

*République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*



*Université Mouloud MAMMERY de Tizi-Ouzou*

*Faculté des Sciences Biologiques*

*Et des Sciences Agronomiques*

*Département des Sciences Agronomiques*



# **Memoire de fin d'étude**

*En vue de l'obtention du Diplôme de Master*

*En sciences Agronomiques*

*Spécialité : Ecologie Forestière*

*Thème*

## **Modélisation de l'aire potentielle de *Quercus afares* en Algérie et en Tunisie**

*Présenté par*

**M<sup>elle</sup> Laidi Keyssa**

*Devant le jury*

*Président : Mr DERRIDJ. A*

*Promoteur : Mr BOUAHMED. A*

*Examinatrice : Mme KROUCHI. F*

*Pr à L'U.M.M.T.O.*

*MCB à L'U.M.M.T.O.*

*MCA à L'U.M.M.T.O.*

***Promotion 2018***

## **Remerciements**

*Je remercie « DIEU » tout puissant de m'avoir donné le courage, la patience et la volonté pour accomplir ce modeste travail.*

*Je remercie vivement Monsieur BOUAHMED Abdelkader enseignant chercheur à qui je dois beaucoup de respect et de gratitude. Pour m'avoir guidé, afin de mener à bien cette étude, pour ses remarques pertinentes et pour ses conseils judicieux qui sans cesse ont permis l'amélioration de la qualité de ce travail.*

*Mes sincères remerciements sont adressés au président du jury, Monsieur DERRIDJ Arezki Professeur à L'U.M.M.T.O.*

*Je remercie spécialement Madame KROUCHI Fazia maître conférence classe A à l'Université Mouloud Mammeri pour avoir accepté de faire partie de mon jury et surtout pour avoir proposer cette formation au master.*

*Mes remerciements les plus profonds sont adressés :*

*Aux personnels de la conservation des forêts des wilayas; de Bejaia, Tizi Ouzou, Skikda, Jijel, Annaba et d'El Taref.*

*Aux personnels des circonscriptions et des districts de la wilaya de Jijel particulièrement l'ingénieur de la circonscription de Aouana Mr. BOUROUDI Amine, et l'ingénieur de la circonscription de Taher Mr HALLIS W.*

*A M<sup>lle</sup>. MESBAHI Melilia, Mr. MERABET Khaled, Mr. KARA Mokrane doctorants à l'université de Bejaia, M<sup>lle</sup> DIB Tassadit doctorante à l'université de Tizi Ouzou, M<sup>lle</sup> ROUINI Nesrine doctorante de l'université de Batna et à Mr et Mme TILALIA enseignants à l'université de Guelma,*

*Et enfin, je tiens à remercier tous les gens qui m'ont aidé de loin ou de près pour réaliser ce travail.*

*Sincèrement*

*Keyssa*

# DÉDICACES

À MES PARENTS ADORÉS ;

À MON FRÈRE, MA BELLE SŒUR ET MES DEUX  
PRINCESSES ;

À MA SŒUR, MON GENDRE ET MON NEVEU  
CHÉRI ;

À MES DEUX PETITES SŒURS

À MES COUSINS ET COUSINES

À TOUS MES AMI(E)S ;

*KEY*

Nous n'héritons pas de la terre de nos ancêtres,  
nous l'empruntons à nos enfants.

*Antoine de Saint-Exupéry*

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1:</b> Quelques caractéristiques des chênes algériens (DGF, 2007; Medjmadj, 2014).....	4
Tableau 2: Tableau récapitulatif des sources de données de présence de l'espèce .....	14
<b>Tableau 3:</b> Les variables climatiques ( <a href="http://worldclim.org/">http://worldclim.org/</a> ) .....	15
<b>Tableau 4:</b> Contribution et importance des variables retenues pour le modèle de <i>Quercus</i> afares .....	21

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Situation du genre <i>Quercus</i> dans le monde (Romuald, 2007) .....	3
<b>Figure 2:</b> Quelques caractères botaniques du chêne afarès (photos K. Laidi) .....	6
<b>Figure 3:</b> Distribution géographique de <i>Q. afares</i> (Quézel et Bonin, 1980) .....	7
<b>Figure 4:</b> Interface principale du logiciel Maxent .....	12
<b>Figure 5:</b> Découpage du masque géographique .....	16
<b>Figure 6 :</b> Traitement des variables environnementales .....	16
<b>Figure 7:</b> Traitements des points de présences de <i>Quercus afares</i> .....	17
<b>Figure 8:</b> Différentes étapes à suivre sur Maxent.....	18
<b>Figure 9:</b> Exécution du modèle MaxEnt .....	19
<b>Figure 10 :</b> Courbe caractéristique d'opération (ROC) .....	20
<b>Figure 11 :</b> Distribution potentielle prédite de <i>Quercus afares</i> .....	22
<b>Figure 12 :</b> Contexte bioclimatique de l'Algérie tellienne selon Stewart 1974.....	23
<b>Figure 13 :</b> Distributions de <i>Quercus afares</i> selon les classes de probabilités .....	24
<b>Figure 14 :</b> Distribution selon 2/3 de seuil de probabilité des classes .....	25
<b>Figure 15 :</b> Superposition de la carte de l'aire potentielle prédite .....	26

# Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Synthèse Bibliographique</b>	
<b>Partie 1: Chêne afarès .....</b>	<b>3</b>
1.1. Bref aperçu sur les chênes .....	3
1.2. Les espèces de chênes en Algérie .....	3
1.3. Systématique du chêne afarès.....	5
1.4. Caractères biologiques du Chêne afarès .....	5
• Port	
• Ecorce	
• Rameaux	
• Bourgeons	
• Feuilles	
• Floraison	
• Gland	
• Bois	
1.5. Aire de répartition du chêne afarès .....	7
1.6. Autoécologie du chêne afarès .....	7
1.7. Ennemis du chêne afarès .....	8
<b>Partie 2: Modélisation de la distribution des espèces (SDM).....</b>	<b>8</b>
2.1. Définition de la « SDM » .....	8
2.2. Notions et outils importants pour la « SDM ».....	9
2.2.1. Aire de répartition d'une espèce.....	9
2.2.2. Niche écologique d'une espèce .....	9
2.2.3. Systèmes d'information géographique.....	9
2.3. Principe des « SDMs » .....	10
2.4. Les types de modèles.....	10
2.4.1. Modèles mécanistes .....	10
2.4.2. Modèles corrélatifs ou statistiques .....	10
2.5. Application des « SDMs ».....	10
2.6. Algorithmes.....	11
2.7. L'approche de l'entropie maximale pour la « SDM » .....	11

2.8. Maxent version 3.3.3k .....	12
<b>Chapitre II: Matériels et méthodes</b>	
1. Collecte des données .....	13
1.1. Données de présence de l'espèce .....	13
1.2. Données environnementales .....	14
1.3. Masque géographique .....	15
2. Traitement des données .....	16
3. Calcul du modèle par Maxent.....	17
4. Évaluation du modèle .....	19
• L'AUC	
<b>Chapitre III: Résultats et discussion</b>	
1. Évaluation du modèle.....	20
2. Contribution des variables .....	20
3. Aire potentielle prédite du chêne afarès .....	21
5. Superposition de la carte prédite .....	25
• Avec la carte de découpage administratif de l'Algérie	
• Sur Google Earth	
6. Intérêt pour la conservation de Quercus afares.....	27
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>28</b>

*Introduction*  
*générale*

## 1. Introduction

Les chênaies méditerranéennes se caractérisent par la présence de chênes à feuillage caduc dans les étages bioclimatiques humides et de chênes à feuillage persistant dans les bioclimats humide, subhumide et même semi-aride (Hasnaoui, 1992). La chênaie procure des revenus forestiers très importants et renferme une diversité génétique très élevée. Malgré cette importance économique et écologique, certains chênes restent des espèces peu connues ou menacées, particulièrement les chênes hybrides, rares et endémiques.

*Q.afares* est une espèce hybride, relictuelle, représentative de l'endémisme restreint existant dans le bassin méditerranéen, qui constitue l'un des "hotspots" de la biodiversité planétaire (Myers *et al.*, 2000). C'est un arbre montagnard localisé dans des habitats restreints, avec seulement quelques centaines d'individus reproducteurs, repartis en une population tunisienne au Nord Ouest tunisien et en quelques populations aux Nord Est algérien; en grande et petite Kabylie (Beni Ghobri, Akfadou, Beni Foughal, etc). En Tunisie on le trouve dans la réserve de Ain Zena, en mélange avec le chêne liège et le chêne zéen (Hasnaoui, 1992; Mir *et al.*, 2006). Des problèmes de conservation s'y posent et son extension passée était supérieure à celle d'aujourd'hui (Hasnaoui, 1992), son aire de répartition est très limitée tant en Algérie qu'en Tunisie, dans l'un des points chauds de la biodiversité qui reste mal reconnu fait de forêts, de montagnes et d'écosystèmes côtiers menacés par l'activité humaine (Vela *et al.*, 2007). De ce fait, les espèces rares, telle que celles vivant en petites populations ou ayant des distributions géographiques restreintes, occupent une place centrale en biologie de la conservation car elles courent un grand risque d'extinction (Pimm *et al.*, 1988; Gaston, 1994). Le manque de connaissances générales sur la biologie des espèces rares a été fréquemment souligné (Kunin et Gaston 1993; Murray *et al.*, 2002). Parfois ces espèces peuvent contribuer de manière significative à la biodiversité des hotspots et des aires protégées (Myers *et al.*, 2000; Zurlini *et al.*, 2002).

Comme le climat est considéré comme le principal facteur expliquant la distribution des espèces (Woodward, 1987; Davis & Shaw, 2001), l'amélioration de notre capacité à modéliser la niche écologique des espèces est nécessaire pour mieux prédire l'évolution de leurs aires de répartition sous climat futur (Berry *et al.*, 2002; Parmesan & Yohe, 2003), surtout aux marges de leurs aires (Hamann & Wang, 2006; McKenney *et al.*, 2007). En effet, il est de plus en plus probable que les fluctuations des variables climatiques telles que les

précipitations et la température auront une incidence sur la diversité biologique et sur la répartition géographique des habitats favorables aux espèces (IPCC, 2007).

La modélisation de niche établit une relation statistique entre la présence des espèces et les conditions environnementales. Cependant, les distributions observées sur lesquelles sont basés ces modèles peuvent être modifiées par les activités anthropiques, qui affectent la concordance de la niche des espèces avec leur distribution actuelle.

La présente étude est composée de trois chapitres structurés comme suit: le premier chapitre est consacré à la présentation des généralités sur les chênes et en particulier le chêne afarès et à la technique de modélisation utilisée pour prédire l'aire potentielle de l'espèce en se basant sur la théorie de la niche écologique. Le second chapitre renferme les techniques employées et les moyens mis en œuvres pour l'exploitation des données et les traiter. Le troisième chapitre rassemble les résultats obtenus et leur discussion.

# *Chapitre I*

## *Synthèses*

### *bibliographiques*

## 1. Chêne afarès

### 1.1. Bref aperçu sur les chênes

Le genre *Quercus* (chênes) forment le groupe d'arbres ou d'arbustes de la famille des Fagacées et qui comprend entre 200 et 600 espèces (chiffres variables selon les auteurs vu le nombre important des hybrides), situés majoritairement dans l'hémisphère nord (Fig. 1).

Les chênes font partis des espèces forestières les plus polymorphes au plan génétique d'où leur forte capacité d'adaptation. (Quézel, 1974).



**Figure 1** : Situation du genre *Quercus* dans le monde (Romuald, 2007).

### 1.2. Les espèces de chênes en Algérie

En Algérie, les chênes (vert, liège, zéen, kermès et afarès) représentent un capital forestier, ils couvrent des superficies étendues notamment dans le Nord et le Nord-est, soit environ 40 % de la forêt algérienne (Alatou, 1994). Ce tableau récapitulatif de ces chênes et leurs caractéristiques.

**Tableau 1:** Quelques caractéristiques des chênes algériens (DGF, 2007; Medjmadj, 2014)

Nom d'espèce	Origine	Feuillage	Dendrométrie	Superficie occupée	Intérêt économique
Q. suber	Sud-ouest de l'Europe et du nord-ouest de l'Afrique	Persistant	Arbre de taille moyenne de 10 à 15 m, tronc liégeux.	440.000 ha dont 229.000 productifs	-Liège
Q. ilex	Bassin méditerranéen	Persistant	-5 à 20m de haut -Tronc court et tortueux	700.000 ha (Letreuch-B, 1995)	-Bois de chauffage
Q.coccifera	Bassin méditerranéen	Persistant	Arbuste ou arbrisseau touffu à port buissonnant de 3 m de haut	51.000 ha (Boudy, 1955)	-Tannage du cuir
Q. canariensis	Espagne et Afrique du Nord, sa limite est la rive sud-occidentale de la méditerranée	Semi-caducue	Arbre de plus de 30 m de haut avec un tronc supérieur à 1,5 m de diamètre.	48 000 ha	-Papeterie -Trituration -Traverses de chemin de fer - Charpentes
Q. afares	Algérie et Tunisie	Caducue	Arbre de 25 à 30 m de haut,	10.000 ha environ (Laifaoui, 1995).	-Bois de chauffage -Tranchage -Papeterie -Menuiserie

### 1.3. Systématique du chêne afarès

*Quercus afares* est un arbre caduque de la famille des Fagacées, c'est une espèce stabilisée née de l'hybridation entre *Quercus suber* et *Quercus canariensis*. (Mhamdi, 2014).

Sur le plan systématique la plupart des auteurs ont adopté la classification suivante:

Embranchement	Spermaphytes
Sous Embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Ordre	Fagales
Famille	Fagacées
Genre	<i>Quercus</i> . L
Espèce	<i>Quercus afares</i> Pomel

Nom vernaculaire: Chêne afarès

Nom kabyle : Techt

Nom arabe : Zen magloub

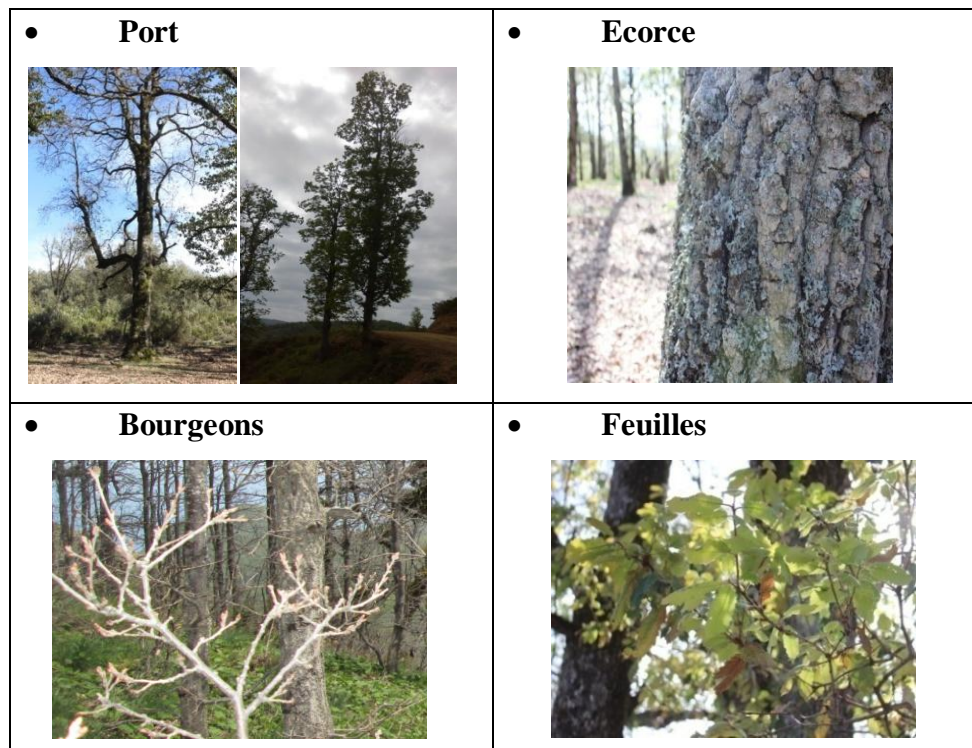
En se basant sur des traits génétiques et morphologiques, cette espèce est définie comme hybride, l'analyse génétique dans deux populations (Algérie et Tunisie) conduite par Mir *et al.* (2006) en utilisant des allozymes et des marqueurs chloroplastiques, a montré que *Q. afares* (espèce caduque) est issu de l'hybridation entre *Q. suber* (espèce sempervirente) et *Q. canariensis* (espèce semi-caduque). *Q. suber* représente le parent maternel du fait de la dominance de ses allèles dans le génome de l'afarès. (Mir et al, 2006).

*Quercus afares* s'hybride facilement avec *Quercus suber* quand ils sont en mélange pour donner *Q. kabylica* ou *Q. numidica*. C'est également à cette hybridation qu'on doit rapporter le nom du *Quercus pseudosuber*. (Boudy, 1950).

### 1.4. Caractères biologiques du chêne afarès

Le Chêne afarès est une espèce monoïque, qui se distingue nettement du Chêne zéen, avec lequel il est en mélange, par son port plus élancé, son écorce et ses feuilles plus étroites. Il peut atteindre les dimensions maximales du chêne zéen, soit 30 m de hauteur et 3 m de circonférence à 1.30m. Sa tige est généralement rectiligne, à écorce profonde. La cime est fastigiée, parfois pyramidale, atteignant les dimensions du zéen. (Boudy, 1950; Maire, 1961).

- **Port:** En jeunesse, le port est pyramidal ou fastigié. Il s'étale ensuite avec l'âge.
- **Ecorce:** Elle est épaisse, très rugueuse, de couleur gris-brun.
- **Rameaux:** Les jeunes rameaux sont couverts d'un dense tomentum blanchâtre. Ensuite, ils deviennent glabres et laissent apparaître des lenticelles saillantes.
- **Bourgeons:** Ils sont ovoïdes et tomenteux. Les terminaux sont accompagnés de stipules allongés et persistants.
- **Feuilles:** Elles sont alternes, tardivement caduques, simples, oblongues à ovales oblongues, longues de 6 à 12 cm et larges de 4 à 8 cm, le bord est doté de larges dents triangulaires aigues et terminées par un mucron.
- **Floraison:** Elle se fait en juin et est sans intérêt. Les fleurs des deux sexes sont séparées sur le même arbre.
- **Gland:** Il est à maturation bisannuelle. De forme oblong ou ovoïde, plus ou moins strié, long de 3.5 à 4.5 cm, légèrement renflé à la base et atténué au sommet, brun roux, glabre sauf au niveau du mucron. La cupule est haute de 1.5 à 2 cm et englobe le tiers du gland.
- **Bois:** Il est dur, dense et veiné avec un aubier très abondant. C'est un bois d'œuvre



**Figure 2:** Quelques caractères botaniques du chêne afarès (photos K. Laidi)

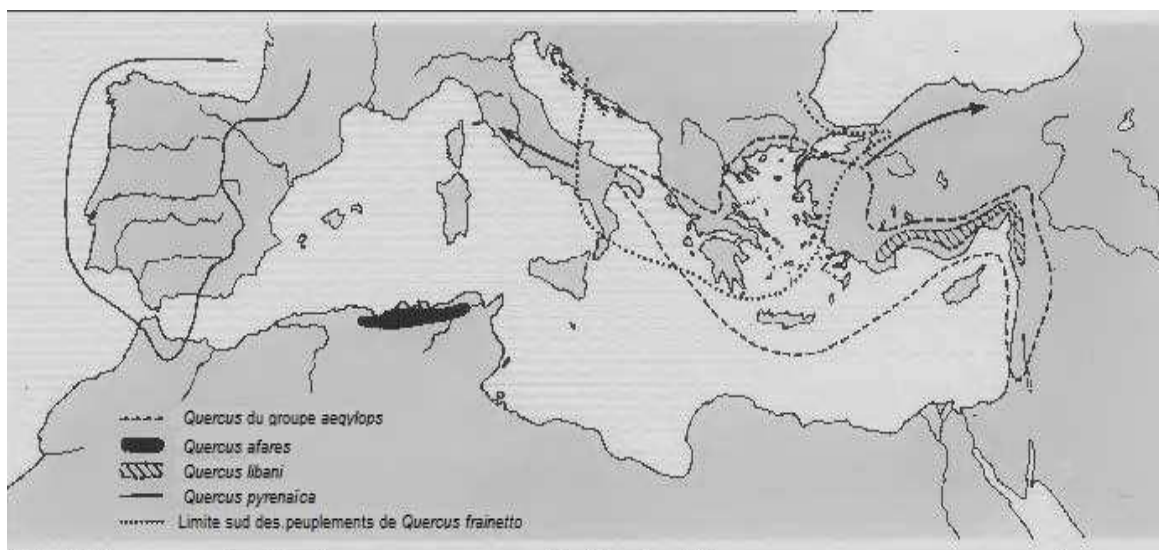
### 1.5. Aire de répartition du chêne afarès

*Quercus afares* est une espèce endémique algero-tunisienne. Son aire de distribution est très limitée et s'étend de la frontière tunisienne jusqu'au méridien de Cherchell en Algérie (fig.3).

On le trouve dans les deux Kabylie: Forêt des Beni Ghobri, d'Akfadou, des Barbors (ou il est en contact avec le cèdre de l'Atlas et le sapin de Numidie sur le versant nord), de Beni Affar, Oued Asqueur, Tamentout, Guerrouche et dans la forêt de Djebel Dyr à El Taref.

La Calle correspond à sa limite orientale extrême (Boudy, 1950; Quézel et Santa, 1962). Les données limitées de la littérature rapportent que ce chêne était présent en Tunisie dans au moins trois sites: Djebel El Ghorra, Ain Zena et Dar Fatma (stations alticoles) et qu'actuellement, il ne subsiste que dans une seule population à Ain Zena (Hasnaoui, 1992; Mir *et al.* 2006; Mohamdi, 2014).

*Q. afares* se présente aussi à l'état pur (populations mono spécifiques) surtout entre 1000 et 1300 m d'altitude et sur des sols détériorés par les incendies dans le massif de l'Akfadou en Algérie (Boudy, 1959; Meddour, 2010).



**Figure 3:** Distribution géographique de *Q. afares* (Quézel et Bonin, 1980).

### **1.6. Autoécologie du chêne afarès**

Selon Boudy (1950), le chêne afarès est un arbre montagnard présent entre 1200 et 1600 m (souvent en mélange avec le chêne zéen). Il se développe parfois à des altitudes plus basses à 200 m ou il est mélange avec le chêne liège comme à El Millia. L'arbre préfère des tranches pluviométriques annuelles variant entre 800 et 1000 mm voire 1300 mm. Il redoute les saisons sèches prolongées. Il résiste bien à la chaleur et au froid. Du point de vue édaphique, cette espèce exige des sols non calcaires (Boudy, 1950; Maire, 1961).

Les jeunes plants sont robustes et ne craignent pas le découvert, c'est une espèce héliophile (Boudy, 1950 et Messaoudene, 1996). Le chêne afarès rejette bien de souches. Sa régénération par semis est facile et abondante. (Medjmadj, 2014).

### **1.7. Ennemis du chêne afarès**

Les maladies et les insectes sont en majeure partie la cause des pertes en valeur et en productivité de nos ressources forestières. (Hammami, 1985)

Parmi les ravageurs du chêne afarès on cite les cochenilles et les pucerons qui sont les parasites les plus courants et qui favorisent l'apparition de la fumagine après leurs attaques. (Medjmadj, 2014).

## **2. Modélisation de la distribution des espèces (SDM)**

La recherche écologique des espèces s'appuie de plus en plus sur l'étude de représentations schématiques de la réalité, qualifiées de modèle, qui permet d'étudier les traits essentiels d'une espèce et son habitat, et d'en simuler numériquement son évolution géographique et la dynamique du système écologique. Les modèles de distribution géographique (SDMs: Species Distribution Modeling) quantifient les relations "espèce (s)-environnement" et permettent de produire alors une carte d'habitats favorables à la présence et au développement optimal d'une espèce ou d'une population.

### **2.1. Définition de la « SDM »**

Charpentier (1995) définit la modélisation comme étant un processus d'analyse de données visant l'élaboration de modèles.

La modélisation prédictive de la végétation peut être définie comme la prédiction de la distribution géographique de la composition de la végétation dans un paysage à partir de variables environnementales spatialisées (Franklin, 1995).

En général, la modélisation de niche écologique consiste à convertir les données brutes d'occurrence de l'espèce considérée en cartes de distribution géographique potentielle en indiquant sa présence probable ou son absence (Guisan, 2006)

## **2.2. Notions et outils importants pour la « SDM »**

### **2.2.1. Aire de répartition d'une espèce**

C'est toutes les régions qui englobent toutes les localités où l'organisme a été recensé. Egalement nommée "aire de répartition", la distribution géographique correspond donc à l'étendue spatiale des occurrences d'une espèce donnée (Antunes, 2015).

L'aire géographique est généralement estimée selon l'éloignement géographique des Occurrences de l'espèce sans tenir compte de son écologie. Elle inclut des zones où l'espèce ne peut pas accéder. D'un autre côté, la distribution géographique d'une espèce dépend fortement de sa mobilité et de son histoire (Antunes, 2015).

### **2.2.2. Niche écologique d'une espèce**

Quelque soit l'objectif recherché ou le syntaxon étudié, les méthodes de modélisation sont souvent basées sur la *théorie de la niche* qui définit la niche écologique d'une espèce comme "l'ensemble des facteurs biotiques et abiotiques nécessaires à sa survie dans un lieu donné" (Hutchinson, 1959; Hirzel and Le Lay, 2008). La niche écologique est un hyper volume multidimensionnel où chaque dimension correspond à une variable environnementale biotique ou abiotique, favorisant ou contraignant la présence de l'espèce (Hutchinson 1957). De ce fait, chaque espèce est adaptée à un ensemble particulier de conditions environnementales, qui détermine sa persistance à long terme et conditionne sa coexistence avec d'autres espèces dans un environnement donné.

### **2.2.3. Systèmes d'information géographique**

Un système d'information géographique est un ensemble de logiciels intégrés, spécifiquement conçu pour être utilisé avec des données géographiques, qui comprennent à la fois les données spatiales et les données attributaires décrivant les caractéristiques

géographiques, il effectue une gamme complète de fonction de base comprennent Le saisie (inputs), le stockage, l'extraction, la transformation et l'affichage (Qihao Weng, 2010).

### **2.3. Principe des « SDMs »**

Les modèles de distribution géographique des espèces (en anglais SDM : Species Distribution Models) sont basés sur l'identification et la quantification des facteurs environnementaux qui contrôlent la distribution d'une espèce ou d'une communauté et analysent les relations entre les données d'occurrence géoréférencées (localisation de chaque lieu d'échantillonnage en terme de latitude et longitude) et données environnementales biotiques et abiotiques. Ils permettent de produire alors une carte des environnements préférentiels ou d'habitats favorables à la présence et au développement optimal d'une espèce ou d'une population (Urbina - Cardona & al, 2010). La modélisation des préférences écologiques de l'espèce donne alors une approximation de sa niche fondamentale, approximation contrainte par la pertinence et la représentativité des variables utilisées pour la réalisation du modèle (Phillips *et al.* 2006). Les limites de ce type de modèle ne doivent cependant pas être ignorées afin de permettre une interprétation correcte des résultats (Svenning & Skov, 2004).

### **2.4. Les types de modèles**

#### **2.4.1. Modèles mécanistes**

Ils sont basés sur les caractéristiques physiologiques et écologiques de l'espèce: variation génétique, stratégies de survie (Keamey & Porter, 2009). Ces modèles nécessitent une connaissance approfondie de l'espèce, ce qui réduit donc leur utilisation (Lauzeral, 2012).

#### **2.4.2. Modèles corrélatifs ou statistiques**

Ils mesurent la relation entre les données environnementales et les données d'occurrence (distribution observée) de l'espèce. Ils ne nécessitent que les données de présence seule, ou encore présence/absence, d'abondance. Donc ils sont les moins exigeants et les plus utilisés (Lauzeral, 2012).

### **2.5. Application des « SDMs »**

Quelques domaines où on utilise les SDMs (Leriche, 2010) :

- La gestion et la conservation des habitats des espèces

- Prédire les aires potentielles d'une espèce connue
  - Accélérer la détection de nouvelles espèces
  - Définir zones prioritaires de protection
  - Guider la réintroduction d'espèces menacées
  - Projection de l'impact des activités anthropiques sur les espèces
- 
- La biogéographie, la paléodistribution
  - Explorer les mécanismes de spéciation, la phylogéographie
  - Éviter les risques biologiques et gérer l'invasion de certaines espèces

### **2.6. Algorithmes**

Les algorithmes prédictifs de niche écologique sont utilisés depuis une dizaine d'années afin de construire les niches écologiques des espèces. Ils permettent de comprendre les possibles influences des facteurs environnementaux sur les populations du présent et du futur. Voici une liste incomplète de ces algorithmes (Leriche, 2010) :

- ANN
- SRE
- MaxEnt
- FDA
- ANN
- GLM
- GAM
- MARS

### **2.7. L'approche de l'entropie maximale pour la « SDM »**

Diverses méthodes statistiques sont utilisées pour modéliser la distribution spatiale des espèces et la répartition de leur habitat favorable. La méthode du maximum d'entropie a été développée à l'origine pour réaliser des prédictions ou des interpolations à partir d'informations incomplètes dans différentes disciplines. La particularité du modèle Maximum Entropie réside dans sa capacité de fonctionner aussi bien avec des données continues qu'avec des données catégorielles (Phillips et al. 2006). Cette méthode de modélisation a été choisie parce qu'elle ne requiert pas de données d'absence difficiles à collecter (Urbina -Cardona & Loyola, 2008) et qui, si elles sont disponibles, peuvent être

de valeur incertaine dans beaucoup de situations. Elle présente par ailleurs une bonne performance pour la prédiction de la distribution des espèces dans des paysages très peu étudiés (Hernandez et al. 2008).

### 2.8. MaxEnt version 3.3.3k

Est une méthode de "machine learning" qui estime la distribution des espèces grâce à un algorithme basé sur la notion d'entropie ([https://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/)). L'algorithme est garanti pour converger jusqu'à la probabilité de distribution optimale (Phillips et al. 2006). MaxEnt contrôle la surévaluation en utilisant un paramètre de régularisation qui contraint la distribution estimée, telle que la valeur moyenne pour une variable donnée soit proche de la moyenne empirique au lieu d'être égale. La distribution de probabilité estimée par ce modèle est calculée sur tous les pixels de la zone d'étude pour lesquels on dispose de données. La distribution de probabilité estimée par MaxEnt est alors calculée par combinaison des points du référentiel et des points de localisation utilisés pour la construction du modèle (Elith *et al.* 2011).

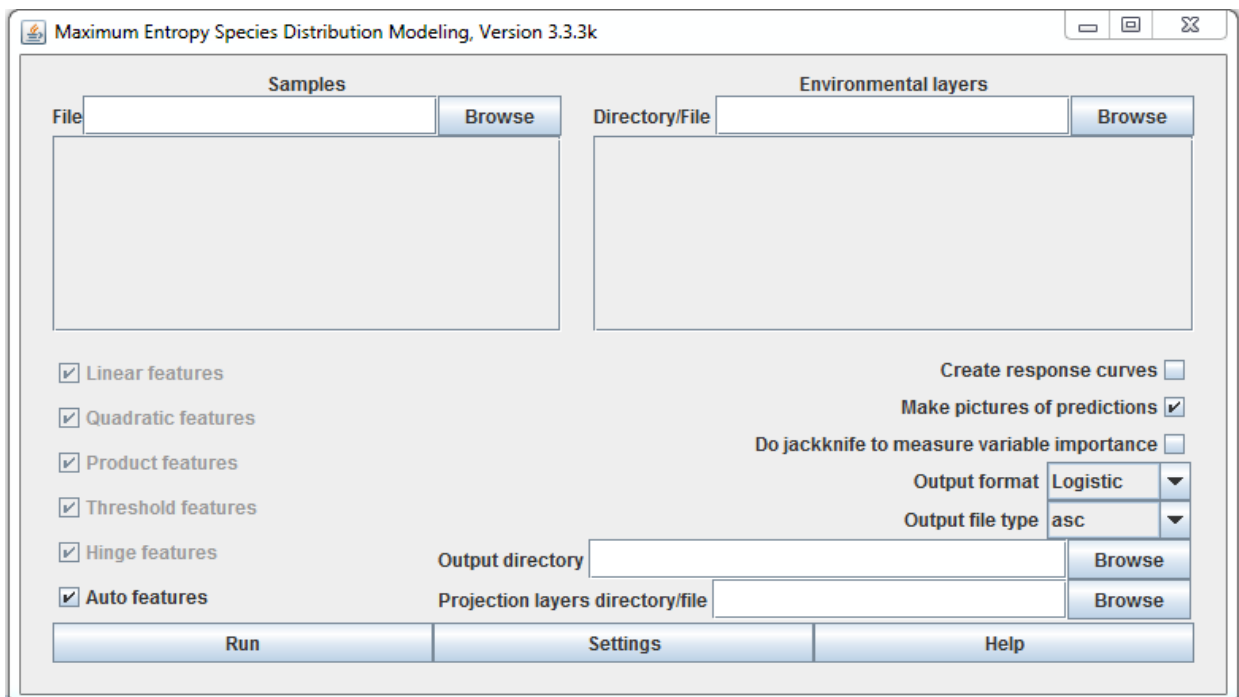


Figure 4 : Interface principale du logiciel MaxEnt

# *Chapitre II*

## *Matériels et méthodes*

## 1. Collecte des données

### 1.1. Données de présence de l'espèce

La démarche consiste en une collecte de données (observations et recherche documentaire), en se basant sur les travaux de Maire (1926) et Quézel (1974) conduits sur les chênes caducs, on a délimité la zone où le chêne afarès a été signalé.

À l'arrivée sur le terrain de chaque site potentiellement favorable, des prospections et des observations sont réalisées au niveau du milieu forestier proprement dit et cela pour noter la présence/absence de l'espèce.

Les données d'occurrence liées à *Quercus afares* ont été tirées de plusieurs sources en partie prises à l'aide d'un GPS, à partir de cartes de végétation récupérées auprès des différentes conservations des forêts, des polygones de certaines régions réalisés à partir de Google Earth avec la collaboration de forestiers et de chercheurs travaillant sur l'espèce, et d'autres coordonnées récupérées à partir des mémoires, de thèses et d'articles. Afin de maximiser la précision des résultats de la modélisation de leur distribution, il est recommandé de veiller à ce que les données de présence (coordonnées) de l'espèce étudiée couvrent le plus possible les régions où elles sont influencées par les mêmes facteurs climatiques. De ce fait, les coordonnées de présence de cette espèce hors du milieu d'étude, mais dans les mêmes zones climatiques couvertes, ont été collectées à travers son aire de distribution en Algérie et en Tunisie.

Des bases de données de biodiversité en ligne telles que le GBIF (Global Biodiversity Information Facility : <http://www.gbif.org/>) ont été explorées mais pas tenues en compte vu l'incertitude des données d'occurrences (coordonnées).

La collecte des données liées aux coordonnées des points d'occurrence de cette espèce a été effectuée du mois de février jusqu'au mois de mai 2018. Les points de contact de cette espèce sur le terrain sont pris au niveau des forêts de chêne afarès. Des coordonnées de l'espèce issues de l'inventaire forestier dans les forêts de l'Akfadou et Beni Ghebri, de Jijel, des Babors (Aokas et Kafrida), le peuplement forestier de Collo à Skikda et la forêt de Djbel Dyr à Taref jusqu'à Souk Ahras ont été exploitées à cet effet, tandis que les coordonnées de présence en Tunisie ont été citées par des auteurs dans leurs travaux tels que Mir (2006), Mhamdi (2014) et Mannai (2017). Le tableau 2 résume les sources des données de présence de *Quercus afares*.

**Tableau 2:** Tableau récapitulatif des sources de données de présence de l'espèce

Région	Forêt	Formes de données
Bejaia	Aokas et Kafrida	19 points pris par GPS
	Akfadou	Polygone sur Google Earth
Tizi Ouzou	Beni Ghebri	Polygone sur Google Earth
	Tamgout	Polygone sur Google Earth
Jijel	Guerrouche	Carte géoréférencée puis digitalisée
	Tahir	9 points pris par GPS
	Erraguene	8 points pris par GPS
	Djimla et Tamentout	7 points pris par GPS
Skikda	Collo	14 points pris par GPS
El Taref	Djbel Dyr	3 points pris par GPS
Souk Ahras	Ain Zana	3 points pris par GPS
Tunisie	Ain Zena	Polygone réalisé à partir de thèses doctorales

### 1.2. Données environnementales

Les 20 variables environnementales (19 variables bioclimatiques et 1 variable topographique) obtenues à partir de la base des données Worldclim (<http://worldclim.org/>), ayant toutes une résolution de 1 km<sup>2</sup> (Hijmans et al. 2005)

Les variables bioclimatiques sont dérivées des valeurs mensuelles de température et de précipitations afin de générer des variables plus significatives sur le plan biologique. Celles-ci sont souvent utilisées dans la modélisation de la distribution des espèces et dans les techniques de modélisation écologique associées. Les variables bioclimatiques représentent les tendances et les facteurs environnementaux extrêmes. Elles sont codées comme suit:

**Tableau 3:** Les variables climatiques (<http://worldclim.org/>).

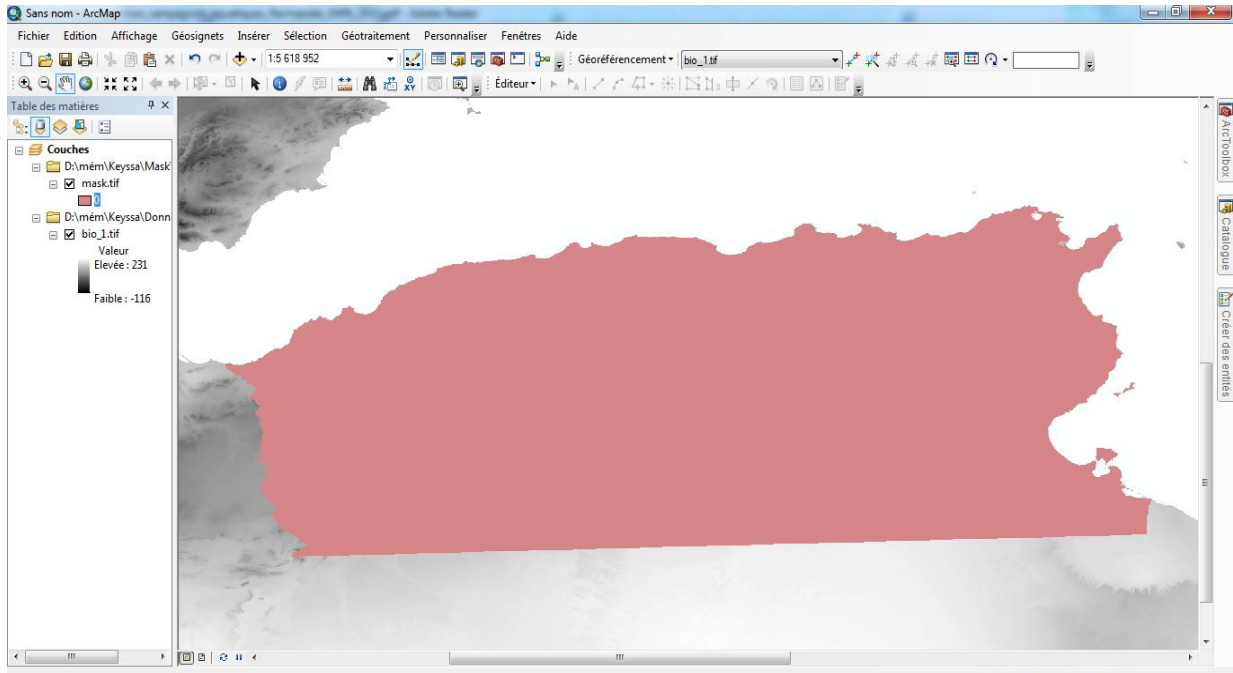
ID	Variabes
BIO1	Température moyenne annuelle
BIO2	Amplitude thermique (moyenne mensuelle (temp max - temp minimum))
BIO3	Isothermalité (BIO2 / BIO7)*100)
BIO4	Saisonnalité de la température (écart type *100)
BIO5	Température maximale du mois le plus chaud
BIO6	Température minimale du mois le plus froid
BIO7	Fourchette annuelle de température (BIO5-BIO6)
BIO8	Température moyenne du trimestre le plus humide
BIO9	Température moyenne du trimestre le plus sec
BIO10	Température moyenne du trimestre le plus chaud
BIO11	Température moyenne du trimestre le plus froid
BIO12	Précipitations annuelles
BIO13	Précipitation du mois le plus humide
BIO14	Précipitation du mois le plus sec
BIO15	Saisonnalité des précipitations (coefficient de variation)
BIO16	Précipitations du trimestre le plus humide
BIO17	Précipitations du trimestre le plus sec
BIO18	Précipitations du quartier le plus chaud
BIO19	Précipitations du trimestre le plus froid
Alt	Altitude

### 1.3. Masque géographique

Afin de limiter l'étendue de la modélisation et d'améliorer les prédictions, il peut être intéressant d'utiliser des masques d'analyse.

Cette étape nous permet de réduire les zones à modéliser à notre zone d'intérêt et de définir toutes les couches avec la même étendue, la même taille de cellule et le même système

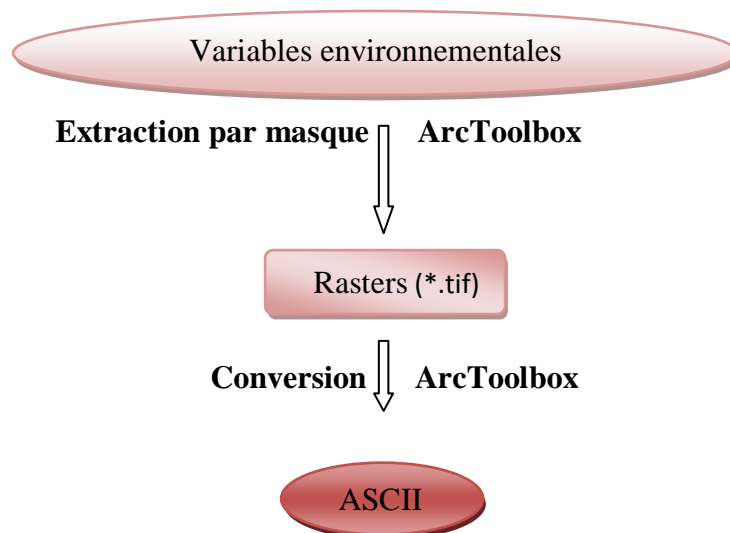
de coordonnées. Cette étape peut également être utilisée pour définir l'étendue, la taille de la cellule et le système de coordonnées si les couches environnementales sont déjà découpées (Dudik & Phillips, 2008).



**Figure 5** : Découpage du masque géographique

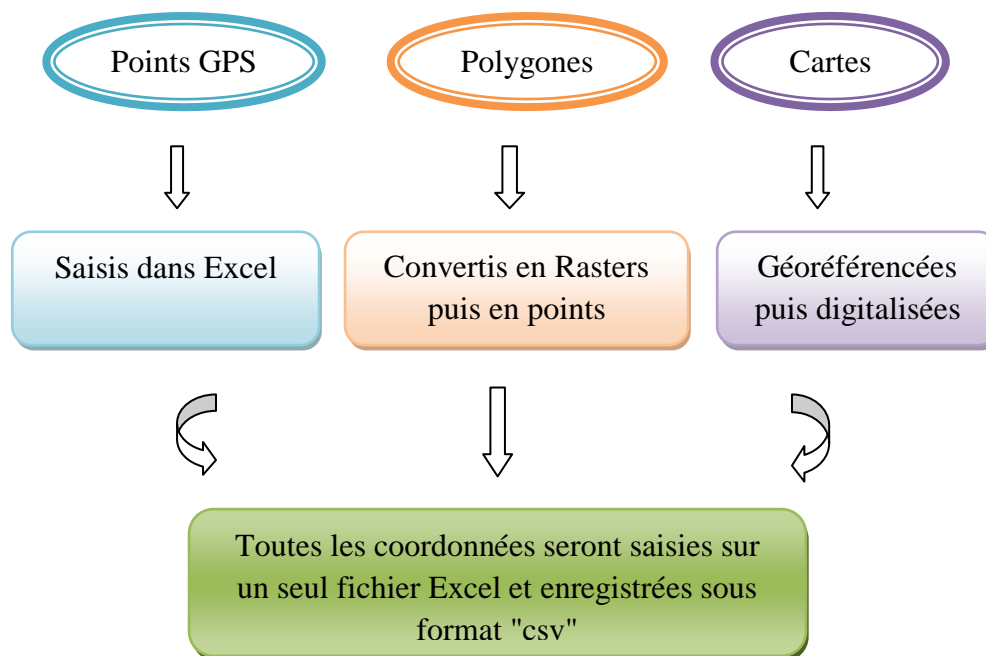
## 2. Traitement des données

Les données environnementales devront aussi être découpées selon le même périmètre du site d'étude (Nord algérien et tunisien) pour que chaque donnée ait strictement le même nombre de pixels en entrée des modèles (fig. 6), elles seront alors toutes converties d'une extension ESRI à une extension ".tif" à la résolution d'étude et dans un même système de projection. Puis elles seront converties sous format ASCII. Toutes ces opérations ont été faites à l'aide du logiciel Arc Gis.



**Figure 6:** Traitement des variables environnementales

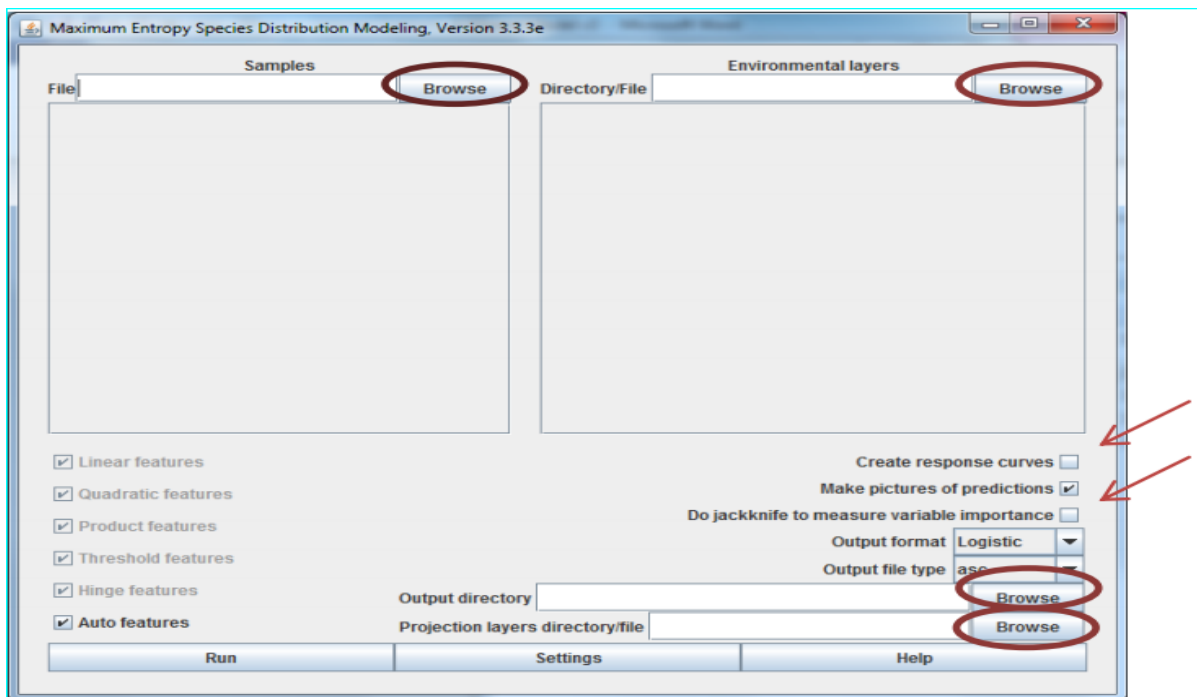
Une fois les points d'occurrence du chêne afarès sont récoltés du terrain (points GPS) et des différentes sources (polygones, cartes), on a procédé aux différentes opérations de traitement pour pouvoir rassembler toutes les coordonnées dans un seul fichier en format "csv" que le logiciel MaxEnt utilisera pour générer le modèle. Tout d'abord on convertit les polygones en rasters avec ArcToolbox, puis en points et on termine en combinant les points de présence issus des polygones. Pour les cartes on doit d'abord les géoréférencer avec l'outil "géoréférencement" puis les digitaliser avec l'outil " éditeur", on récupère les points de présence de la table attributaires des cartes traitées. Pour en finir avec les points d'occurrence, on saisit les coordonnées pris sur terrain avec le GPS sur une feuille Excel avec le nom de l'espèce, et on combine à ce fichier tous les points qu'on a récupéré des cartes et polygones. On enregistre le fichier Excel sous format "csv". La figure 7 résume ces opérations.

**Figure 7:** Traitements des points de présences de *Quercus afares*

### 3. Calcul du modèle par MaxEnt

Pour commencer, on fait appel au fichier des localités de présence dans format .csv. Ensuite, on doit fournir les couches environnementales utilisées pour le modèle. Ce sera le dossier contenant toutes nos couches environnementales au format ASCII avec les mêmes limites géographiques, la même taille de cellule et le même système de projection. Un dossier de sortie doit également être sélectionné. Ce sera le dossier où toutes les sorties MaxEnt seront stockées.

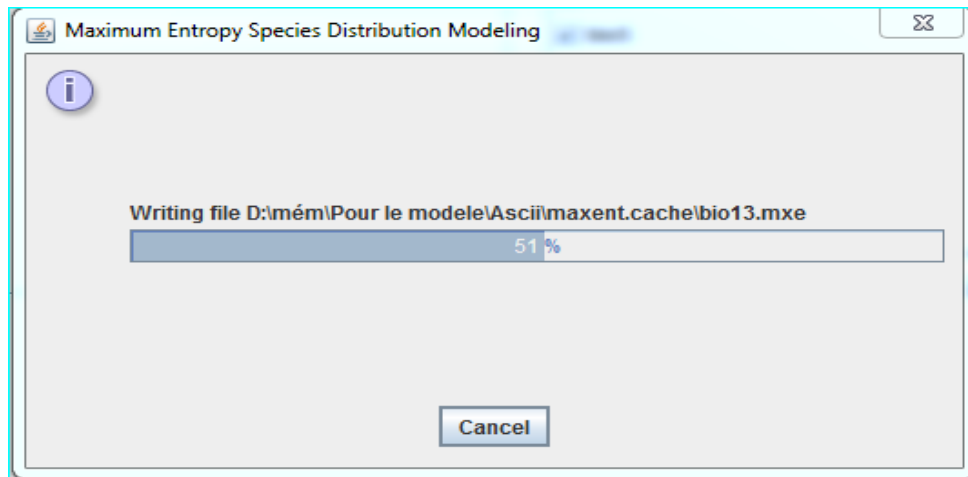
Il faut s'assurer que les options; Créer des courbes de réponse, Créer des images de prédictions, sont toutes cochées (flèches sur la fig. 7). On laisse la case fonctions automatiques cochée et le format de sortie en tant que logistique et le format de sortie. Type de fichier en tant que .asc.



**Figure 8** : Différentes étapes à suivre sur MaxEnt

MaxEnt permet d'exécuter un modèle plusieurs fois, puis de faire la moyenne des résultats de tous les modèles créés. L'utilisation de cette fonctionnalité, combinée à la retenue d'une certaine partie des données à des fins de test, permet de tester les performances du modèle tout en exploitant toutes les données disponibles sans disposer d'un ensemble de données indépendant. L'exécution de plusieurs analyses fournit également un moyen de

mesurer l'ampleur de la variabilité dans le modèle. Pour définir les réplicas dans MaxEnt, aller à Settings et fixer le nombre de réplications qu'on désire avoir.



**Figure 9** : Exécution du modèle MaxEnt

#### 4. Évaluation du modèle

- **L'AUC**

La robustesse du modèle est testée par la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic), l'AUC (Area Under Curve) correspond à l'aire en dessous de la courbe exprimant le rapport entre la sensibilité et la spécificité du modèle (ROC). Plus cette aire, comprise entre 0 et 1, La valeur d'AUC pour un modèle aléatoire est de 0,5. La sensibilité correspond au nombre de pixels « présents » dans la réalité qui sont aussi prédits comme « présents » par le modèle. La spécificité est le nombre de pixels « absents » dans la réalité et prédits par le modèle. Des valeurs d'AUC comprises entre 0,5 et 0,7 correspondent à des modèles mauvais à médiocre, entre 0,7 et 0,8 à des modèles corrects, et respectivement entre 0,8 et 0,9 puis 0,9 et 1 à de bons puis très bons modèles (Phillips et Dudaík, 2008).

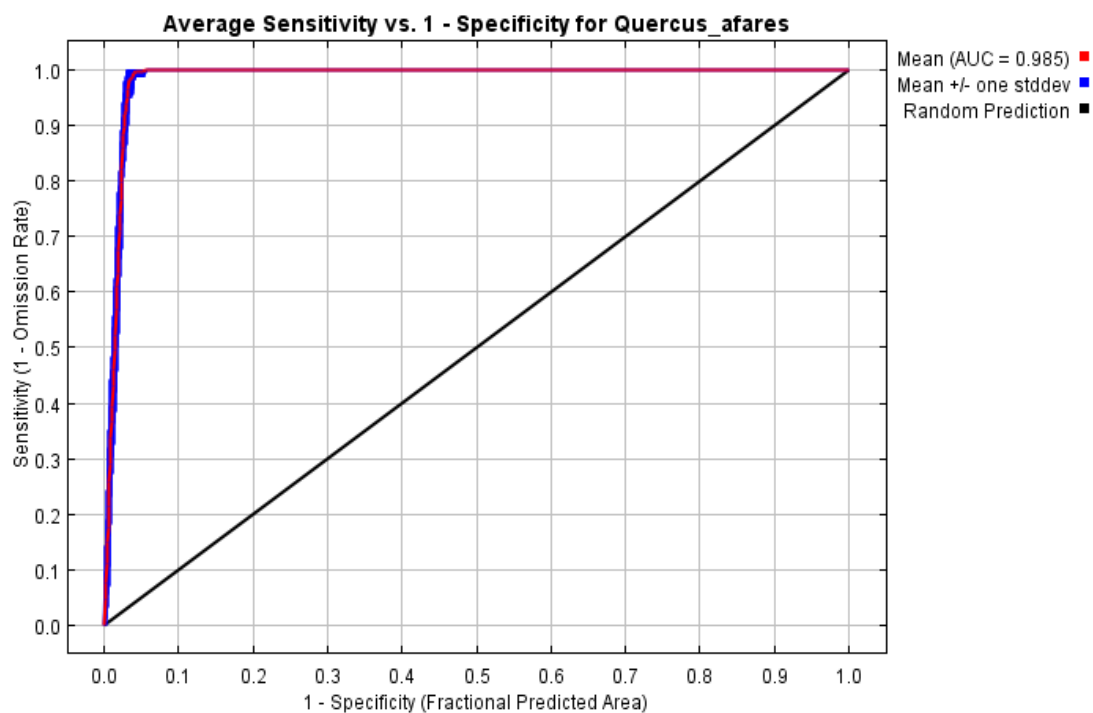
# *Chapitre III*

## *Résultats et discussions*

## 1. Evaluation du modèle

Pour évaluer la qualité du modèle produit par MaxEnt, nous avons analysé la fonction d'efficacité du récepteur (Courbe ROC: Receiver Operating Characteristic) qui attribue une valeur unique en fonction de la performance du modèle (AUC : Area Under the Curve) (fig. 10). Ainsi, l'analyse ROC évalue la capacité du modèle à prédire correctement l'occurrence de l'espèce. En effet, plus la valeur d'AUC est proche de un, plus on est éloigné d'un modèle aléatoire (Phillips et al. 2006).

Le modèle de distribution géographique potentielle produit par MaxEnt pour *Quercus afares* s'est montré précis (AUC = 0,988), ce qui indique la robustesse de la modélisation effectuée. Il a aussi permis de prédire de nouveaux espaces où l'espèce pourrait être recherchée.



**Figure 10:** Courbe Caractéristique d'Opération (ROC)

## 2. Contribution des variables

Sept variables, dont les précipitations (Bio12, Bio 13, Bio18 et Bio16), l'altitude et les températures (Bio9 et Bio5) avaient une contribution supérieure à 90% au modèle. Les

variables contributives ont expliqués 35% de la variance totale et ont donc été identifiées comme les principaux facteurs affectant la distribution spatiale de *Quercus afares*. Ceci témoigne de l'importance de ces variables pour la distribution du chêne afarès et concorde avec la littérature qui a délimité son aire de répartition (Emberger, 1939; Messaoudene, 1991).

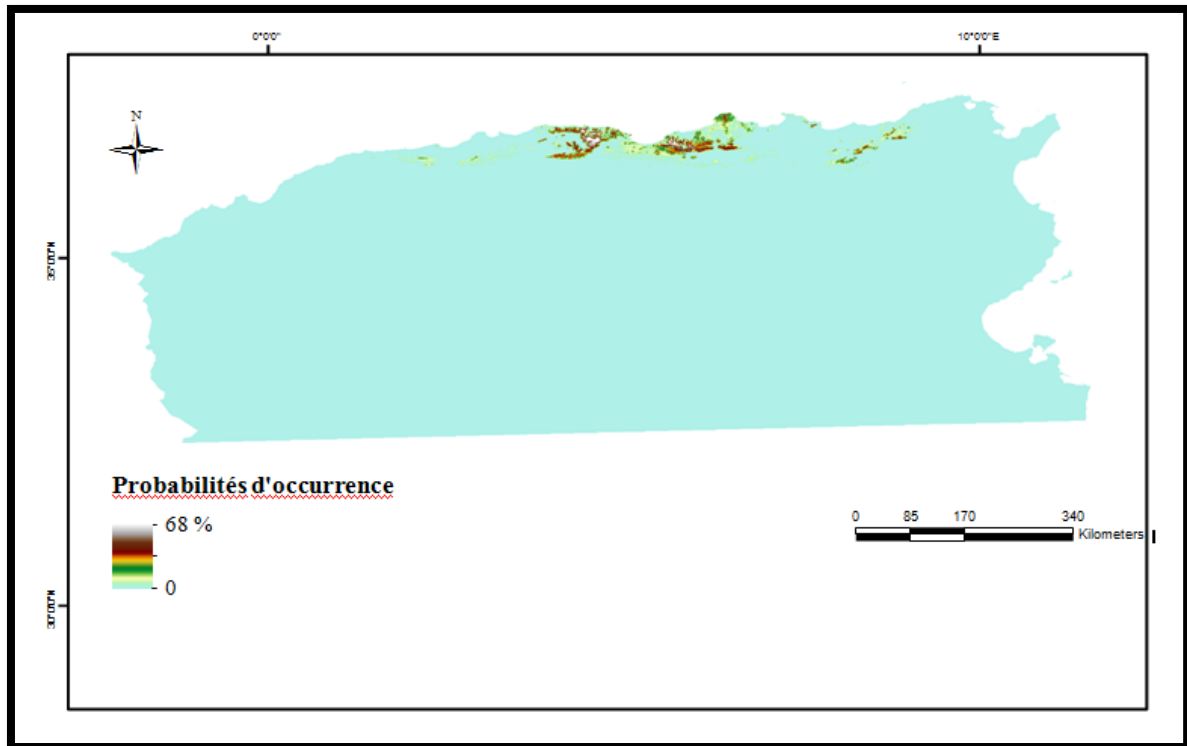
**Tableau 4:** Contribution et importance des variables retenues pour le modèle de *Quercus afares*

Variables	% de contribution
Bio 12	77
Bio 09	5,6
Bio 13	2,6
Alt	2,5
Bio 16	2,3
Bio 05	2,3
Bio 18	1,5

La contribution de la variable "Altitude" à la prédiction du modèle est significative, et elle concorde avec les résultats obtenus par les études menées par Quézel, 1956; Boudy, 1950, et Maire, 1961. Les milieux situés à haute altitude représentent des zones thermiquement froides et souvent exposées à de basses températures et offrent des précipitations importantes (Emberger, 1939).

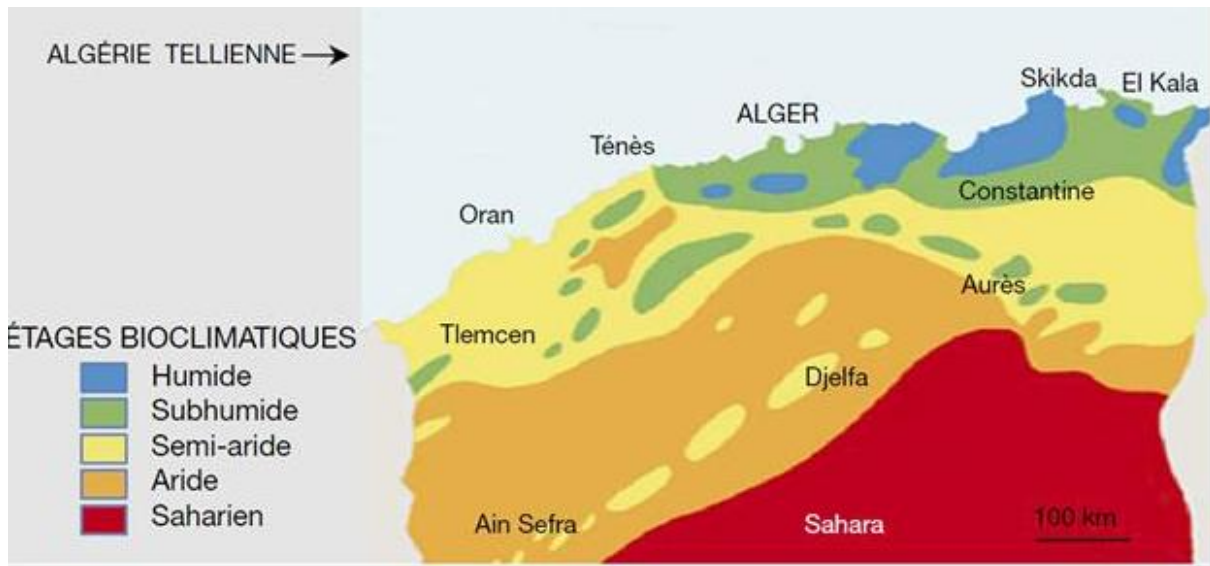
### 3. Aire potentielle prédite du chêne afarès

Le modèle développé par MaxEnt a permis de générer une carte moyenne issue de 10 répétitions. Cette dernière a été exportée vers ArcGIS en lui associant un système de coordonnées (GCS\_WGS\_1984). La carte représente la distribution potentielle de *Quercus afares* en Algérie et en Tunisie dans les conditions climatiques actuelles avec une échelle continue de probabilité d'occurrence variant de 0 à 1 (Fig. 11). Cette distribution spatiale prédite du chêne afarès confirme l'affinité de cette espèce pour la zone du Nord-est algérien et de l'extrême Ouest tunisien, et concorde avec la bibliographie existante. L'aire potentielle prédite est plus vaste que l'aire réelle (Fig. 11).



**Figure 11:** Distribution potentielle prédite de *Quercus afares*

Sur la carte des étages bioclimatiques d'Algérie (Stewart, 1974) (fig. 12), on remarque que la distribution de cette espèce suit les étages bioclimatiques humides et subhumides c'est-à-dire que la distribution de *Quercus afares* suit les régions les plus arrosées, étant donné que les précipitations annuelles est la variable qui contribue le plus à la distribution de cette espèce et qui détermine les régions les plus arrosées, il apparait clairement que les zones prédites comme très favorables pour l'espèce sont incluses ou se limitent principalement à l'étage bioclimatique humide.

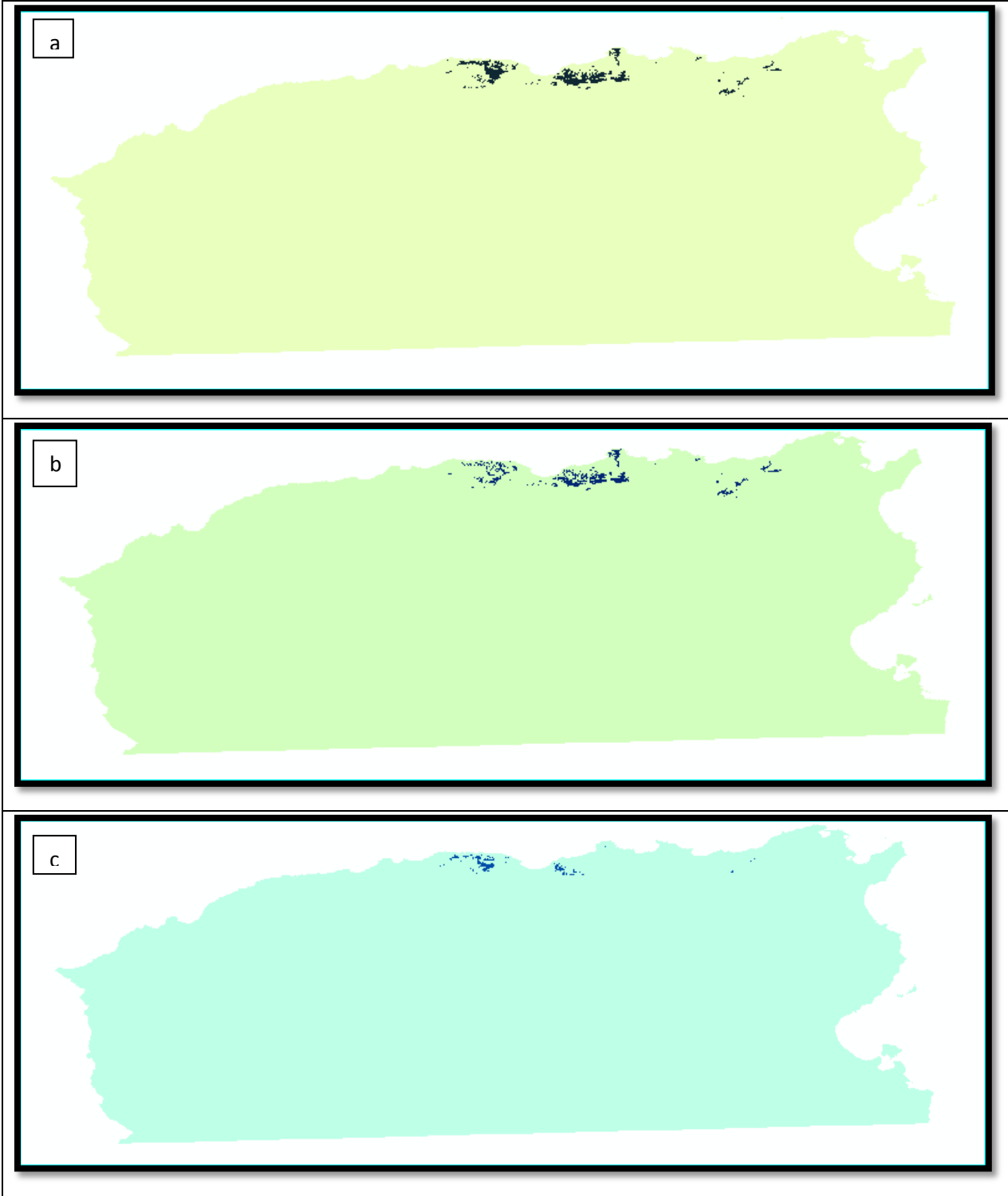


**Figure 12:** Contexte bioclimatique de l'Algérie Tellienne selon Stewart (1974).

Afin de simplifier l'interprétation de la distribution potentielle prédite, nous avons procédé au seuillage de la carte résultante selon trois classes de probabilités (Faibles 0 - 23 %, moyennes 23 - 46 % et fortes > 46%).

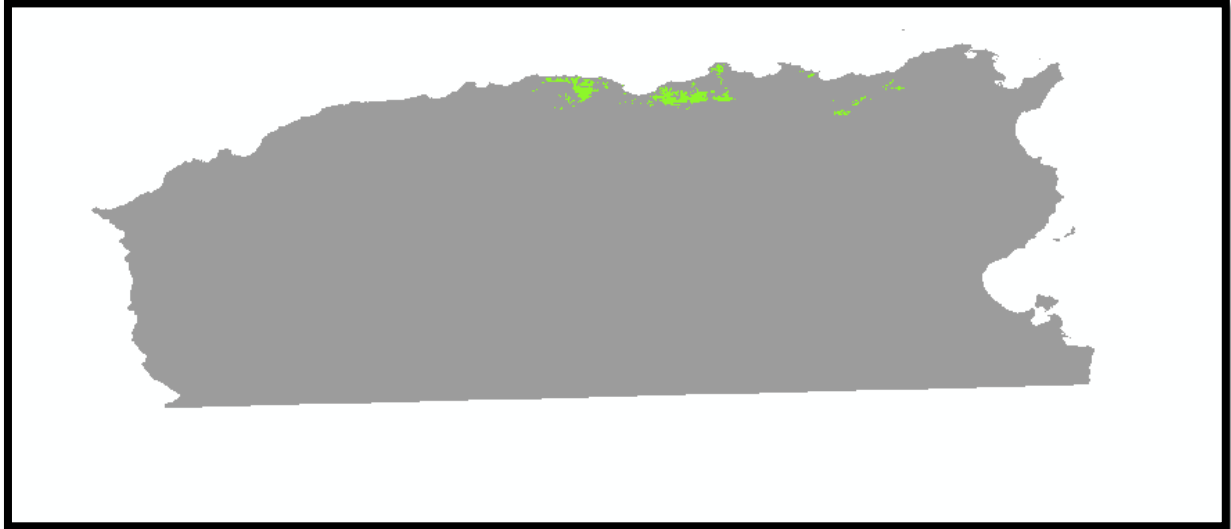
La carte à faible probabilité (fig. 13-a) présente la surface la plus importante de l'étendue de l'aire potentielle, cette étendue diminue légèrement dans la seconde carte (fig. 13-b) dont les probabilités sont moyennes puis diminue encore dans la troisième carte (fig. 13-c), celle des probabilités fortes.

Le premier seuil permet de séparer la zone où l'environnement est défavorable à l'espèce des deux zones favorables. Ce seuil est la plus petite valeur de probabilité calculée pour un pixel de présence réelle. Choisir ce seuil permet d'inclure 100% des pixels de présence réelle dans les zones où l'environnement est favorable ou très favorable au taxon. Le second seuil sépare la zone favorable de la zone très favorable afin d'inclure une nuance dans la zone propice. Ce seuil correspond à la valeur de probabilités de présence calculée excluant de la zone adéquate 5% des pixels de présence réelle. La zone très favorable inclut ainsi 95% des pixels de présence réelle ce qui écarte les 5% les plus marginaux. La zone favorable présente les 5% restants, correspondant aux plus faibles valeurs prédites par le modèle pour les localités de présence.



**Figure13:** Distributions de *Quercus afares* selon les classes de probabilité

La figure 14, représente la distribution potentielle finale du chêne afarès selon les deux classes de probabilité; moyennes et fortes, c-à-d que nous avons adopté un seuil de 23%, ce qui correspond aux zones favorables et fortement favorables.



**Figure 14:** Distribution selon 2/3 de seuil de probabilité des classes

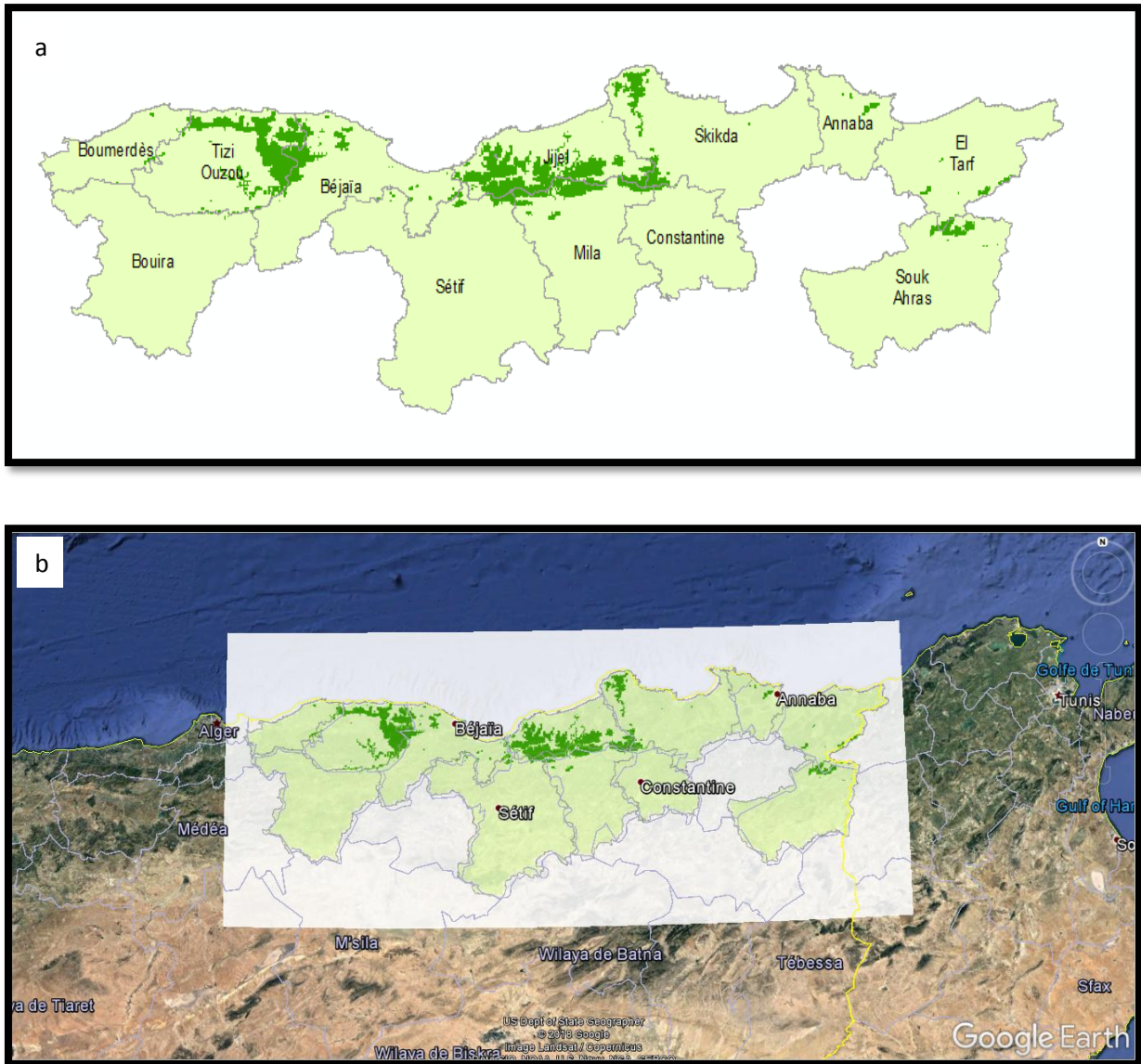
### **5. Superposition de la distribution potentielle finale au découpage administratif de l'Algérie**

La figure 15-a montre le chevauchement de la distribution de l'espèce avec les wilayas où se focalise cette dernière. Le modèle prévoit la présence du chêne afarès dans la région nord centrale de l'Algérie comprenant les régions suivantes: Boumerdés, Tizi Ouzou, Bejaia, Bouira, Jijel, Sétif, Annaba, Constantine, Mila, Skikda, Souk Ahras et El Taref, et qu'à chaque fois qu'on se rapproche vers le sud de la zone d'étude les zones favorables régressent.

La distribution potentielle de *Quercus afares* occupe bien évidemment les étages bioclimatiques humide et subhumide, et elle s'accroît sur deux grandes parties; la première comprend la wilaya de Tizi Ouzou, et une petite partie de l'est de la wilaya de Bejaia et la deuxième partie comprend l'ouest de la wilaya de Bejaia, la wilaya de Jijel et Skikda, Sans oublier la partie de l'extrême est de l'Algérie jusqu'à l'ouest de la Tunisie. Les sites cités sont liés à des situations où les conditions environnementales sont favorables pour l'espèce.

- **Superposition de la distribution potentielle finale aux données de Google Earth**

La carte de la distribution potentielle finale superposée aux données de Google Earth (fig. 15-b) nous permet de reconnaître les endroits où l'espèce est déjà présente et là où elle pourra y exister, ainsi que les endroits urbanisés ou déjà occupés par d'autres espèces ou même ceux qui forment des reliefs qui ne peuvent être reboisés tel que les talwegs et les cours d'eau.



**Figure 15:** Superposition de la carte de l'aire potentielle prédite

## 6. Intérêt pour la conservation de *Quercus afares*

Nos résultats peuvent fournir un point de départ utile dans les stratégies de conservation tout d'abord, étant donné que l'espèce est une endémique algero-tunisienne, elle présente une richesse de l'écosystème, une espèce à protéger avant tout. La carte de probabilité de présence de *Quercus afares* peut fournir un outil de réflexion pour aider la prise de décision en vue d'une gestion raisonnée et durable de l'espèce. Ainsi, les zones prédites comme hautement favorables, mais actuellement non occupées, peuvent être retenues pour un reboisement.

*Conclusion*

*Générale*

## Conclusion

La modélisation de la niche écologique des espèces est aujourd'hui facilitée par le développement de méthodes statistiques adaptées à différents types de situation et par la disponibilité croissante de bases de données environnementales. Dans notre cas nous avons utilisé l'une des méthodes de modélisation de niche écologique des espèces « Maximum Entropy (MaxEnt) ».

L'objectif principal de notre travail était de prédire l'aire potentielle du chêne afarès ainsi que d'explorer l'effet de certaines variables bioclimatiques et topographiques sur la distribution géographique de l'espèce, les habitats potentiels et les préférences écologiques pour le chêne afarès à l'échelle régionale (nord algérien et tunisien). A travers les résultats issus de la modélisation de la niche écologique, les variables identifiées comme étant des variables clés sont les précipitations (Bio12, Bio 13, Bio18 et Bio16), l'altitude et les températures (Bio9 et Bio5). La variable partageant le rapport le plus fort avec la distribution de l'espèce étudiée est Bio 12 qui a une grande importance.

L'analyse de l'aire de distribution potentielle prédite sur le nord algérien et tunisien pour le chêne afarès montre que l'espèce suit l'étage bioclimatique humide qui est caractérisé par un taux élevé de précipitations et d'humidité des hautes montagnes comme elle peut aussi se développer dans l'étage bioclimatique subhumide.

La superposition de la carte de la distribution prédite de *Quercus afares* avec la carte de découpage administratif de l'Algérie a permis de mettre en évidence les wilayas concernées par cette distribution (notamment par les valeurs moyennes et élevée de probabilités)

Une plantation comparative d'un sous-échantillon des populations de *Quercus afares* (reboisement), choisies sur un plan croisant les contraintes climatiques et locales d'origine, pourrait être mise en place. Cela permettrait de tester la performance du modèle généré, d'élargir la superficie des forêts à chêne afarès et de vérifier s'il existe une différenciation génétique des populations en fonction du degré de contrainte climatique.

Nos perspectives majeures sont liées au maintien de la biodiversité et les processus écologique en protégeant les habitats. Ainsi ils convient de;

- Intégrer plus de variables environnementales abiotiques et biotiques dans le processus de modélisation, afin d'améliorer les prédictions.

- Organiser des campagnes de prospection dans les zones prédites comme étant favorables pour l'espèce.
- Prendre en considération la carte de distribution potentielle prédite de l'espèce à des fins de reboisement et de conservation.

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

# *Bibliographie*

**Références bibliographiques**

1. **Alatou D**, 1984. Facteurs physiologiques de la concurrence interspécifiques du chêne liège et du chêne zeen. Thèse. Magister en Ecologie végétale. Univ. Constantine. 123 p.
2. **Amitouche. F.** 1998. Contribution à l'étude écodendrométrique de la formation caducifoliée à Q. afares Pomel de Beni Ghobri. P 55.
3. **Anderson, J.** 1892. On a small collection of mammals, reptiles and batrachians from Barbary. Proc. Zool
4. **Antunes, N.** 2015. Application d'algorithmes prédictifs à l'identification de niches éco culturelles des populations du passé: approche ethnoarchéologique.
5. **Baldwin, R. A.** 2009. Use of maximum entropy modeling in wildlife research. Entropy, 11(4), 854–866.
6. **Berriah A**, 2015. Les reboisements de chêne liège dans l'Ouest Algérien: bilan et perspectives d'amélioration. Thèse magister, univ Abou Bakr Belkaïd, Tlemcen.126p.
7. **Bouacem. A & Hammoutene. S.** 1992. Etude des facteurs limitant la régénération par rejets de souche de Q. canariensis Willd et Q. afares Pomel dans l'Akfadou. P 46.
8. **Boudy P**, 1959. Guide du forestier en Afrique du Nord. La Maison Rustique, Paris, pp 172–184
9. **Boudy P.** 1952. Guide du forestier en Afrique du Nord. La maison rustique. Paris 505p.
10. **Boudy P.**1950. Economie forestiere Nord Africaine Tome II. Monographie et traitement des essences forestieres Fascules. I, 505p.
11. **Camus A.** 1936-54. Les Chênes: Monographie du genre Quercus, P. Lechevalier, Paris
12. **Camus A.** 1938. Les Chênes: Monographie du genre Quercus. Tome II: Genre Quercus
13. **Dautrebande G**, 1989. Étude anatomique et technologique de Quercus afares Pomel de Grande Kabylie (Algérie). Mémoire ingénieur, université de Louvain, Belgique, 87 p.
14. **Efron, B.** 1982. The jackknife, the bootstrap, and other resampling plans. Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics.
15. **Elith J and. Leathwick J R**, 2009. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.40:677-697.
16. **Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., & Zimmermann, N**, 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography, 29(2): 192-151.,
17. **Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C.J**, 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Diver. Dist, 17(1): 43-57.
18. **Ferrier. S**, 2002. Extended statistical approaches to modelling spatial pattern in biodiversity in northeast New South Wales. II. Community-level modelling. Biodiversity & Conservation, Volume 11, Issue 12, pp 2309–2338

## Références bibliographiques

19. **Fontes L**, 2010. Models for supporting forest management in a changing environment (<http://www.inia.es/Forestsystems>)
20. **Franklin, J.** 2009. Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction. Cambridge Univ Press, 338pp.
21. **Gausсен H.**, 1954. - Théorie et classification des climats et microclimats. VII Congo Int. Bot. Paris. 125-130
22. **Grinnell, J.** 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk*, 34(4): 427-433.
23. **Guisan, A., & Wilfried, T.** 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecol. Lett*, 8(9): 993-1009.
24. **Guisan, A., & Zimmermann, N.E.**, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Mod.*, 135(2): 147-186.
25. **Haddadou J.** .Étude comparative de quelques caractéristiques chimiques, physiques et Mécaniques du bois de deux espèces de chêne (*Q. canariensis* et *Q. afares*)
26. **Hasnaoui. B.** 1992. Chênaies du nord de la Tunisie: Ecologie et régénération. Thèse Université de Provence Aix –Marseille I, 202p.
27. **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.
28. **Hirzel. A., & Le Lay. G.**, 2008. Habitat suitability modelling and niche theory. British Ecological Society.
29. **Hmmami R.**, 1985. Exposé de lutte intégrée: La lutte intégrée en forêt de chêne liège. Inst. Nat. d'Agro. d'El-Harrach, 14p
30. **Hutchinson, E., & Yates, P.** 1957. Carotico-vertebral stenosis. *The Lancet*, 269(6958): 2-8. In *Proc. Zool. Soc. London*, 1892: 3-24
31. **Irmouli. M & Skendraoui.M.**, 1991. Contribution à l'établissement des tarifs de cubage de *Q afares* Pomel. et *Q canariensis* Willd dans l'Akfadou. p 78.
32. **Kearney, M., & Porter, W.**, 2009. Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' range. *Ecol. Lett*, 12(4): 334–350.
33. **Kremer. A.**, 2002. Identification of refugia and post –glacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence. *Forest Ecology and Management* 156:49-74
34. **Laifaoui. R.**, 1995 : Rythme de croissance et action de la lumière sur les chênes afarès (*Quercus afares* Pomel.) et zeen (*Quercus mirbikii* Durieu). *Mém. Ing. Etat. Ecol. Univ. Constantine.* 68 p.
35. **Lauzeral, C.**, 2012. Prédiction du potentiel d'invasion des espèces non natives par des modèles de niche : approches méthodologiques et applications aux poissons d'eau douce sur le northwestern Africa during the Late Pliocene: the pollen record of ODP Site 658. *Palaeogeog. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 109(2): 295-316.
36. **Leriche A.**, 2010. Introduction à la modélisation de la distribution des espèces. ECCOREV
37. **Maire. R.**, 1961. Flore de l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie, Tripolitaine, Cyrénaïque et Sahara). Ed Paul Lechevalier 7:117–120

## Références bibliographiques

38. **Mannai Y, Olfa E, Hausmann A, Dit, Ben Jamâa M**, 2017. Phénologie des bourgeons et utilisation de l'hôte par *Operophtera brumata* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Geometridae) chez trois espèces de chêne méditerranéen. *Annals of Forest Science*, Springer Verlag/EDP Sciences, 2017, 74 (1), pp.3.
39. **Meddahi F**, 1999. Contribution à l'étude de l'action "In vitro" d deux Basidiomycètes sur le bois de *Quercus afares*: aspects qualitatifs et quantitatifs. Mémoire ingénieur. Département scs biologiques et agronomiques, Univ Tizi Ouzou, 32 p.
40. **Meddour. R**, 2010. Bioclimatologie, Phytogéographie et Phytosociologie en Algérie : Exemples des groupements forestiers et pre forestiers de la Kabylie Djurdjurenne. Thèse d'Etat en Sciences Agronomique.461p.
41. **Medjmadj. A**, 2014. Biologie des chênes algériens. Thèse de Magister, Univ Constantine. 128 p
42. **Messaoudène. M, Tessier. L**, 1997. Relations cerne-climat dans des peuplements de *Quercus afares* Pomel et *Quercus canariensis* Willd. en Algérie. *Ann For Sci* 54:347–358
43. **Mhamdi. S, Brendel. O, Montpied. P, Ghouil-Amimi. H, Hasnaoui. I, & Dreyer. E**,2013. Leaf morphology displays no detectable spatial organisation in the relict *Quercus afares* Pomel compared to the co-occurring parental species *Q. canariensis* Willd. and *Q. suber* L: *Science*, Springer Verlag / EDP Sciences, 2013, 70 (7), pp.675-684.
44. **Mhamdi. S**, 2014. Caractérisations morphologique, écologique et écophysiological d'une espèce endémique en voie d'extinction; le Chêne afares (*Quercus afares* Pomel) en Tunisie compare aux chênes liege (*Quercus suber* L.) et zeen (*Quercus canariensis* Willd.)
45. **Mir C, Toumi L, Jarne P, Sarda V, Di Giusto F, & Lumaret R** ,2006. Endemic North African *Quercus afares* Pomel originates from hybridisation between two genetically very distant oak species (*Q. suber* L. and *Q. canariensis* Willd.): evidence from nuclear and cytoplasmic markers. *Heredity* 96:175–184
46. **Phillips, S. J., Dudík, M**, 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography* 31: 161–175.
47. **Phillips, S.J., Anderson, R.P., & Schapire, R.E**, 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Mod*, 190(3): 231-259
48. **Phillips, S.J., Dud'ík, M., & Schapire, R.E**, 2004. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. In: *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*. ACM Press New York, 655-662.
49. **Quezel P, Bonin G**, 1980. Les forêts feuillues du pourtour méditerranéen : constitution, écologie, situation actuelle, perspective. *Rev For Fr* XXXII: 253–268
50. **Quezel P, Santa S**, 1962. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed du Cent Nat de la Rech Sci (CNRS) 1:264–266
51. **Rabhi K**, 2011. Ajustement de modèles hauteur – circonférence – âge pour le chêne zeen (*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d'Akfadou (Tizi ouzou); effet de la densité et de la station. Thèse de magister. Département de l'agronomie et des forêts, Université de Tlemcen.67p.

## *Références bibliographiques*

52. **Romuald**, 2007. Dans le monde Où trouver le genre Quercus ? Publié le lundi 26 février 2007.
53. **Seigue, A**, 1985. La forêt circumméditerranéen et ses problèmes (463 p.). Paris: Maisonneuve. Larose
54. **Svenning JC, Skov F**, 2004. Limited filling of the potential range in European tree species Ecology Letters 7 (7), 565-573
55. **Warren DL, Seifert SN**, 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. Ecol Appl
56. **Welter S, Bracho-Nunez A, Mir C, Zimmer I, Kesselmeier J, Lumaret R, Schnitzler J P, Staudt M**, 2012. The diversification of terpene emissions in Mediterranean oaks: lessons from a study of Quercus suber, Quercus canariensis and its hybrid Quercus afares. Tree physiology 32, 1082–1091. doi:10.1093/ tree physiology/tps069

### **Webographie :**

<http://worldclim.org/>

<http://www.conservation-nature.fr>

<http://www.gbif.org/>

<http://www.hacharate-dz.info/?page=la-tordeuse-verte-du-chene.php>

<https://www.gbif.org/tool/81279/maxent>

## Résumé

La conservation et la gestion des espèces endémiques, impose la connaissance de leurs aires de distribution potentielle et des facteurs environnementaux conditionnant ces répartitions. Ce travail vise la prédiction de l'aire potentielle ainsi que l'identification des facteurs bioclimatiques et topographiques affectant la répartition géographique de *Quercus afares* via le recours à une technique de modélisation de la niche écologique des espèces (SDMs). 19 variables bioclimatiques et une variable topographique ont été utilisés pour calculer le modèle. L'approche d'entropie maximale a été utilisée. Le principal résultat est une carte géoréférencée de l'aire de distribution potentielle du chêne afarès en Algérie et en Tunisie. Le modèle calculé présente un bon pouvoir prédictif à travers la lecture de la valeur de l'AUC. Parmi les variables traitées les plus significatives pour la distribution du chêne afarès sont: les précipitations annuelles, la température moyenne du trimestre le plus chaud et l'altitude.

**Mots clés:** SDMs, Maxent, *Quercus afares*, distribution potentielle, Nord algérien et tunisien

## Abstract

The conservation and management of endemic species require knowledge of their potential distribution areas and the environmental factors conditioning these distributions. This work aims to predicting the potential area as well as identifying bioclimatic and topographic factors affecting the geographical distribution of *Quercus afares* through the use of a species ecological niche modeling technique (SDMs). 19 bioclimatic variables and one topographic variable were used to calculate the model. The maximum entropy approach was used. The main result is a georeferenced map of the potential distribution area of Afares oak in Algeria and Tunisia. The calculated model have a good predictive power through the reading of the AUC value. Among the used variables, those most significant for the Afares oak distribution are: the annual precipitation, mean temperature of warmest quarter and the altitude.

**Key words:** SDMs, Maxent, *Quercus afares*, potential distribution, northern Algeria and Tunisia