plus de 60% de l'inertie total est représenté dans le plan principal construit par les deux premiers axes.

Pour illustrer les contributions des différentes variables dans la formation du plan principal, un cercle de corrélation a été élaboré pour visualiser le lien entre les différentes variables étudiées.

La coloration est en fonction de la contribution des variables. Les variables corrélées positivement sont du même côté du graphique. Les variables corrélées négativement sont sur des côtés opposés du graphique.

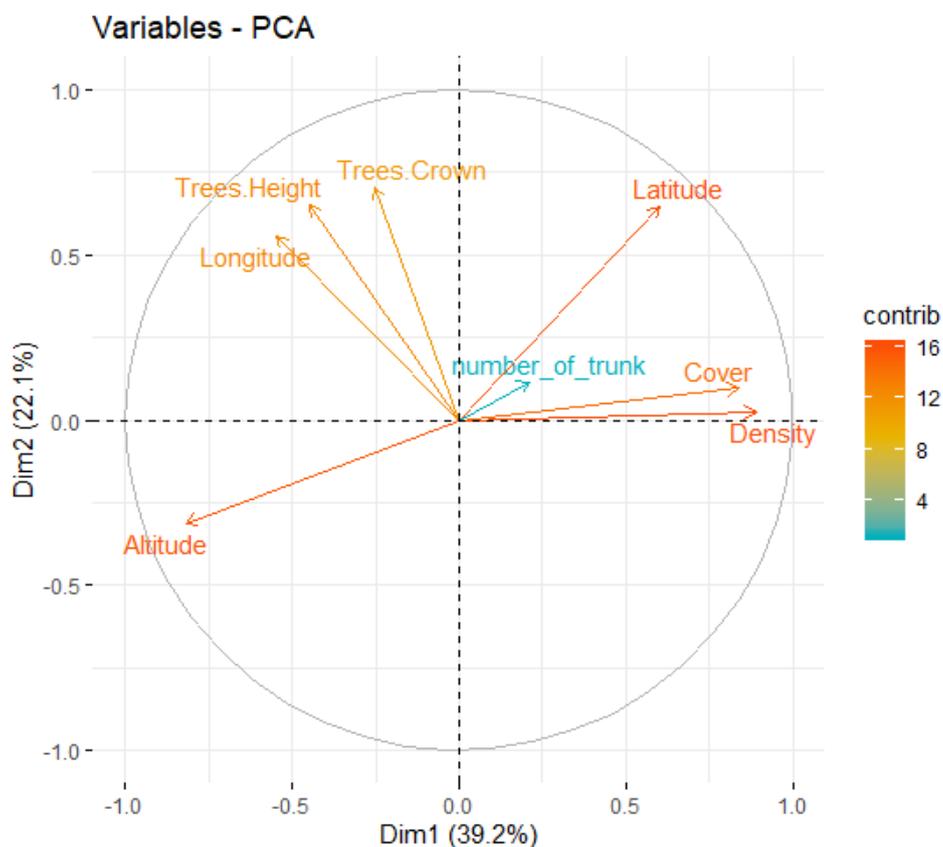


Figure 22: Cercle de corrélations et des contributions relatives des variables phytoécologiques et géographiques

D'après la représentation graphique (Figure 22), le recouvrement et la densité sont très corrélés, et contribuent avec 20% dans la formation de l'axe 1. L'altitude et la latitude sont négativement corrélées, et contribuent avec plus de 16% dans la formation de l'axe 1. Quant à l'axe 2, les contributions relatives de la longitude, la hauteur des arbres et la largeur du houppier ne dépassent pas 16% ensembles. Ces 3 variables sont moyennement corrélées entre elles. En outre, la latitude contribue également à la formation de l'axe 2 avec une contribution absolue dépassant 7%.



Tableau 18: Indices de diversité par site

	Site	Shannon	Simpson
1	Aït Baha	0.8394009	0.6129032
2	Khmiss Tioughza	1.2517566	0.4092628
3	Mesguina	0.8970711	0.5740741
4	Tafedna	0.9861007	0.5581717

D'après les indices de diversité (tableau 17), les valeurs d'indice de Shannon affichent des valeurs en-dessous de 1.5 (la limite inférieure typique) (Maguran, 2004). Ceci peut être expliqué, principalement, par l'exclusion des plantes herbacées de la géolocalisation pendant la phase de collecte de données. Vu que l'indice de Shannon intègre à la fois la richesse spécifique et la régularité des espèces, il représente un indice ultime d'évaluation de la biodiversité. Certes, lorsqu'on veut comparer la diversité entre les sites, l'indice de Shannon est moins viable comparé à l'indice de Simpson (Kerkhof, 2010).

L'indice de Simpson renseigne sur la dominance des espèces en termes de proportions. Des valeurs proches de 1 caractérisent les monocultures (Maguran, 2004). D'après les valeurs d'indices de Simpson, il existe des différences entre les sites. En effet, Ait Baha est le moins diversifié et Khmiss Tioughza est le plus diversifié. Ceci peut être expliqué par l'abondance d'une multitude d'espèces d'arbustes dans ce dernier site. Quant à Mesguina, il paraît que l'effet du nombre élevé des arbres d'arganier et la considération des deux transects dans le site a donné plus de poids à la dominance d'arganier, ainsi affichant des valeurs élevées de l'indice de Simpson.

#### 4. Modélisation de la distribution des espèces associées (SSDM)

Les résultats de la modélisation de la niche écologique d'arganier et des espèces associées sont structurés dans différentes données de sortie. Ces données de sortie constituent la base d'évaluation de la biodiversité dans l'approche SSDM. Il en découle:

- Les paramètres du modèle, les paramètres d'évaluation de la précision du modèle, les contributions relatives de chaque variable utilisée pour la prédiction,
- Une carte de probabilité de distribution de l'arganier, des cartes d'endémisme et de la richesse spécifique pour l'ensemble des espèces.

Le tableau suivant récapitule les paramètres utilisés dans le processus d'évaluation de la précision des modèles utilisés.

*Tableau 19: Récapitulatif des variables de sorties de la modélisation de la distribution des espèces associées (Schmitt et al., 2017)*

<b>Paramètre d'évaluation</b>	<b>Définition</b>
<b>Spécificité (sélectivité)</b>	La proportion des espèces à la fois prédites absentes et observées en tant que absentes.
<b>Sensibilité</b>	La proportion des espèces à la fois prédites présentes et observées en tant que présentes.
<b>AUC</b>	Aire sous la courbe, mesure la capacité à prédire l'absence et la présence des individus basé sur ceux utilisées à l'entrée.
<b>Kappa</b>	Mesure le degré de similarité entre les prédictions du modèle et les prédictions par un classificateur aléatoire.
<b>Seuil de sélection</b>	Le seuil fixé pour la considération du modèle
<b>Erreur d'omission</b>	L'erreur d'omission d'une variable du modèle
<b>Indice de Jaccard</b>	Indice mesurant la similarité
<b>L'erreur de la richesse</b>	La différence entre la richesse spécifique prédite et celle observée.
<b>Succès</b>	La proportion des prédictions correctes
<b>Endémisme</b>	Indice d'Endémisme Pondéré (WEI/CWEI)

#### **4.1. Modélisation de la niche écologique de l'arganier au Maroc**

La modélisation spatiale de la niche écologique de l'arganier fournit à une carte de probabilité. Cinq grandes classes égales ont été adoptées pour l'élaboration de la distribution des aires de probabilité de présence d'arganier allant d'aires inappropriées ( $P < 0.2$ ) à aires ultimes ( $P > 0.8$ ).

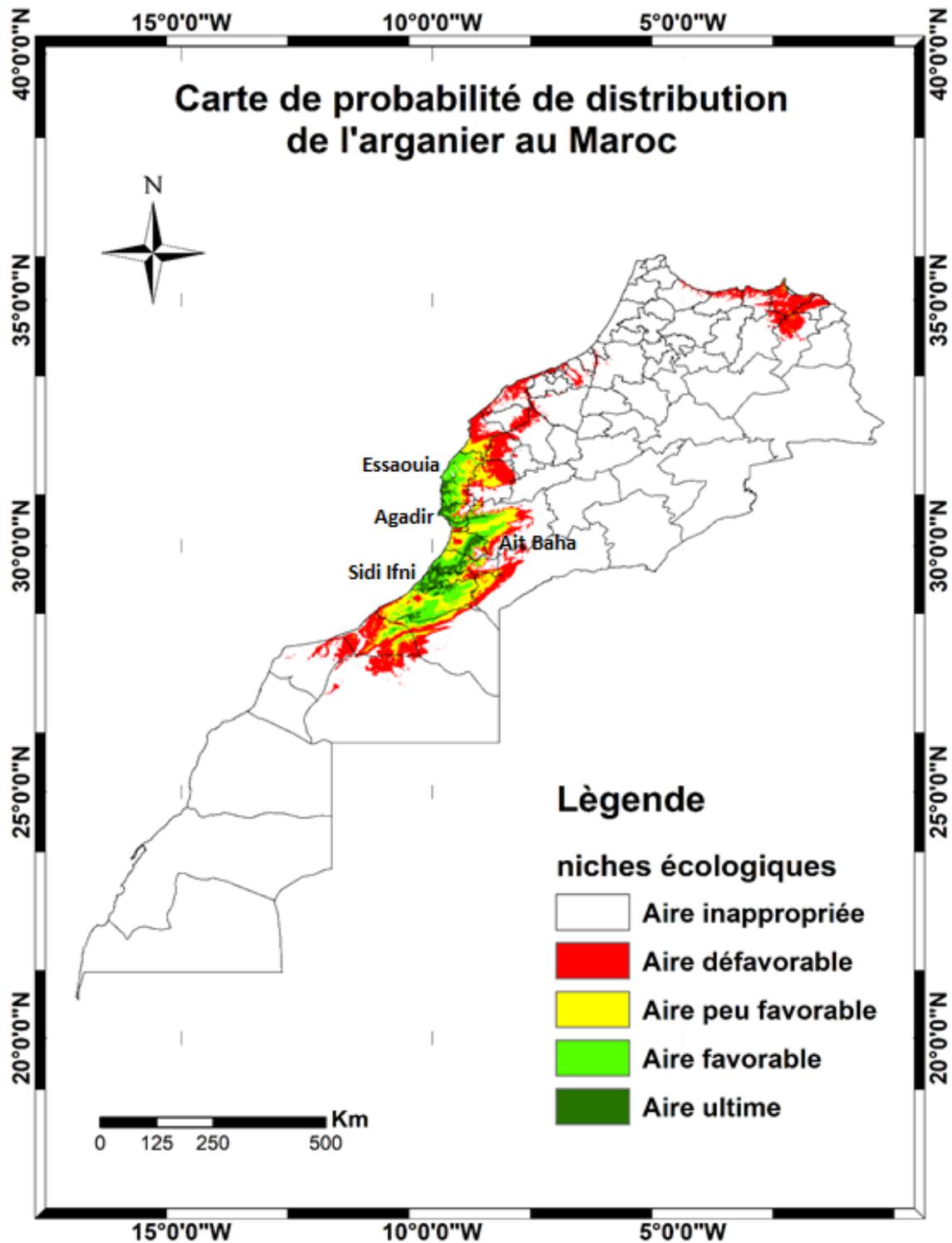


Figure 24: Carte de probabilité de la distribution de l'arganier au Maroc (Résultats d'SVM)

D'après la carte de probabilité (Figure 24), le classificateur SVM a pu détecter la présence d'aires peu favorables d'arganier dans la région de l'orientale. Ces résultats concordant avec la réalité attestent la force de cet algorithme. Par ailleurs, les aires peu favorables représentent une part importante de l'arganeraie du Sud-Ouest. Ceci peut être expliqué par l'effet des activités

anthropiques excessives dans la région, principalement, l'agriculture et le tourisme ainsi que l'accroissement des effets de changement climatique. En effet, plusieurs auteurs ont attesté l'état alarmant de la dynamique de dégradation de l'aire naturelle de l'arganier, comme cités par plusieurs auteurs Benabid et *al.*, (2011), Aouragh (2012), Wahidi (2013), El Aboudi et *al.*, (2014), Qarro et *al.*, (2017). Le tableau suivant présente les superficies estimées des différentes aires écologiques obtenues par SVM et confirme l'état de dégradation de l'arganier et la régression de sa superficie.

*Tableau 20: Superficies des différentes classes de probabilité de présence de l'arganier au Maroc*

<b>Classe d'Aire écologique</b>	<b>Superficie (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Superficie (ha)</b>
<b>Aire inappropriée</b>	628693,60	62 869 360
<b>Aire défavorable</b>	44770,40	4 477 040
<b>Aire peu favorable</b>	23225,60	2 322 560
<b>Aire favorable</b>	14544,80	1 454 480
<b>Aire ultime</b>	6372,80	637 280
<b>Total</b>	717607,20	71 760 720

Il faut noter que ces résultats peuvent être raffinés encore plus via la considération des couches rasters des classes d'occupation du sol et les composantes sociales avec des résolutions plus fines.

Les aires favorables (1454480 ha) et ultimes (637280 ha) pour le développement de l'arganier dans les conditions actuelles représentent une superficie réduite par rapport à l'aire naturelle de la Réserve de Biosphère d'Arganier. Ces constats dégagent la nécessité de préservation de ces zones de manière mieux adaptée en tenant compte de la composante sociale. En d'autres termes, l'approche participative est une nécessité pour réussir la conservation et l'utilisation durable de l'arganier.

#### **4.2. Evaluation de la précision du modèle SVM**

Les données de sortie du modèle SVM ont affiché un niveau de précision élevé. Le tableau suivant résume les différents paramètres d'évaluation adoptés :

Tableau 21: Récapitulatif des paramètres d'évaluation de précision du modèle obtenu par SVM

AUC	Sensibilité	Spécificité	Proportion correcte
0.993	0.982	0.991	0.978

D'après les paramètres d'évaluation du modèle SVM, l'AUC (aire sous la courbe) s'est révélée très élevée 0.993. Cette valeur atteste de l'excellence du modèle (Araujo et *al.*, 2005) à prédire à la fois l'absence et la présence d'arganier, de même pour sa sensibilité et sa spécificité. Quant à la proportion correcte des prédictions, le modèle a prédit 97% de la population correctement.

#### 4.3. Contributions relatives des variables environnementales

Les contributions relatives des variables environnementales sont obtenues à l'aide du calcul du coefficient de corrélation  $r$  de Pearson. En effet cette méthode consiste à l'évaluation de la variation en termes de précision entre le modèle complet et le modèle dont la variable concernée est omise (Thuiller et *al.*, 2009). Les contributions relatives des variables environnementales en SSDM sont structurées par espèce (Schmitt et *al.*, 2017).

La figure 25 représente les contributions relatives des variables environnementales utilisées pour la prédiction de l'aire de distribution de l'arganier avec le classificateur SVM.

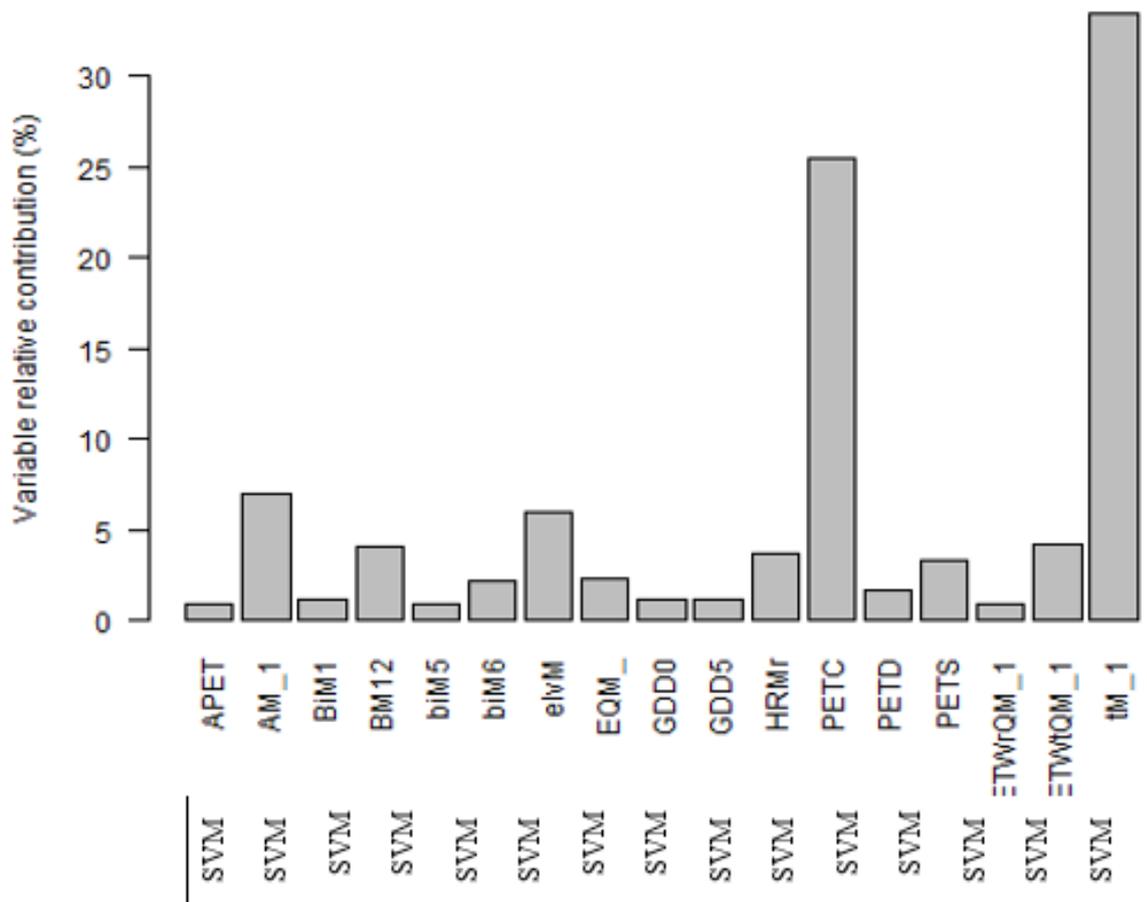


Figure 25: Contributions relatives des variables environnementales dans la distribution de l'arganier fournit par le classificateur SVM.

D'après l'histogramme (Figure 25), la variable **tm\_1** (Indice topographique d'humidité) et **PETC** (l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle du quadrimestre le plus froid) ont affiché des contributions relatives très élevées par rapport au reste des variables utilisées. Enfaite, les contributions relatives de ces variables nous renseignent sur leurs poids dans la distribution de l'arganier avec :

33.53% de l'inertie totale est expliqué par l'indice d'humidité topographique (TWI). Cet indice issu de modèles numériques d'élévation pour la mesure de l'humidité dans les bassins versants renseigne sur les zones d'humidité accrue du sol où l'apport en ruissèlement des zones contributantes est important et les pentes sont faibles (AFSIS, 2010). D'où l'effet combiné des reliefs et de l'humidité du sol sur la distribution spatiale de l'arganier. Ces résultats concordent partiellement avec certaines études réalisées sur les descripteurs environnementaux de l'arganier. En effet, Msanda et *al.*, (2005) et Benabid (2011) ont souligné le rôle que joue de

l'humidité relative et l'altitude sur la distribution spatiale de l'arganier. Certes, Moukrim et *al.*, (2018) ont démontré via la modélisation spatiale de l'arganier que l'altitude n'a pas d'effet significatif sur la distribution de l'arganier. Ceci est vrai tant que l'indice d'humidité topographique n'était pas inclus dans les variables environnementales.

Toutefois, la combinaison des effets d'humidité de sol et des reliefs semble être un facteur qui décrit mieux la distribution spatiale de l'arganier. Ceci peut être expliqué par l'interdépendance entre les facteurs climatiques et orographiques. En effet, les zones favorables pour l'accumulation des eaux de ruissellement sont caractérisées par des faibles pentes. Dans ce sens, Msanda et *al.*, (2005) ont affirmé que l'arganier se développe mieux à côté des oueds grâce au cumul des eaux de ruissellement et des faibles pentes en soulignant la capacité de cette espèce à se développer dans les zones où le niveau des précipitations ne dépasse pas 100mm.

Quant à l'évapotranspiration moyenne mensuelle du quadrimestre le plus froid, elle explique 25.51 % de la variation spatiale de l'arganier. Ce pourcentage nous renseigne sur l'importance de l'effet de la demande climatique du mois le plus froid sur la distribution spatiale de l'arganier. En fait, la demande climatique dans les zones arides est, généralement, déficitaire à cause du faible couvert végétal. L'exception va à certaines stations où il y a suffisamment d'humidité relative pour la compensation (Ferchichi, 1996). Quant au couvert végétal, l'évapotranspiration moyenne du mois le plus froid est critique dans ces zones. En effet, la réserve du sol en eau -pendant cette période- est généralement épuisée sous l'effet de la saison estivale qui précède. Par conséquent, la plante se trouve incapable de démarrer une nouvelle phase de croissance normale lorsqu'il y a lieu des valeurs d'évapotranspiration élevées combinées avec une humidité ambiante faible pendant la saison froide. Sur l'échelle temporelle, la plante persiste par régulation stomatique et résiste jusqu'à certains niveaux de stress hydrique. C'est le cas de l'arganier effectivement. Pourtant, les précipitations accumulées en automne et en hiver restent nécessaires pour son développement (Zahidi et *al.*, 2013). D'où, l'évapotranspiration moyenne mensuelle du mois le plus froid représente un facteur déterminant de la distribution spatiale de cette espèce.

#### **4.4. Composantes de biodiversité**

La modélisation de la distribution des espèces associées a permis la cartographie de certaines composantes essentielles de la biodiversité.

Il faut noter que les algorithmes proposés sur la plateforme SSDM procèdent à un prétraitement des données de présence pour éliminer le biais spatial susceptible de fausser la prédiction. Ainsi,

s'assurer que les données de pseudo-absence créés soient décalées des données de présence fournit. Cette méthode conduit généralement à l'élimination de plusieurs points apportant une information redondante en conservant le maximum possible d'informations. Le nombre de points de présence éliminés est intimement lié à la résolution des variables environnementales. En effet, plus la résolution est précise, moins est l'élimination de points d'entraînements.

➤ **Carte de la richesse spécifique**

La carte de diversité obtenue a été établit via le calcul de la somme de probabilités des habitats favorables pour les différentes espèces présentes. Ce paramètre considère les données résultantes du prétraitement. Ainsi, le nombre d'occurrence élevé d'arganier a pris un grand poids dans l'élaboration de l'évaluation de cette composante.

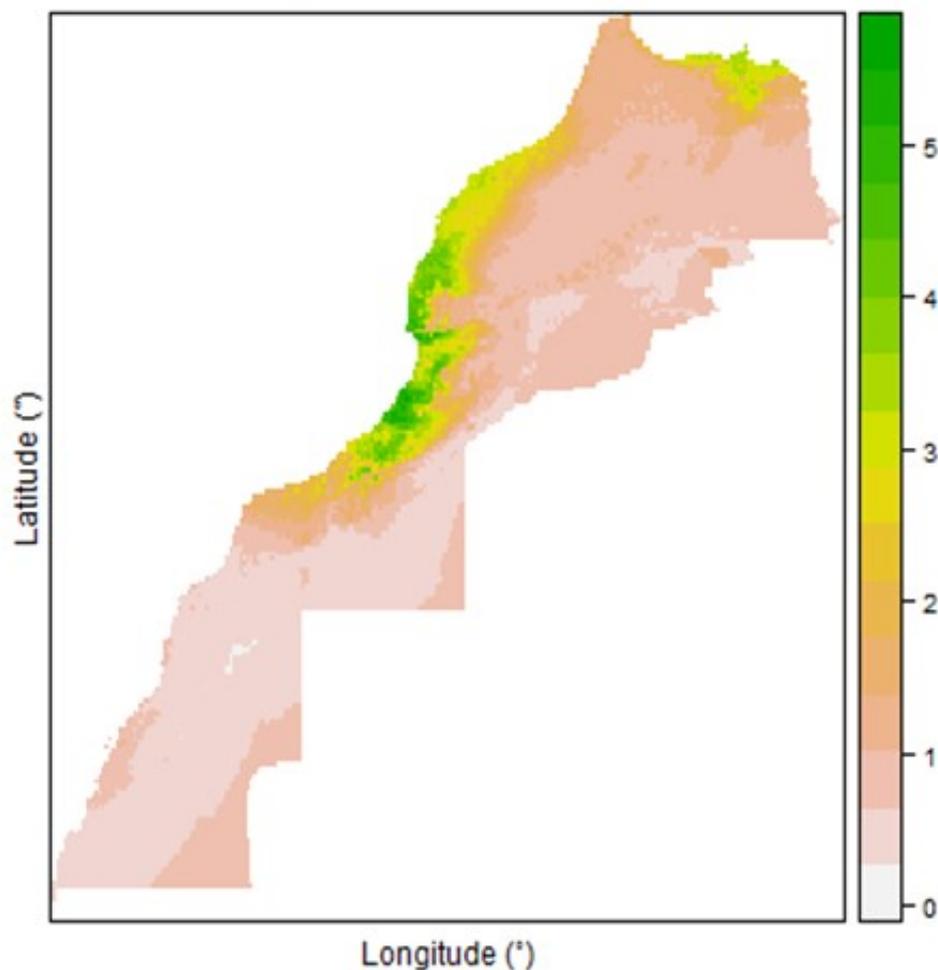


Figure 26: Illustration de la richesse spécifique élaborée par SVM via SSDM.

La richesse spécifique dépasse 5 espèces par quadrat dans l'aire de distribution de l'arganier, avec une erreur moyenne de 0.78. Cette valeur reste relative dans ce contexte vu la non considération des plantes herbacées et le nombre réduit des données de présence des espèces associées résultants du prétraitement. Certes, la similitude en termes de richesse spécifique entre les régions Sud-Ouest et orientale atteste la viabilité des résultats. En effet, parmi les espèces accompagnatrices de l'arganier de l'orientale, il y a : *Asparagus* sp. et *Ziziphus lotus* (Faouzi et al., 2014). Par ailleurs, ces résultats restent pertinents vu qu'ils témoignent du pouvoir potentiel de l'approche méthodologique SSDM dans la cartographie de la diversité environnementale et floristique, aussi bien que l'évaluation effective de la biodiversité qui est souvent attachée aux stratégies de conservation et de gestion durable.

### ➤ Evaluation du modèle

Les résultats d'évaluation du modèle SVM pour l'élaboration des cartes de probabilité et de diversité sont récapitulés dans la figure suivante :

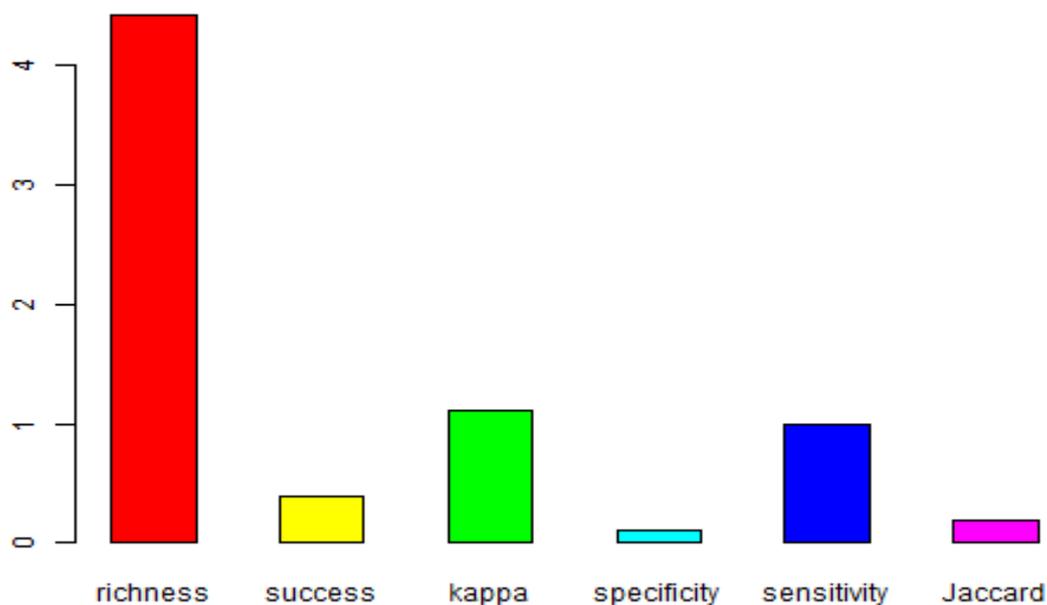


Figure 27: Illustration des paramètres d'évaluation de la modélisation de la diversité de l'arganeraie.

Les paramètres d'évaluation (Figure 27) affichent un taux de succès de prédiction avoisinant 40 %. Ceci peut être expliqué par le nombre réduit des occurrences d'espèces associées, retenues après prétraitement, face au nombre élevé d'occurrence d'arganier. La faible valeur de spécificité – proportion des espèces à la fois prédites et observées en tant qu'absentes- confirme

ce constat. Quant à l'indice de similarité de Jaccard, 20% de similarité face à 80% de dissimilarité a été enregistrée entre les 4 sites étudiés. D'où la grande diversité des variables environnementales au sein de l'arganeraie représenté par ces sites. Quant à la sensibilité-proportion des espèces à la fois prédites et observées en tant que présentes-, la valeur élevée témoigne la capacité du classificateur (SVM) à détecter la présence des différentes espèces avec une précision très élevée malgré le nombre d'occurrence réduit.

Ces résultats évalués via les paramètres de précision du modèle attestent la force de cet algorithme (SVM) et la viabilité de sa prédiction. Par conséquent, l'approche SSDM représente un moyen prometteur en matière de modélisation des niches écologiques des plantes sauvages et endémiques. En outre, elle fournit une large gamme de méthodes flexibles pour l'évaluation des composantes de la biodiversité ainsi contribuer à l'élaboration et la planification des stratégies de conservation effectives (Schmitt *et al.*, 2017).

#### **4.5. Modèle de Réserve de l'Homme et de Biosphère de l'arganier**

A la lumière des résultats de la modélisation obtenues, il s'est avéré que les sites étudiés représentent 80% de la diversité environnementale de l'arganeraie. Ceci, stipule que ces sites sont hautement représentatifs pour l'actualisation du dimensionnement de la Réserve de l'Homme et de Biosphère de l'arganier.

D'après l'UNESCO, les réserves de biosphère sont dotées de trois zones interdépendantes visant à remplir trois fonctions liées, qui sont complémentaires et se renforcent mutuellement ([www.unesco.org](http://www.unesco.org)).

- L'aire centrale regroupe des écosystèmes strictement protégés qui contribue à la conservation des paysages, des espèces et de la variation génétique.
- La zone tampon qui entoure l'aire centrale et est utilisée pour des activités compatibles avec des pratiques écologiquement viables susceptibles de renforcer la recherche, le suivi, la formation et l'éducation scientifiques.
- La zone de transition est la partie de la réserve où sont autorisées d'avantage d'activités, ce qui permet un développement économique et humain socio-culturellement et écologiquement durable.

Pour mieux illustrer cette structure, la carte de probabilité de la distribution de l'arganier a été utilisée en considérant que les classes d'aires (peu favorable, favorable et ultime [ $P > 0.8$ ]). Ainsi, le modèle de la réserve obtenue est représenté dans la figure suivante:

### Structure proposée pour la Reserve de Biosphère d'Arganier

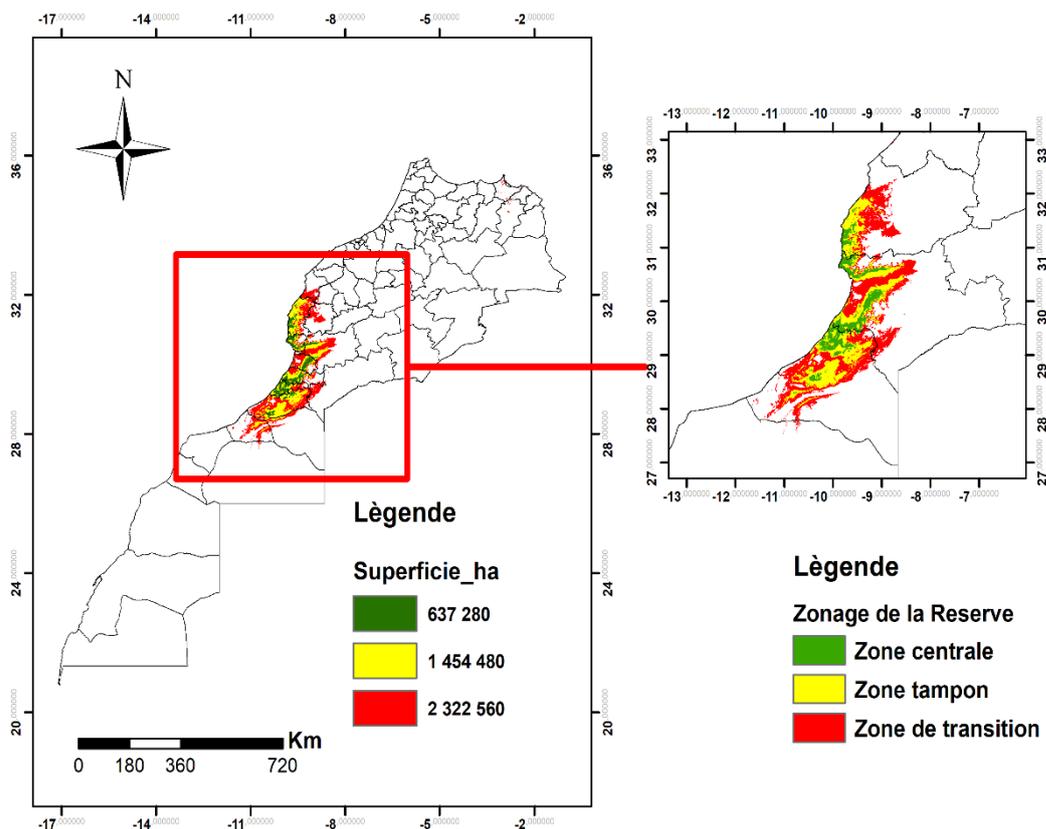


Figure 28 : Illustration du modèle de Réserve de biosphère d'Arganier obtenue

D'après la carte (Figure 28), le zonage du modèle proposé affiche une correspondance entre les superficies et les zones de la réserve. En effet, allant de l'aire centrale vers l'aire de transition la superficie augmente et inversement, la probabilité de présence de l'arganier diminue jusqu'à la classe de probabilité [0.4-0.6]. Sur ce, il serait opportun de créer un ensemble de réserves naturelles pouvant représenter cette diversité de l'environnement (aires centrales). Ceci implique la nécessité d'aménagement des zones tampons et celles de transition en faveur des aires centrales qui doivent être strictement protégées pour le suivi de la diversité. Via l'approche participative, la création de coopératives, la vulgarisation de la valeur d'arganier par le billet d'écotourisme et la formation continue des populations locales en partenariat avec les parties prenantes, représentent des voies prometteuses pour atteindre les objectifs assignés à la mise en place de la Réserve de l'Homme et de Biosphère de l'arganier.

## 5. Analyses d'image satellitaire

Après avoir calculé l'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et le GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), une classification non supervisée (k-means clustering) a été faite pour la différenciation de la végétation du sol. Le résultat obtenu a servi à la classification de la végétation en utilisant les données de présence des différentes espèces géolocalisées. Les signatures spectrales ont été comparées dans les différentes strates (arborée, arbustive, arbustes naines et herbacées). Ainsi les résultats obtenus illustrent le pouvoir discriminant des bandes caractéristiques de l'image satellitaire par rapport aux différentes espèces.

### 5.1. Classification non supervisée

Les résultats de classification non supervisée ont abouti à la discrimination de la végétation du sol. La carte suivante illustre les différents groupes obtenus en fonction des 4 classes d'INDVI.

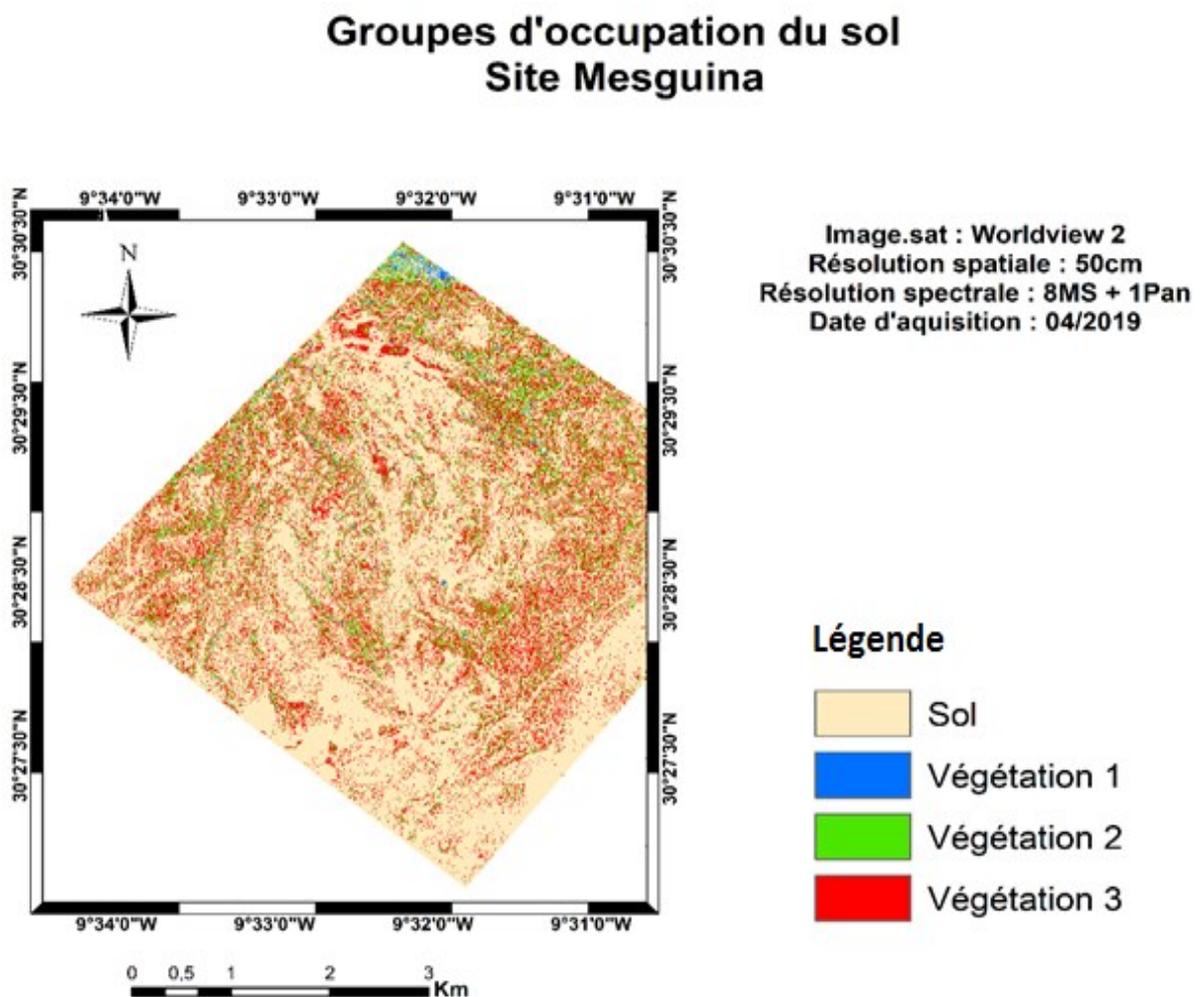


Figure 29 : Illustration des groupes d'occupation de sol issues de la classification non supervisée de l'NDVI et GNDVI.

La classification non supervisée a abouti à une bonne séparation du sol et de la végétation, aussi bien qu'au sein de la végétation (Figure 29). Ces résultats ont permis d'orienter la classification supervisée des différentes espèces au sein des groupes de végétation.

## 5.2. Analyse multispectrale des espèces géolocalisées

- **Strate arborée**

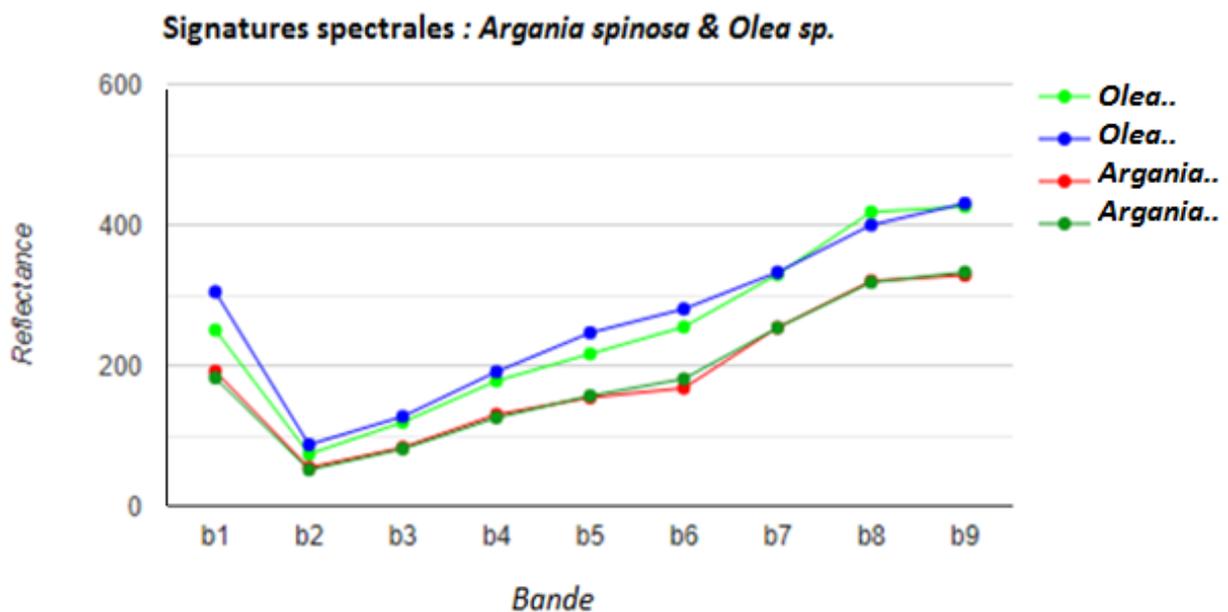


Figure 30: Illustration des signatures spectrales d'*Argania spinosa* et *Olea sp.*

Dans la strate arborée, les signatures spectrales de l'arganier ont affiché de faibles réflectances par rapport à l'oléastre. Ceci est vrai pour toutes les bandes de l'image. Quant à l'analyse multispectrale, l'ensemble des bandes caractéristiques du satellite WorldView2 ont révélé un pouvoir discriminant important entre l'arganier et l'oléastre. L'exception va à la bande 2 (costal band).

- Strate arbustive

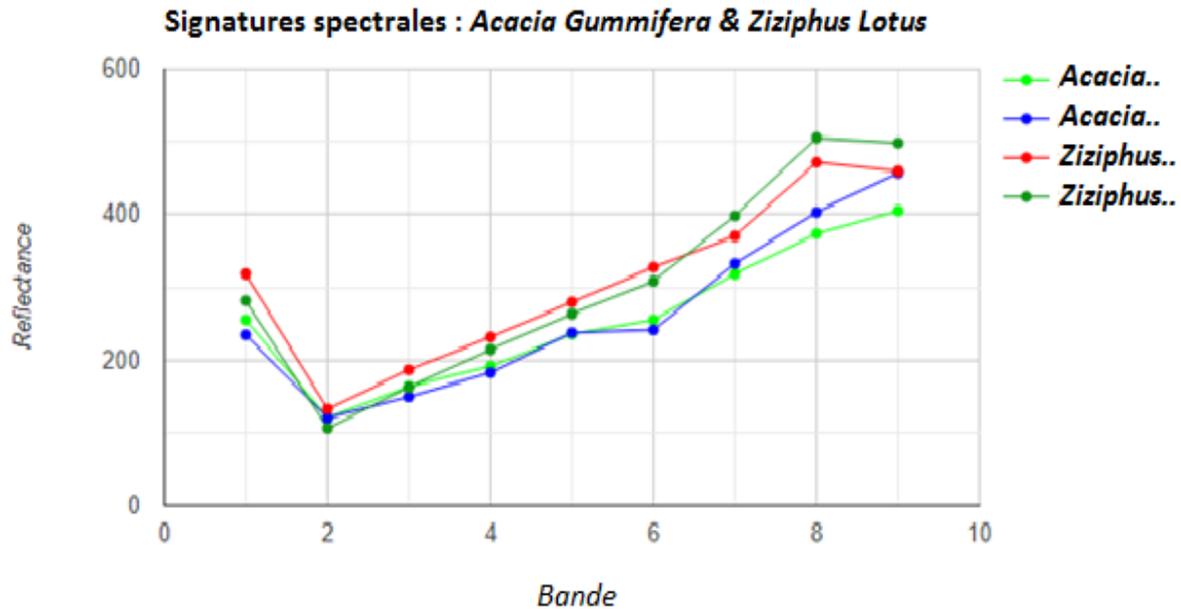


Figure 31: Illustration des signatures spectrales d'*Acacia gummifera* et *Ziziphus lotus*.

Dans la strate arbustive, les réflectances varient entre 100 dans la bande 2 et 500 dans la bande 9. La comparaison des signatures spectrales d'*Acacia gummifera* et *Ziziphus lotus* a révélé une discrimination entre ces deux espèces. En effet, les bandes 6 (Frontière du rouge), 7 (Infra-rouge-1), 8 (Infra-rouge-2) ont affichés des réflectances élevées d'*Acacia* par rapport à *Ziziphus*. De même pour la bande 5 (Rouge), la distinction entre les deux espèces s'est mise en évidence avec un pouvoir discriminant moindre comparé aux trois bandes précitées. Ceci stipule que les bandes 5,6,7 et 8 discriminent entre l'*Acacia gummifera* et *Ziziphus lotus*. Ceci est vrai malgré les similarités morphologiques dans notre cas d'étude.

- **Strate herbacée**

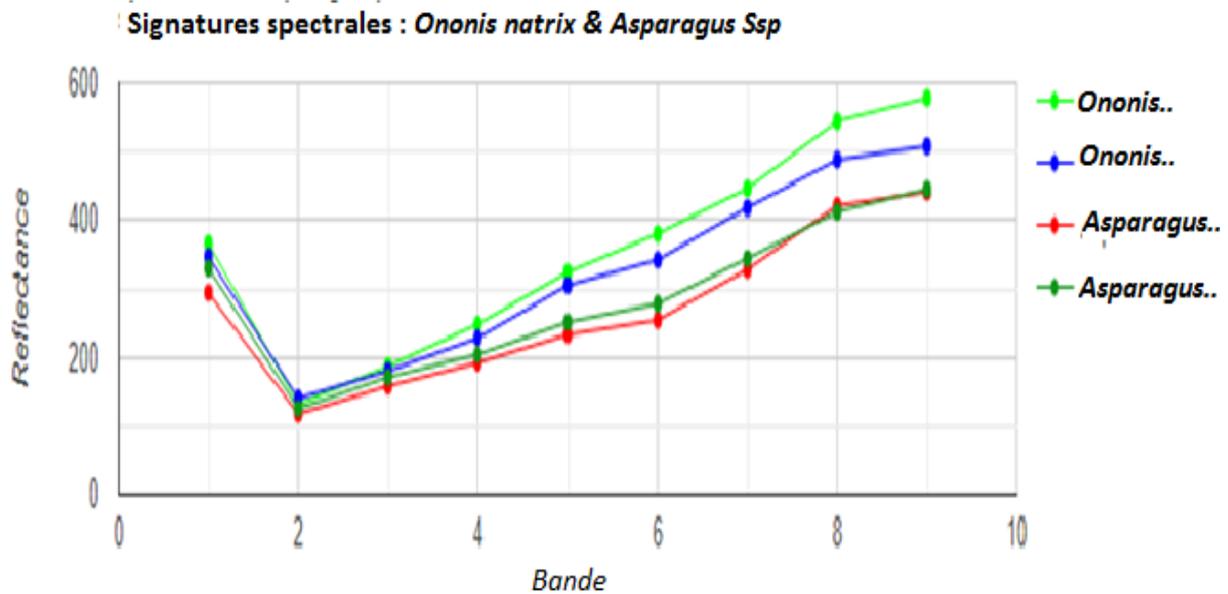


Figure 32: Illustration des signatures spectrales d'*Ononis natrix* et *Asparagus Ssp*.

Concernant la strate herbacée, les réflectances enregistrées varient de 100 dans la bande 2 jusqu'à 600 dans bande 9. *Ononis* a affiché des réflectances élevées comparées à *Asparagus ssp*. Les bandes 5 (Rouge), 6 (Frontière du rouge), 7 (Infra-rouge-1), 8 (Infra-rouge-2) et 9 (panchromatique) ont révélées un pouvoir discriminant important entre les deux espèces étudiées.

Concernant les différentes strates, les réflectances affichées dans la bande 1 sont généralement plus élevées dans la strate herbacée par rapport aux strates arbustive et arborée. En effet, les réflectances des espèces dans la bande 1 (Côtière) augmentent en descendant de la strate haute (arborée) vers strate basse (herbacée).

Pour récapituler, les bandes 1,6, 7 et 8 ont affichées un pouvoir discriminant intéressant à l'intérieur de chaque strate aussi bien qu'entre les différentes strates. En effet, la comparaison des signatures spectrales entre les différentes strates a révélé que plus on descend de la strate haute (arborée) vers la strate basse (herbacée), les réflectances augmentent progressivement dans la bande 1. Quant aux bandes 6 (Frontière rouge), 7 (Infra-rouges-1) et 8 (Infra-rouge-2), les signatures spectrales ont révélé des sens de variation différents en fonction de l'espèce. Par conséquent, les résultats obtenus témoignent le pouvoir discriminant d'images satellitaires à très haute dans la différenciation entre les grandes formations végétales associées à l'arganier.

### 5.3. Classification supervisée des espèces géolocalisées

En se basant sur l'analyse multispectrale, les résultats de classification supervisée par Randomforest ont abouti à la différenciation des différentes classes de végétation avec une précision de 85%. La carte suivante illustre le résultat de classification des différentes espèces géolocalisées.

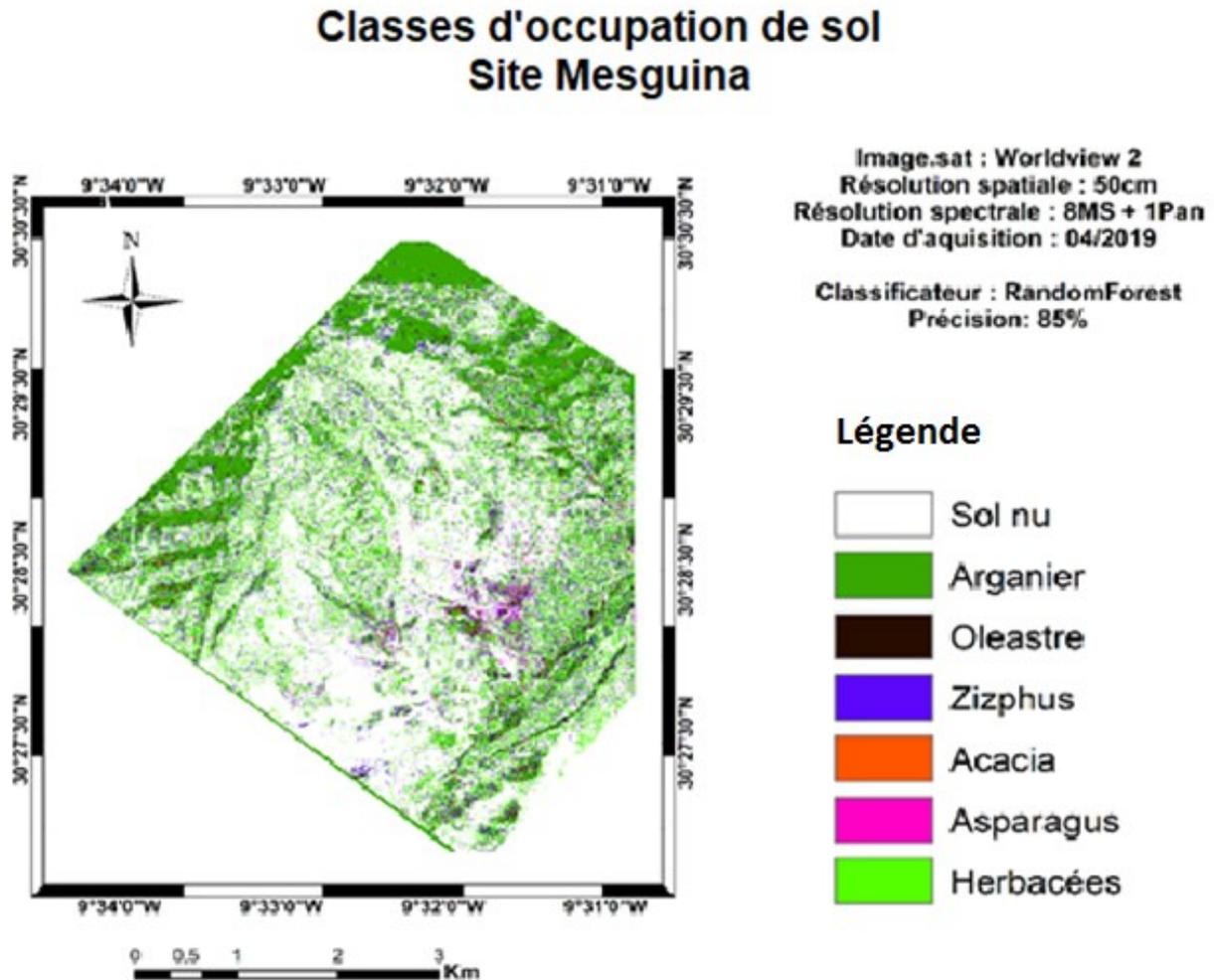


Figure 33: : Illustration des différentes classes de végétation issues de la classification supervisée par RandomForest

D'après la carte (Figure 33), les différentes espèces géolocalisées ont été détectées par le classificateur RandomForest avec une précision de 85%. Certes, cette précision peut être améliorée en augmentant le nombre d'occurrences des données d'entraînement. Ainsi, l'arganier occupe la grande superficie avec des agglomérations plus denses surtout sur les coté de colline et à proximité des oueds. Quant à l'oléastre, sa présence se limite à un aspect singulier (Benabid, 2000). *Ziziphus lotus* et *Acacia gummifera* ont affiché une répartition généralement dispersée. Ceci suggère que ces deux espèces comptent parmi les principales plantes nurses de

l'arganier (Benabid, 2011). De même pour *Asparagus Sp*, avec une densité élevée dans les zones où l'arganier affiche de faible densité locale. Ceci peut être expliqué par l'effet de pâturage et la faible compétition sur les facteurs de croissance.

## **CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**

En termes du présent travail, la contribution à la conservation et l'utilisation durable des écosystèmes d'arganeraie a pris différentes dimensions. La caractérisation éco-géographique de l'arganeraie du Sud-Ouest Marocain moyennant le formulaire IPGRI suivie de la comparaison de la diversité environnementale entre les différents sites, ont permis l'élaboration des données de présence pour la modélisation de la distribution des espèces associées (SSDM). Enfin, l'apport des images satellitaires à très haute résolution a été testé pour le site de Mesguina moyennant une image satellitaire multispectrale prise par Worldview2 à 50 cm de résolution spatiale. Les principales conclusions sont les suivantes :

- La caractérisation générale des composantes environnementales et phytoécologiques des sites étudiés a révélé des différences hautement significatives. Ainsi, une typologie régionale issue de l'analyse fréquentielle des modalités prédominantes des différentes variables étudiées a été élaboré. Ces résultats permettront d'optimiser l'orientation de planification lors des investigations ultérieures et de fournir une base de réflexion en matière de recherche approfondie, surtout, concernant les facteurs de dégradation de l'arganier, à savoir, les attaques de lichens et le surpâturage.
- Quant à la modélisation de la distribution des espèces associées (SSDM), les résultats ont affiché une nouvelle délimitation de l'aire naturelle de l'arganier à haute précision illustrant les différentes niches écologiques en fonction de leurs potentiels. Cette nouvelle carte permettrait d'une part à l'orientation des efforts de conservation vers les niches écologiques potentiellement favorables et diversifiées. Ainsi, aider à la prise de décision pour le redimensionnement de la réserve de l'Homme et de biosphère en fonction de l'état actuel des arganeraies. Ceci est réalisable via l'identification des sites ayant une grande diversité environnementale qui serviront à l'établissement des réserves naturelles au sein de l'arganeraie pour une conservation *in situ* plus raisonnée, accompagnées de plans d'aménagement et de gestion appropriées. En outre, la carte des niches écologiques servirait en tant que base de réflexion pour la promotion de l'arganiculture au sein de l'aire naturelle de l'arganier. Par conséquent, la replantation de l'arganier sera mieux orientée et bien raisonnée à long terme dans l'optique de conservation *in situ/circa-situ*.
- D'autres part, les résultats de la modélisation de la distribution d'arganier ont révélé de nouveaux descripteurs environnementaux discriminants. Il s'agit de l'indice d'humidité topographique et l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle du mois le plus froid. Ces deux descripteurs qui expliquent 60% de l'inertie totale de la distribution

spatiale d'arganier vont servir en grande partie au raisonnement des replantations d'arganier au futur aussi bien dans les zones vulnérables que dans les zones favorables. Parallèlement, ces descripteurs serviront à la mise en place d'un programme illustrant les points d'intersection optimaux des lieux et des périodes de plantation. Plus loin, la liaison avec le germoplasme moyennant les systèmes d'information géographique (SIG) pourrait sans doute optimiser la mise en place de ce programme.

- Concernant la cartographie de la diversité, la plate-forme SSDM a affiché un pouvoir discriminant et prometteur en matière de biodiversité. En effet, cette approche méthodologique rassemblant les différentes espèces associées dans leurs niches écologiques fournit un large éventail d'informations très appréciées par les conservationnistes. La combinaison de données de présence des espèces avec les variables bioclimatiques et environnementales permet une évaluation succincte des différentes composantes de la biodiversité. Son avantage réside à sa flexibilité, adaptabilité, précision et rapidité en matière de traitement des données spatialisées.
- Concernant l'apport des images satellitaires à très haute résolution, l'analyse multispectrale des différentes espèces a révélé une bonne discrimination entre les différentes strates de la végétation, ainsi qu'à l'intérieur de chaque strate. Cet apport des images satellitaires peut être exploité dans la cartographie des plantes nurses de l'arganier pour évaluer le potentiel des zones favorables à sa replantation. En outre, les images satellitaires à très haute résolution peuvent être exploitées dans la cartographie des plantes aromatiques et médicinales (PAM) et les espèces pastorales, ainsi aboutir à la délimitation des différentes classes d'occupation de sol concernant une grande proportion du cortège floristique de l'arganier. Ceci permettrait l'évaluation de l'existant (potentiel réel) et pourrait ouvrir plusieurs portes de conservation de la biodiversité via l'approche participative en intégrant les populations locales dans la gestion de cette richesse et par conséquent, s'aligner avec les objectifs du développement durable.

Suite à ces conclusions, les perspectives potentielles de ce travail ont été formulées comme suit :

- Adopter l'approche méthodologique SSDM pour différentes espèces forestières avec un nombre d'occurrence minimal de 25 pour chaque espèce. Ceci permettrait la modélisation des aires de répartition des différentes espèces associées y inclus

les PAM et les espèces pastorales. Ainsi, aboutir à l'évaluation du potentiel réel de l'existant en matière de ressources naturelles exploitables.

- L'utilisation des images satellitaires pourra améliorer la caractérisation de la diversité. Les études concernant les signaux spécifiques de l'arganier et les autres espèces associées doivent se poursuivre et être renforcées, voir même exploitées pour estimer la production de l'arganeraie.
- Entamer les études visant la diagnostique des maladies qui attaquent l'arganier. Ce type d'études intégré dans l'approche éco géographique permettrait la délimitation des aires vulnérables et prioriser les actions de conservation et de protection de la biodiversité.
- Adopter l'approche éco-géographique dans le cadre des variables essentielles de la biodiversité afin d'élaborer des plans stratégiques de conservation ultimes et durables.
- Complémenter cette étude par une caractérisation génétique de l'arganier pour pouvoir délimiter les zones ayant une plus grande diversité (Hot spots) pour une conservation efficiente de la biodiversité.
- Cette étude fournit des éléments importants pour une plus large étude en vue de contribuer à la conservation de la biodiversité dans l'arganeraie marocaine qui nécessite des efforts concertés avec les populations locales, l'ANDZOA, la communauté scientifique et les intervenants clés.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- **AFSIS. Africa Soil Information Service (2010).** Geocatalogue: ILWAC, Topographic Wetness Index (TWI) (dataset).
- **Ait Aabed N, Elayadi F, Msanda F, El Mousadik A, (2011).** Evaluation of agromorphological variability of Argan tree under different environmental conditions in Morocco: Implication for selection. *International Journal of Biodiversity and Conservation* 3(3):73-82.
- **Ait Aabed N. A., Ayadi F. E., Msanda F., Mousadik A. E. (2010).** Genetic Variability of Argan Tree and Preselection of the Candidate Plus Trees. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 9.
- **Ajjadiani R. et El Aboudi A. (2015).** Cartographie de la densité du couvert arbore de l'arganier de la province Chtouka Ait-Baha (Commune de Hilala) à partir des données spatiales à très haute résolution (Ikonos et Google Earth). *Résumé de communication. Congrès international de l'arganier, 3ème édition. Pp 48-53.*
- **Álvarez, N. P. C., Vincent, H. A., Kell, S. P., Eastwood, R. J., et Maxted, N. (2011).** Chapter 14: Ecogeographic surveys. *Collecting Plant Genetic Diversity: Technical Guidelines-Update 2011*, 23.
- **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.
- **Aussenac, G., et Ducrey, M. (1974).** A propos de l'arboretum de Royat: Climatologie et potentialités de production forestière. *Revue Forestière Française*, (6), 447.
- **Azurdia C., Williams K., Williams D., Van Damme A., Jarvis A., Castaño S. (2011).** Atlas of Guatemalan Crop Wild Relatives. Available online (accessed 10 June 2012): [www.ars.usda.gov/ba/atlaswrguatemala](http://www.ars.usda.gov/ba/atlaswrguatemala)
- **Bani-Aameur, F. (2000).** Phenological phases of *Argania spinosa* (L.) Skeels flower Forest Genetics 7:329-334.
- **Beguet B. (2014).** Caractérisation et cartographie de la structure forestière à partir d'images satellitaires à très haute résolution spatiale. Thèse.Doc. Sciences de la Terre. Université Michel de Montaigne - Bordeaux III. Pp 228.

- **Bellefontaine, R., Ferradous, A., Alifriqui, M., et Monteuis, O. (2010).** Multiplication végétative de l'arganier, *Argania spinosa*, au Maroc: Le projet John Goelet. *BOIS et FORETS DES TROPIQUES*, 304(304), 47.
- **Benabid, A. (2000).** Flore et écosystèmes du Maroc. Évaluation et préservation de la biodiversité. Ibis Presse, Paris.
- **Benabid, A. et Aafi, A. (2015).** Écosystèmes naturels à Arganier (*Argania spinosa*). Patrimoine national et universel: Les plantes aromatiques et médicinales : un levier de développement, conservation et valorisation des écosystèmes à arganier du Maroc. *Pp 19-23 in : Actes du troisième congrès international de l'arganier*. Agadir.
- **Benabid, A. et Cuzin, F. (1997).** Des populations de Dragonnier (*Dracaena draco* subsp. *ajgal* au Maroc: valeurs taxonomique, biogéographique et phytosociologique. – *C.R. Acad. Sc. Paris 320: 267-277*
- **Benabid, A. et Melhaoui Y. (2011).** Écosystèmes naturels à arganier (*Argania spinosa*), patrimoine national et universel: Bio-écologie, phytosociologie, phytodynamique et ethnobotanique; Restauration et certification. *Actes du 1er Congrès international de l'arganier: Pp 39-47. Agadir, Maroc.*
- **Bendaanoun M., Lamrani-Alaoui M., Pannell J., Moutinou D.A. (2015).** Etude de la variation spatiale de la phénologie de l'arganier au niveau de l'arganeraie littorale du sud-ouest du Maroc. *Résumé des communications, Congrès international de l'arganier, 3ème édition : 29-35.*
- **Benzyane, M. (1995).** Rôle socio-économique et environnemental de l'arganier.
- **Berrougui H, Cloutier M, Isabelle M, Khalil A (2006).** Phenolic-extract from argan oil (*Argania spinosa* L.) inhibits human low-density lipoprotein (LDL) oxidation and enhances cholesterol efflux from human THP-1 macrophages *Atherosclerosis* 184:389-396.
- **Berrougui, H, de Sotomayor, MA, Pérez-Guerrero, C, Ettaib A, Hmamouchi M, Marhuenda E, Herrera MD (2004).** Argan (*Argania spinosa*) oil lowers blood pressure and improves endothelial dysfunction in spontaneously hypertensive rats *British Journal of Nutrition* 92:921-929.
- **Bilz M., Kell SP., Maxted N., Lansdown RV. (2011).** European Red List of Vascular Plants. Publications Office of the European Union, Luxembourg. Available online (accessed 18 June 2012)

- **Bojinski S., Verstraete M., Peterson T. C., Richter C., Simmons A. et Zemp M. (2014).** The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy. *Bulletin of the American Meteorological Society* **95**,1431–1443.
- **Boudy P. (1950)** Monographies et traitements des essences forestières, fascicule 1. Economie forestière nord-africaine, Tome 2. Paris: Larousse.
- **Boudy P. (1952).** Arganier (*Argania spinosa* (L. Skeels)). Guide du forestier en Afrique du Nord, Pp 185-195.
- **Bougrine, A. (1989).** Aperçu sur les forêts d'arganier au Maroc. *Symposium « la lutte contre la désertification » Agadir- 19 au 21 juin 1989.*
- **Bouharroud R, Qessaoui R., Mimouni A., Ajerrar A., Amarrague A. (2017).** Lichens et arganier; situation actuelle. *Résumé de communications, Congrès internationale de l'arganier, 4<sup>ème</sup> edition.*22.
- **Bourbouze A. et El Aïch, A. (2005).** L'élevage caprin dans l'Arganeraie: l'utilisation conflictuelle d'un espace. Cahiers Agricultures vol. 14, N° 5, pp 447- 453.
- **Bourlion N., Gouriveau F., Hassen D. et 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 et Plan Bleu pour l'Environnement et le Développement en Méditerranée.
- **Brooks TM., Bakarr MI., Boucher T., Da Fonseca GAB., Hilton-Taylor C., Hoekstra JM. (2004).** Coverage provided by the global PA system: Is it enough? *Bioscience* 54 (12):1081–1091.
- **Butchart S. H. M., Walpole M., Collen B., Van Strien A., Scharlemann J. P. W., Almond R. E. A., Baillie J. E. M., Bomhard B., Brown C., Bruno J., Carpenter K. E., Carr G. M., Chanson J., Chenery A. M., Csirke J. (2010).** Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science* **328**, 1164–1168.
- **Cavallar W. (1950).** Etude des sols des différentes régions du Maroc. L. Société des Sciences Naturelles du Maroc, *Travaux de la Section de pédologie*, t. '1, pp. 19-45.
- **Chaimaa Y, Bouchra B, Ouafae P, Mohammed A, Leila M, Abdelhamid El, ... Abdelkarim F. (2015).** Assessment of Genetic Diversity of *Argania spinosa* L. Growing in Arid and Semi-arid Areas of Morocco as Revealed by Inter-Simple Sequence Repeats. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 5(5).

- **Chakhchar A., Haworth M., El Modafar C., Lauteri M., Mattioni C., Wahbi, S., et Centritto M. (2017).** An Assessment of Genetic Diversity and Drought Tolerance in Argan Tree (*Argania spinosa*) Populations: Potential for the Development of Improved Drought Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 8.
- **Chapin III FS., Zavaleta ES., Eviner VT., Naylor RL., Vitousek PM., Reynolds HL., Mack MC. (2000).** Consequences of changing biodiversity. *Nature*. 405(6783): 234- 242.
- **Charrouf Z. (1999).** Valorisation des produits de l'arganier pour une gestion durable des zones arides du sud-ouest marocain. 4eme Colloque produits naturels d'origine végétale, pp. 195-209.
- **Chaussod R., Adlouni A., Christon R. (2013).** L'arganier et l'huile d'argane au Maroc : Vers la mutation d'un système agroforestier traditionnel. *Cahier d'agriculture*, 14/ 6.
- **Cordier JB. et Genin D. (2008).** Pratiques d'exploitation des arbres et paysages forestiers dans le Haut Atlas central. *Revue Forestière Française* 60, pp 571-88.
- **Dakouk L. (1989).** Etude de la dynamique des populations de semis naturels de l'arganier dans la forêt d'Admine. Mémoire de 3ème cycle E.N.A. de Meknés, 55 p.
- **Dell'Acqua F. et Gamba P. (2003).** Texture-based characterization of urban environments on satellite sar images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41(1), 153-159.
- **Dinerstein E., Olson D., Joshi A., Vynne C., Burgess N.D., Wikramanyake 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., Kloser H., Shennan-farpon Y., Kindt R., Barnekow-lilles J., Van breguel P., Gradual L., Voge M., Al-shammari K.F. et Saleem M. (2017).** An ecoregion-based approach to protecting half the terrestrial realm. *BioScience*, 67 : 534-545.
- **EEA. (2009).** Distribution of Plant Species (CLIM 022). European Environment Agency, Copenhagen.
- **El Aboudi A. (1990).** Typologie des arganeraies infra-méditerranéennes et écophysologie de l'arganier [*Argania spinosa* (L.) Skeels] dans le Souss (Maroc). Univ. Joseph Fourier, Grenoble 1, Thèse 133p.

- **El Aboudi A. (2015).** Cartographie de la densité du couvert arboré de l'arganier de la province d'Ait Baha. *Résumé des communications, Congrès international de l'arganier, 3ème édition: 48-53.*
- **El Aboudi A., Peltier JP., Doche B. (1992).** La carte de la végétation des Aït-Baha (Anti-Atlas occidental) et son intérêt pour l'édaphologie. *Feddes Repert.*, 103: 121-126.
- **El Kharouid A. (2002).** *Contribution à l'étude de la dynamique des jeunes rejets d'arganier en relation avec le milieu dans les forêts d'Ida Ou Throuma.* Mémoire de 3ème cycle E.N.F.I., 79 p + Annexes.
- **El Mokkadam 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 Wahidi F. (2013).** Dynamiques des dégradations de l'arganeraie et modélisation spatiale de l'évolution forestière : scénarios d'aménagement pour une gouvernance locale. Thèse Doct. En Sciences Agronomique et Ingénierie Biologique. Université Catholique de Louvain, 264 p.
- **Emberger L. (1924).** À propos de la distribution géographique de l'arganier. *Bull. Soc. Sci. Nat.*, 4(7): 151-153.
- **ESRI. (2012).** What is GIS? Available online (accessed 10 June 2012): [www.esri.com/what-is-gis/who-uses-gis.html](http://www.esri.com/what-is-gis/who-uses-gis.html).
- **Faouzi K., Rharrabti Y., Boukroute A., Mahyou H. (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. *Nature & Technology*, 10.
- **Fellat-Zarrouk K., Smoughen S., Maurin R. (1987).** Etude de la pulpe du fruit de l'arganier (*Argania spinosa*) du Maroc. Matière grasse et latex. *Actes Ins. Agro. Vet. Rabat* 7, 17-22.
- **Fennane M. (1999).** Observations sur la flore vasculaire endémique, rare ou menacée du Maroc. *Flora Mediterranea*, 12.
- **Fennane M. et Ibn Tattou M. (2012).** Statistiques et commentaires de l'inventaire actuel de la flore vasculaire du Maroc. *Bull. Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la vie*, 34: 1-9.
- **Ferchichi A. (1996).** Etude climatique en Tunisie présaharienne. *MEDIT: 3/ 96*, 8.

- **Fick SE. et Hijmans R.J. (2017).** Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.*
- **Gaetano R., Scarpa G., Poggi G. (2009).** Hierarchical texture-based segmentation of multiresolution remote sensing images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 47, 2129–2141.
- **GBIF. Global Biodiversity Information Facility (2012).** Data portal. Available online (Consulté 10 juin 2012): <http://data.gbif.org>.
- **Guarino L. et Lobell DB. (2011).** A walk on the wild side. *Nature Climate Change* 1: 374-375.
- **Guarino L., Maxted N., Chiwona EA. (2006).** A methodological model for ecogeographic surveys of crops. IPGRI Technical Bulletin No. 9. International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- **Hanley J.A. et MC Neil B. (1982).** The meaning and use of the area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. *Radiology*, 143: 29-36.
- **Hawkes JG., Maxted N., Ford-Lloyd BV. (2012).** The ex situ conservation of plant genetic resources. Springer Science et Business Media, Dordrecht.
- **HCEFLCD (2017).** Le Maroc, une biodiversité riche d'une quarantaine d'écosystèmes. Retrieved from : Map Ecology website: <http://mapecology.ma/actualites/maroc-biodiversite-riche-dune-quarantaine-decosystemes-hceflcd/>
- **Hernandez P.A., Graham CG., Master L., Albert D. (2006).** The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modelling models. *Ecography* 29 :773–785.
- **Hijmans R., Spooner D., Salas A., Guarino L., de La Cruz J. (2002).** Atlas of Wild Potatoes. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools 10. International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
- **Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. (2005).** Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25, 1965–1978.
- **Hilton-Taylor C., Pollock CM., Chanson JS., Butchart SHM., Oldfield TEE., Katariya V. (2008).** State of the world's species. In: Vié J-C, Hilton-Taylor C, Stuart SN, editors. *Wildlife in a Changing World: An Analysis of the 2008 IUCN Red List of*

Threatened Species. International Union for Conservation of Nature, Gland, Switzerland. 15-42.

- **Hopkins J. et Maxted N. (2010).** Crop Wild Relatives: Plant Genetic Conservation for Food Security. Natural England, Peterborough, UK.
- **Hopkins JJ., Allison HM., Walmsley CA., Gaywood M., Thurgate G. (2007).** Conserving Biodiversity in a Changing Climate: Guidance on Building Capacity to Adapt. Department for Environment, Food and Rural Affairs, London.
- **International Plant Genetic Resources Institute. (2006).** Descriptors for shea tree (*Vitellananaparadoxa*). <http://books.google.com/books?id=aa0sAQAAMAAJ>
- **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 et 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.
- **Jarvis A., Williams K., Williams D., Guarino L., Caballero P., Mottram G. (2005).** Use of GIS for optimizing a collecting mission of rare wild pepper (*Capsicum flexuosum* Sendtn.) in Paraguay. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52(6): 671-682.
- **Jetz W., McGeoch, M. A., Guralnick R., Ferrier S., Beck J., Costello M. J., ... Turak E. (2019).** Essential biodiversity variables for mapping and monitoring species populations. *Nature Ecology et Evolution*, 3(4), 539–551.
- **Karmaoui A. (2016).** Ecosystem Services of the Argan Forest, the Current State and Trends. *Advances in Research*, 8(1), 1–13.
- **Kell SP., Maxted N., Bilz M. (2012).** European crop wild relative threat assessment: Knowledge gained and lessons learnt. In: *Agrobiodiversity Conservation: Securing the Diversity of Crop Wild Relatives and Landraces*. CAB International., Wallingford. 218–242.
- **Kenny L. (2007).** Atlas de l'arganier et de l'arganeraie. Agadir, Maroc, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, 191 p.
- **Kissling W. D., Ahumada J. A., Bowser A., Fernandez M., Fernández N., García E. A., Hardisty A. R. (2018).** Building essential biodiversity variables (EBVs) of

species distribution and abundance at a global scale: Building global EBVs. *Biological Reviews*, 93(1), 600–625.

- **Krichi H. (2017).** Gouvernance locale et résilience: Cas de l'arganeraie au Maroc. <http://www.abhatoo.net.ma/maalama-textuelle/developpement-economique-et-social/developpement-economique/agriculture/politique-agricole/gouvernance-locale-et-resilience-cas-de-l-arganeraie-au-maroc>
- **Lahssini S., Hajib S., Lahlaoui H., Mharzi alaoui H. et Khattabi A. (2015).** Modeling spatial distribution of the Carob Tree (*Ceratonia siliqua*) in Azilal Province, Morocco. *J. Geogr. Geol.*, 7(4): 33-44.
- **Lambin E. F., et Le Polain de Waroux Y. (2011).** La dégradation de l'arganeraie et ses causes dans la province de Taroudant. *Congrès international de l'arganier, 1ère édition*, 9.
- **Leakey R. et Akinnifesi F. (2008).** Towards a domestication strategy for indigenous fruit trees in the tropics Indigenous fruit trees in the tropics: domestication, utilization and commercialization CAB International, Wallingford, UK, in association with the World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya: 28-49
- **Lefhaili A. (2014).** Global Forest Resources Assessment (2015). Country Report Morocco. FAO, Rome.
- **Lomolino M. V., Riddle B. R., Whittaker R. J., Brown J. H. (2010).** Biogeography. Sinauer Associates, Sunderland.
- **M'hirit O., Benzyane M., Benchekroun F., El Yousfi S.M., Bendaanoun M. (1998).** L'arganier une espèce fruitière-forestière a usages multiples. I.S.B.N. Pierre Mardaga. Belgique. 50p.
- **Magurran A.E. (2004).** Measuring Biological Diversity. Blackwell.
- **Margules CR., Nicholls AO., Pressey PL. (1988).** Selecting networks of reserves to maximize biological diversity. *Biological Conservation* 43: 63–76.
- **Maxted N. (2003).** Conserving the genetic resources of crop wild relatives in European protected areas. *Biological Conservation* 113(3): 411–417.
- **Maxted N. et Guarino L. (2000).** Ecogeographic surveys. In N. Maxted, B. V. Ford-Lloyd, et J. G. Hawkes (Eds.), *Plant Genetic Conservation* (pp. 69–87).
- **Maxted N. et Guarino L. (2003).** Planning plant genetic conservation. In: Smith RD, Dickie JB, Linington SH, Pritchard HW, Probert RJ, editors. *Seed Conservation: Turning Science into Practice*. Royal Botanic Gardens, Kew: 37–78.

- **Médail F. et Diadema K. (2009).** Glacial refugia influence plant diversity patterns in the Mediterranean Basin. *J. Biogeogr.*, 36: 1333-1345.
- **Metougui L. (2018).** Etude de la variabilité génétique et contribution à la domestication de l'arganier (*Argania spinosa* L. skeels). *Thèse. Doct*, 135.
- **Metzger M. J., Bunce R. G. H., Jongman R. H. G., Sayre R., Trabucco A., Zomer R. (2013).** A high-resolution bioclimate map of the world: A unifying framework for global biodiversity research and monitoring: High-resolution bioclimate map of the world. *Global Ecology and Biogeography*, 22(5), 630–638.
- **Meyer C., Kreft H., Guralnick R., Jetz, W. (2015).** Global priorities for an effective information basis of biodiversity distributions. *Nature Communications* 6, 8221.
- **Meyer D., Dimitriadou E., Hornik K., Weingessel A., Leisch F. (2015).** e1071: misc functions of the department of statistics, probability theory group (formerly: E1071), TU Wien. R package version 1.6-7.
- **Meyers N., Mittermeier A.R., Mittermeier C.G., Da Fonseca G.A.B., Kent J. (2000).** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
- **Mokhtari N. (2013).** Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 2(1).
- **Monsarrat S., Novellie P., Rushworth I., Kerley G. (2019).** Shifted distribution baselines: Neglecting long-term biodiversity records risks overlooking potentially suitable habitat for conservation management.
- **Moore I.D., Gessler P.E., Nielsen G.A., Petersen G.A. (1993).** "Terrain attributes: estimation methods and scale effects.". In Jakeman, A.J.; Beck, M.B.; McAleer, M. (eds.). *Modelling Change in Environmental Systems*. London: Wiley. p. 189 – 214.
- **Moukrim S., Lahssini S., Alaoui H. M., Rifai N., Arahou M., Rhazi L. (2018).** Modélisation de la distribution spatiale des espèces endémiques pour leur conservation : "Cas d'Argania spinosa (L.Skeels)". *Revue d'Ecologie*, 15.
- **Mounir F., Jourrane M., Sabir M. (2015).** Analyse basée télédétection pour la révision de la carte de répartition des peuplements à arganeraie et comparaison diachronique de sa dynamique spatio-temporelle. *Résumé des communications, Congrès international de l'arganier, 3ème édition : pp 36-43.*

- **Msanda F, (1990).** La végétation des hauts sommets du massif d'Ifni (Anti-Atlas occidental., Maroc). Mém. D.E.A., Univ. Joseph Fourier, Grenoble: 51p.
- **Msanda F., Aboudi A. E., Peltier J.-P. (2005).** *Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine.* 8.
- **Naggat M. et M'hirit O. (2006).** L'arganeraie : un parcours typique des zones arides et semi-arides marocaines. *Science et changements planétaires / Sécheresse.* Volume 17,
- **Naggat M., Lahssini S., Moukrim S. (2017).** Pour un référentiel d'aménagement forestier au service de la restauration de l'arganeraie. *Résumé des communications, Congrès international de l'arganier, 4ème édition.*
- **Naughton C. C., Lovett P. N., Mihelcic J. R. (2015).** Land suitability modeling of shea (*Vitellaria paradoxa*) distribution across sub-Saharan Africa. *Applied Geography*, 58, 217–227.
- **Nerd A., Irijimovich V., Mizrahi Y. (1998).** Phenology, breeding system and Fruit development of Argan [*Argania spinosa*, Sapotaceae] cultivated in Israel. *Economic Botany*, 52(2), 161–167.
- **Nouaim R. (1994).** Ecologie microbienne des sols d'arganeraie (S.W. Marocain) : activités microbiologiques des sols et rôle des endomycorhizes dans la croissance et la nutrition de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels). Thèse d'état. Univer. Ibnou Zohr, Maroc, 193p+ annexes.
- **Nouaim R. (1995).** Biologie de l'arganier in : Acte des journées d'étude sur l'arganier ESSAOUIRA 29-30 Septembre 1995.
- **Nouaim R. et Chaussod R. (1992).** L'arganier. Le Flamboyant (Bull. Réseau arbres tropicaux), 21, pp 3-8.
- **Ocampo J., d'Eeckenbrugge C., Restrepo M., Jarvis A, Salazar M., Caetano C. (2007).** Diversity of Colombian Passifloraceae: *Biogeography and an updated list for conservation.* *Biota Colombiana* 8(1): 1–45.
- **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.
- **Pacifici F., Chini M., Emery W.J. (2009, June).** A neural network approach using multi-scale textural metrics from very high-resolution panchromatic imagery for urban land-use classification. *Remote Sensing of Environment* 113 (6), 1276–1292.

- **Pearson R., Raxworthy C., Nakamura M., Townsend Peterson A. (2007).** Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography* 34(1): 102-117.
- **Peltier J.P. (1982).** La végétation du bassin versant de l'oued Souss (Maroc). Thèse de Doctorat ès-Sciences. Université Sciences Médicales, Grenoble.
- **Pereira H. M., Ferrier S., Walters M., Geller M., Jongman M., Scholes M., Bruford M. W., Brummitt N., Butchart M. W., Cardoso A. C., Coops N. C., Dulloo E., Faith D. P., Freyhof J., Gregory R. D., Heip C., Höft R., Hurtt G., Jetz W., Karp D., McGeoch M.A., Obura D., Onoda Y., Pettorelli N., Reyers B., Sayre R., Scharlemann J.P.W., Stuart S.N., Turak E., Walpole M., Wegmann M. (2013).** Essential Biodiversity Variables. *Science*, 339(6117), 277–278.
- **Pereira HM., Leadley PW., Proenca V., Alkemade R., Scharlemann JPW., Fernandez-Manjarres JF., Araujo MB., Balvanera P., Biggs R., Cheung WWL., Chini L., Cooper HD., Gilman EL., Guenette S., Hurtt GC., Huntington HP., Mace GM., Oberdorff T., Revenga C., Rodrigues P., Scholes RJ., Sumaila UR., Walpole M. (2010).** Scenarios for global Biodiversity in the 21st century. *Science*. 330: 1496-1501.
- **Petrovic M., Papovic D., Latinovic V. (2015).** The Classification of Crops and the Yield Evaluation Using Vegetation Indices. 25.
- **Quézel P., Barbéro M., Benabid A., Rivas-Martinez S. (1995).** Les structures de végétations arborées à Acacia sur le revers méridional de l'Anti-Atlas et dans la vallée inférieure du Draa (Maroc). *Phytocoenologia* 25(2): 279-304.
- **R Core Team (2014).** *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- **Ramírez-Villegas J., Houry C., Jarvis A., Debouck DG., Guarino L. (2010).** A gap analysis methodology for collecting crop gene pools: A case study with *Phaseolus* beans. *PLoS ONE* 5(10): e13497.
- **Riemann H. et Ezcurra E. (2005).** Plant endemism and natural PAs in the peninsula of Baja California, Mexico. *Biological Conservation* 122 :141–150.
- **Scheldeman X., Willemen L., d'Eeckenbrugge C., Romeijn-Peeters E., Restrepo M., Romero J., Jiménez D., Lobo M., Medina C., Reyes C., Rodríguez D., Ocampo JA., Van Damme P., Goetgebeur P. (2007).** Distribution, diversity and environmental

adaptation to highland papayas (*Vasconcellea* spp.) in tropical and subtropical America. *Biodiversity Conservation* 16: 1867–1884.

- **Schmitt S., Pouteau R., Justeau D., de Boissieu F., Birnbaum P. (2017).** SSDM: An R package to predict distribution of species richness and composition based on stacked species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(12), 1795–1803.
- **Sinsin.T.E , Mounir F., Quarro M., Sabir M. (2017).** Analyse de la vulnérabilité de l'arganeraie face à la problématique de la désertification au Sud du Maroc. *Résumé des communications, Congrès international de l'arganier, 4ème édition : pp : 10.*
- **Skidmore A. K., Pettorelli N., Coops N. C., Geller G. N., Hansen M., Lucas R., M'ucher C. A., O'Connor B., Paganini M., Pereira H. M., Schaepman M. E., Turner W., Wang T., Wegmann M. (2015).** Agree on biodiversity metrics to track from space. *Nature* 523, 403–405.
- **Sørensen R., Zinko U., Seibert J. (2006).** On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union* 10 (1), pp.101-112.
- **Soulères G., Belghazi B., Sepp S. (1998).** Problématique posée par l'exploitation de l'arganeraie, P.C.D.A., Agadir, 29 p.
- **Spooner D. (2005).** Molecular markers for genebank management. *Rome: IPGRI.*
- **Stephens P. A., Mason L. R., Green R. E., Gregory R. D., Sauer J. R., Alison J., Aunins A., Brotons L., Butchart S. H. M., Campedelli T., Chodkiewicz T., Chylarecki P., Crowe O., Elts J., Escandell V. (2016).** Consistent response of bird populations to climate change on two continents. *Science* 352, 84–87.
- **Tarmadi A. (2010).** Contribution de la composante agroforestière arganeraie dans le revenu des ménages : Cas des 3 communes rurales du massif de l'amsitten: Smimou, Imin Tlit et Ida ou Azza. *Mémoire 3ème année cycle d'ingénieur*, 109 p.
- **Thuiller W., Araujo M.B., Lavorel S. (2004).** Do we need land-cover data to model *J. Biogeography*, 31: 353-361.
- **Thuiller W., Lafourcade B., Engler R., Araújo M. B. (2009).** BIOMOD – A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32, 369–373.
- **Thuiller W., Lavorel S., Araújo MB., Sykes MT., Prentice IC. (2005).** Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102(23): 8245–8250.

- **Title P.O. et Bemmels J.B. (2018).** ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling. *Ecography*, 41: 291–307.
- **Trias-Sanz, R., Stamon G., Louchet J. (2008).** Using colour, texture, and hierarchical segmentation for high-resolution remote-sensing. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 63, 156–168.
- **Tuttle E. M., Jensen R. R., Formica V. A., Gonser R. A. (2006).** Using remote sensing image texture to study habitat use patterns: a case study using the polymorphic white-throated sparrow (*Zonotrichia albicollis*). *Global Ecology and Biogeography*, 15: 359-357.
- **Valérie C.H. (2008).** Du « statut » Mouchaa au statut privé : Privatisation et superposition de droits en banlieue Sud. Ed. Presses de l’Ifpo, Publications de l’institut français du Proche Orient, p. 85-138.
- **Van Proosdij A. S. J., Sosef M. S. M., Wieringa J. J., Raes N. (2016).** Minimum required number of specimen records to develop accurate species distribution models. *Ecography*, 39(6), 542–552.
- **Venables W. N., Ripley B. D. (2002).** Modern applied statistics with S, 4<sup>th</sup> edition. *New York, NY: Springer.*
- **Wood E. M., Pidgeon A. M., Radeloff V. C., Keuler N. S. (2012).** Image texture as a remotely sensed measure of vegetation structure. *Remote Sensing of Environment* 121, 516–526.
- **Xiao Q. et McPherson, E. G. (2005).** Tree health mapping with multispectral remote sensing data at UC Davis, California. *Urban Ecosystems*, 8(3–4), 349–361.
- **Zahidi A. (2013a).** Seasonal change effects on phenology of *Argania spinosa* (L.) in the fields. *Journal of Ecology and The Natural Environment*, 5(8), 189–205.
- **Zahidi A. (2013b).** Seasonal change effects on phenology of *Argania spinosa* (L.) in the fields. *Journal of Ecology and The Natural Environment*, 5(8), 189–205.
- **Zahidi A., Bani-Aameur F., Mousadik, A. E. (2013).** Variability in leaf size and shape in three natural populations of *Argania spinosa* (L.) Skeels. *International of Current Research and Academic Review*, 13.

**ANNEXES**

## 1. Physiographie générale

**Pays** :..... **Province/région** :..... **Zone d'étude** :.....

**Site du projet** :..... **Zone de Monitoring** :..... **ID** :.....

**Latitude** : ..... **Longitude** :..... **Altitude** :.....

**Physiographie Générale** : Coline/ Montagne/ Plaine/Plateau/ Haut-plateau/ Vallée

**Milieu Générale** : Terre arable/ Désert/ champs de culture/ forêt/ broussaille

Prairie naturelle/Arbustes nains/ culture permanente

**Microenvironnement** : Haut de montagne/haut de colline/ Coté de colline /Forêt brulée /Falaise Plaine/steppe /Margine forestière /Prairie brûlé / Paroi rocheuse /Bord de la route / Urbain/péri-urbain / Rivage (rivière/mer) / Autre (spécifier)

**Couverture du terrain (Corine)** : Agriculture /végétation naturelle / culture annuelle (Bour) roche nue-sol / Zone urbanisée/ Zone incendié /Arbuste naines denses/ système culturale complexe /Verger et petits fruits/ Culture hétérogènes/ Terre irriguée/ Prairie naturelle/Arbustes Nains/ oliveraies / vignoble /Terre surpâturé /Marquis garigue transitionnel

**Pente (%)** : 0-2% / 3-8 % / 9-15 % / 16-30 % / 31-60 % / >60%

**Longueur de la pente (m)** : <50/ 51-200 / 201-500/ 501-1000/ >1000

**Exposition** : N NE E SE S SW W NW

**Géologie et hydrologie du sol** :

FAO groupe du sol majeur : ..... Num.d'échantillon du sol : .....

FAO unité de Sol : ..... pH estimé : Très acide (2-5) Acide (5-6,5) Neutre (6,5-7,5) Alcalin (>7,5) ; Roche mère : ..... ; pH mesuré : ..... ; Formation Géologique : .....

**Salinité** : 0. Non 3. Faible 5. Moyenne 7. Elevé

**Roches** : absent < 5% 5-10% 11-33% 34-66% >67%

**Profondeur du sol (cm)** : <25 / 26-50 / 51-80/ 81-120/ > 120

**Drainage** : Très pauvre en eau/ pauvre en humidité/ moyen rapide/ très rapide

**Texture du sol** : argileux terreau limoneux terreau sablonneux sable fin ... Organique limono argileux sable grossier organique

## 2/ Socio-économie

**Usages prédominant des terres :** Terres cultivé/ Cultures annuelles/ cultures pérennes /Terres pâturés /Parcours /Hétérogénéité

**Perturbation :** Surexploitation/ Pâturage/ Urbanisation/Carrières /Agriculture/Coupe /Remise en état des terres/ Incendie

**Irrigation :** nulle Partielle complète

**Préparation du sol :** Non labour superficiel labour profond

**Désherbage :** Non Chimique Manuel Binage

**Fertilisants :** Non Chimiques Organiques Chimiques et Organiques

**Remarques:**.....

**Description des perturbations :** .....

## 3/ Facteurs de dégradation :

**Echelle :** 0. Non ou très faible 3. Faible 5. Moyen 7. Elevé

**Surexploitation :**... Autres facteurs de dégradation :.....

**Pâturage :** .....

**Urbanisation :**.....

**Sécheresse :**... Description de la dégradation :.....

**Diminution de l'agriculture :**.....

**Coupe :** .....

**Incendie :**.... Espèces prédominantes :.....

**Remise en état des terrain :**.....

**Carrières :**.....

**Utilisation de variétés améliorées :**..... Remarques sur les cultures :.....

Celle prédominantes : .....

Utilisation de nouvelles Espèces : ..... Remarques Générales :.....

Les quelles :.....



## ملخص

الأركان *Argania spinosa* (L. Skeels) شجرة ذات طابع زراعي، غبوي و رعوي، وتعتبر نوعا نباتيا مستوطنا لجنوب غرب المغرب، كما أنها تلعب دورا هاما على المستوى الاجتماعي، الإقتصادي و البيئي. تتميز محمية الأركان بطابعها الخاص في التنوع البيولوجي العالمي نظرا لتبادلات المحيط الحيوي مع العنصر البشري. على الرغم من ذلك، لا تزال هذه الثروة تعاني من ضغوطات بشرية مفرطة، زادت من حدتها تأثيرات التغير المناخي. باعتبار هذا الموقف المحذر لفقدان التنوع البيولوجي، تهدف هذه الدراسة إلى المساهمة في المحافظة و التدبير المستدام للنظم البيئية الطبيعية للأركان.

للقيام بذلك، تم اعتماد مقارنة إكوجرافية باستخدام استمارة IPGRI. كما تم جمع البيانات في أربع مواقع تمثل الجهات الجغرافية الأربعة لمحمية الأركان. تم تطوير خرائط مناخية وطوبوغرافية متعددة. نمذجة توزيع الأنواع المرتبطة (SSDM) بالنسبة للأركان تمت على مستوى المغرب. تم اختبار مساهمة صور الأقمار الصناعية عالية الدقة في وضع خرائط توزيع الأركان و الأنواع المرتبطة بها. سمحت النتائج التي تم الحصول عليها بتصنيف عام للنظم الإيكولوجية المدروسة. أسفرت نتائج SSDM في وضع خريطة احتمالية وجود شجرة الأركان، بالإضافة لخرائط تمثيلية للتوطين و الثراء النوعي. أكدت مؤشرات التقييم على تميز النموذج المعتمد وجودة تنبؤه. من بين 17 متغيرا بيئيا مستخدما، ساهم مؤشر الرطوبة الطوبوغرافية (33,35%) و متوسط التبخر المحتمل (25,51%) بشكل كبير في التوزيع المكاني للأركان. كما أظهرت صور الأقمار الصناعية عالية الدقة قوة تمييزية بين مختلف طبقات النباتات و كذلك داخل كل طبقة بمساهمتها في وضع خرائط الأنواع المرتبطة بالأركان.

يمكن استغلال هذه النتائج لإحداث مناطق محمية لأشجار الأركان في وسطها الطبيعي (*in situ*) و توطين أنواع متأقلمة في مجالها الطبيعي (*circa situ*). بالإضافة إلى ذلك، اختيار المناطق المواتية لتثمين زراعة الأركان و تقييم الإمكانيات الحقيقية للأنواع المرتبطة، خاصة النباتات الطبية و العطرية و الأنواع الرعوية. من جانب آخر، تبين أن الدمج بين المقاربة الإكوجرافية و الإستشعار البعدي الفضائي أداة فعالة لتتبع و تقييم التنوع البيولوجي.

**الكلمات المفاتيح:** شجرة الأركان *Argania spinosa* (L.Skeels)، مقارنة إكوجرافية، محافظة، تنوع بيولوجي، إستشعار بعدي فضائي، نمذجة توزيع الأنواع المرتبطة نظام المعلومات الجغرافية

مشروع نهاية الدراسة لنيل شهادة مهندس دولة في الهندسة الزراعية

تخصص: علم البيئة وتدبير النظم البيئية الطبيعية

مساهمة نظم المعلومات الجغرافية والنمذجة لتوصيف النظم  
الايكولوجية لشجرة الأركان للحفظ والاستخدام المستدام

قدم للعموم ونوقش من طرف:

عنالي شفيق

أمام اللجنة المكونة من:

الأستاذ عبد العزيز مكرم	الرئيس	معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة
الأستاذ محمد يسف	مقرر	معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة
الذكتور أحمد عامري	مقرر	المركز الدولي للبحث الزراعي في المناطق الجافة
الأستاذة ياسمينه عيماني	ممتحن	معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة
السيد عبد الرحمان أيت لحاج	ممتحن	الوكالة الوطنية لتطوير مناطق الواحات وشجر الأركان

أكتوبر 2019