

# Université Mohamed Boudiaf - M'sila

FACULTÉ DES SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Numéro de série : .....

Numéro d'inscription : D.SB/3C/04/17



## Thèse

Présentée pour l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT 3ème cycle (LMD)**

**Spécialité : Sciences Biologiques**

**Option : Biodiversité, Santé et Environnement**

THEME

**Évaluation de la dynamique des niches  
écologiques distributionnelles des écosystèmes  
forestiers du Nord Algérien.**

**Présenté Par**

**M<sup>r</sup> ARAR Abdelkrim**

**Soutenu le : 03-12-2020**

**Devant le jury composé de :**

<b><u>Nom &amp; Prénom</u></b>	<b><u>Grade</u></b>	<b><u>Etablissement</u></b>	<b><u>Qualité</u></b>
MIMECHE Fateh	MCA	Univ. de M'sila	Président
NOUIDJEM Yassine	MCA	Univ. de M'sila	Encadreur
BOUNAR Rabah	MCA	Univ. de M'sila	Co-Encadreur
BENSACI Ettayib	Professeur	Univ. de M'sila	Examineur
SAHEB Menouar	Professeur	Univ. d'Oum El Bouaghi	Examineur
KECHEBAR MohamedSeif Allah	MRA	CRSTRA Biskra	Examineur

Année Universitaire : **2020/2021**

صلى الله عليه وسلم

## Remerciements

*Je commence de remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Mes sincères remerciements s'adresse a Mr, Yassine Nouidjem, MCA université de Msila, à qui j'exprime mes reconnaissances, pour son encadrement, son soutien, ses conseils précieux, ses encouragements, et son accompagnement pendant la réalisation de ce travail.*

*Également, j'adresse mes sincères remerciements à Mr, Rabah Bounar, et mes reconnaissances et gratitude pour son soutien, encouragement et les conseils précieux qu'il m'a prodigués tout au long de la réalisation de ce projet.*

*Mes sincères et spéciaux remerciements s'adressent à Mr. Slimane Tabet, qui m'a accompagné de près durant toute la vie scientifique, je lui exprime mes profondes reconnaissances et gratitude pour tous ses efforts fournis, il a été toujours présents, pour sa disponibilité.*

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Mr. Haroun Chenchouni de l'université de Tebessa, et Mr Yacine Kouba de l'université d'Oum El Bouaghi, pour leur soutien, leur aide précieuse, et pour tout le temps qu'ils m'ont consacré durant la réalisation de ce travail.*

*Je tiens à remercier aussi Mr. Ettayeb Bensassi m'avoir honoré en acceptant de présider le juger notre modeste travail.*

*Mes remerciements s'adressent aussi à Mr.....et Mr....et Mr.....d'avoir accepter d'être des membres de jury pour ce modeste travail.*

*Mes remerciements vont aussi à tout le cadre professoral et administratif de la Faculté des Sciences de la Vie et de la Nature.*

## DÉDICACES

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes parents : Grace à leurs grands sacrifices, ils n'ont pas cessé de m'encourager et de prier pour moi, pour l'éducation qu'ils m'ont prodiguée ; pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné depuis mon enfance, avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard. Aucune dédicace ne pourrait être assez suffisante pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.*

*A tous mes sœurs et frères, pour leurs encouragements et leur soutien appréciable.*

*A tous mes professeurs, je leur adresse tous mes profonds respects et gratitude pour leurs soutiens et leur générosité.*

*A tous mes chers amis et mes collègues.*

# Sommaire

---

**Sommaire**

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Recherche bibliographique .....</b>	<b>5</b>
<b>Partie 1 : Notions de base .....</b>	<b>6</b>
1- La modélisation .....	7
2- La niche écologique.....	14
<b>Partie 2 : Espèces étudiées .....</b>	<b>16</b>
1- Genévrier de phénicie ( <i>Juniperus phoenicea</i> ) .....	17
1-1- Caractères botanique .....	17
1-2- Classification systématique.....	18
1-3- Répartition géographique (dans le monde et en algerie) .....	18
1-4- Conditions climatiques.....	19
1-5- Caractères édaphiques .....	20
1-6- Cortège floristique.....	21
1-7- Facteurs de dégradation .....	21
1-8- Importance écologique et économique .....	22
2- Cedre de l'Atlas ( <i>Cedrus atlantica</i> ).....	23
2-1- Caractères botanique .....	23
2-2- Classification systématique.....	24
2-3- Répartition géographique (dans le monde et en Algérie) .....	24
2-4- Aire d'introduction de Cèdre .....	26
2-5- Conditions climatiques.....	27
2-6- Caractères édaphiques .....	29
2-7- Cortège floristique.....	29
2-8- Facteurs de dégradation .....	31
2-9- Ennemies biotiques.....	31

---

<b>Chapitre II : Matériel et Méthodes.....</b>	<b>33</b>
1- Présentation de la zone d'étude.....	34
1-1- Topographie.....	35
1-2- Géologie.....	38
1-3- Végétation.....	39
1-4- Climat.....	40
2- Méthodologie.....	43
2-1- Données d'occurrence des espèces.....	43
2-2- Données environnementales.....	44
2-3- Capacité en eau disponible du sol.....	48
2-4- Procédure de modélisation.....	53
<b>Chapitre III : Résultats et Discussion.....</b>	<b>55</b>
1- Résultats.....	56
1-1- Données complémentaires obtenus.....	56
1-2- Résultats de modélisation de « <i>Cedrus atlantica</i> ».....	60
1-2-a- Précision du modèle.....	60
1-2-b- Effets des variables environnementales.....	61
1-2-c- Prévission et changement de l'aire de répartition des espèces.....	64
1-3- Résultats de modélisation de « <i>Juniperus phoenicea</i> ».....	68
1-3-a- Performance du modèle.....	68
1-3-b- Contributions des variables dans le modèle prévu.....	68
1-3-c- Distributions potentielles actuelles et futures.....	71
2- Discussion.....	75
2-1- Genévrier de Phénicie.....	75
2-1-a- Performance du modèle.....	76
2-1-b- Analyse des contributions des variables environnementales.....	76
2-1-c- Changement de l'aire de répartition en réponse au changement climatique.....	78

<b>2-2- Cèdre de l'atlas .....</b>	<b>80</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>86</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>89</b>

## Liste des figures

- Figure 1 :** Carte de distribution de genévrier de Phénicie dans le monde
- Figure 2 :** Carte de répartition du Cèdre de l'Atlas dans la région Nord-Africaine
- Figure 3 :** Carte de répartition du Cèdre dans le pourtour méditerranéen.
- Figure 4 :** Carte de situation de la région d'étude (Nord Algérie).
- Figure 5 :** carte topographique du Nord Algérien.
- Figure 6 :** Profil 2 de la chaîne d'Atlas Tellien
- Figure 7 :** Profil 3 Profil de la chaîne d'Atlas Saharien
- Figure 8 :** Profil 1 Profil Nord-Sud Profil
- Figure 9 :** Carte géologique de la région Nord Algérienne
- Figure 10 :** Carte de végétation de la région Nord Algérienne (DGF 2006)
- Figure 11 :** Carte d'aridité de la région Nord Algérienne de la période actuelle.
- Figure 12 :** Carte d'aridité de la région Nord Algérienne pour la projection future.
- Figure 13 :** Points d'occurrence (points verts) de *Juniperus phoenicea* dans le nord de l'Algérie.  
Les lignes rouges représentent les routes principales.
- Figure 14 :** Points d'occurrence (points jaunes) de *Cedrus atlantica* dans le nord de l'Algérie. Les lignes rouges représentent les routes principales.
- Figure 15 :** Tendances dans l'évolution des concentrations de gaz à effet de serre selon les 4 profils d'évolution de la concentration.
- Figure 16 :** Schéma représentant la réserve utile en eau du sol
- Figure 17 :** Carte thermique montrant la matrice de corrélation entre les 50 variables environnementales utilisées dans la modélisation de niche écologique de la distribution potentielle des forêts de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) et Genévrier de phénicie (*Juniperus phoenicea*) en Algérie.
- Figure 18 :** Réserve utile maximale en eau du sol (RUM) de l'Algérie du Nord.
- Figure 19 :** Carte de la réserve en eau utile du sol (RUR) en Hivers pour la période actuelle.
- Figure 20 :** Carte de la réserve en eau utile du sol (RUR) en Hivers pour la projection future pour quatre saisons.
- Figure 21:** Courbe des caractéristiques de fonctionnement du récepteur MaxEnt (ROC) indiquant l'AUC des données d'apprentissage et de données de prédiction test (A). Taux d'omission moyen des zones appropriées testées et prévues de *Cedrus atlantica* (B)

- Figure 22:** Courbes de réponse de *Cedrus atlantica* aux six variables environnementales les plus contributives dans la modélisation de la distribution des espèces
- Figure 23:** Cartes prédictives des probabilités d'occurrence potentielles de *Cedrus atlantica* pour la période actuelle (1990-2000), 2050 et 2070 selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5.
- Figure 24:** Les graphiques pirates comparant les valeurs d'altitude, de latitude, de longitude et d'indice d'aridité de *Cedrus atlantica*
- Figure 25:** Courbe caractéristique de fonctionnement du récepteur (ROC) indiquant l'AUC des données d'apprentissage et des données de test (A). Taux d'omission moyen des zones appropriées testées et prévues pour *Juniperus phoenicea* (B)
- Figure 26 :** Courbes de réponse de la distribution potentielle du genévrier phénicien aux variables environnementales les plus importantes
- Figure 27 :** Cartes prédictives de la répartition potentielle du genévrier phénicien (*Juniperus phoenicea*) en Algérie sur la base des probabilités d'occurrence relative
- Figure 28 :** Changement de taille de l'aire de répartition des genévriers phéniciens (*Juniperus phoenicea*) en Algérie dans les scénarios climatiques futurs. RCP : voie de concentration représentative.
- Figure 29 :** Diagrammes de pirate comparant les élévations (a), les latitudes (b) et les longitudes (c) de la distribution de *Juniperus phoenicea* (probabilité d'occurrence > 0,6) entre la gamme potentielle actuelle (présente) et chacune des gammes potentielles futures basées sur le futur scénario de changement climatique de la voie de concentration représentative (RCP4.5 et RCP8.5).

## Liste des tableaux

- Tableau 2 :** récapitulation des caractéristiques ombrothermiques des cédraies de l'Afrique du Nord.
- Tableau 3 :** Liste des variables bioclimatiques exploités dans la modélisation de la distribution des deux espèces dans le nord-est algérien.
- Tableau 4 :** Liste des variables Édaphiques exploités dans la modélisation de la distribution des deux espèces dans le nord-est algérien.
- Tableau 5 :** Liste des variables Topographiques exploités dans la modélisation de la distribution des deux espèces dans le nord-est algérien.
- Tableau 6 :** Contributions des 32 variables environnementales explicatives utilisées dans la modélisation de niche écologique de la distribution potentielle des forêts de cèdres de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) en Algérie
- Tableau 7.** Changements projetés de la taille de l'aire de répartition de *Cedrus atlantica* dans les scénarios climatiques futurs en 2050 et 2070 sur la base de deux voies de concentration représentatives (RCP4.5 et RCP8.5) du GIEC (2014)
- Tableau 8:** Contributions des 32 variables environnementales explicatives utilisées dans la modélisation de la niche écologique de la distribution des espèces de genévrier phénicien (*Juniperus phoenicea*) au nord de l'Algérie. )

## Liste des abréviations

**AUC** : Area Under the Curve (la surface sous la courbe)

**CCSM4** : Community Climate System Model 4 (Modèle de système climatique communautaire 4).

**CMIP5** : Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (la phase 5 du projet d'intercomparaison de modèles couplés)

**GES** : Gaz à Éffet de Serre

**GIEC** : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (**IPCC** : Intergovernmental Panel on Climate Change)

**GPS** : Geographic positional system (système de positionnement global)

**RCP** : Représentation Concentration Pathways (voie de concentration représentative)

**ROC** : Receiver Operating Characteristic (Courbe des caractéristiques de fonctionnement du récepteur)

**SDM** : Species distribution models (Modèle de distribution des espèces)

**MNT** : Modèle numérique de terrain

**DEM** : Digital Elevation Model

# Introduction

## **Introduction**

Au cours du dernier siècle depuis 1910, le climat terrestre s'est réchauffé avec  $0.6^{\circ}\text{C}$ , sachant que le réchauffement s'est doublé depuis 1976, pour atteindre un record le plus élevé des 1000 dernières années dans le monde (**Walther et al., 2002**). Les visions globales sur le climat mondiale révèlent qu'un réchauffement aura lieu dans le futur, ceci est due tant aux événements naturels qu'aux activités anthropiques contribuant à une augmentation des températures mondiales (**Singh, 2012**). Bien que la dynamique et l'évolution des écosystèmes naturels sont difficile à prévoir sous l'ombre des actions des activités humaines imprévisibles, modifiant de façon continue les conditions climatiques dans le biotope en influençant la distribution naturelle des espèces à savoir les dégradations et rétrécissements des aires géographiques voir les extinctions des espèces tant à l'échelle locale qu'à l'échelle mondiale, il est nécessaire de produire des prévisions pertinentes des effets des changements climatiques sur l'environnement (**Parmesan, 2006 ; Lavergne et al., 2010**). Dans le même contexte le GIEC prédit d'ici la fin du 21 -ème siècle que les hausses mondiales des températures seront d'ordre  $0.3$  à  $4.5^{\circ}\text{C}$  selon le cinquième rapport d'évaluation (**Stocker et al., 2013 ; Allen et al., 2010**), des études récentes basées sur les approches de modélisation des prévisions ont montré qu'en raison de l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre (GES) que la planète se réchauffe rapidement (**Solomon et al., 2009**), de tels changements climatiques roulant avec une vitesse alarmante ont été la cause principale de plusieurs extinctions massives dans le passé (**Raup et Sepkoski, 1982 ; GIEC, 2014**), et qui sont à l'heure actuel la cause des réductions importantes de la biodiversité dans le monde (**Vignal et Andrieu, 2016**).

Plusieurs études prédictives des réponses aux changements climatiques, en reposant en grande partie sur l'analyse des tolérances des espèces aux forçages environnementaux confirment l'existence des réponses écologique aux changements récents du climat (**Walther, 2010 ; Guisan et Thuiller, 2005**). D'autre part, les facteurs climatiques en combinaison avec d'autres facteurs environnementaux ont été utilisé fréquemment pour expliquer les principaux comportements de végétation dans le monde (**Guisan et Zimmermann, 2000**). Ainsi, prédire la distribution des espèces végétales et animales se passe à travers la quantification des relations espèces-environnement, c'est le cas de la plupart des approches de modélisation (**Guisan et Thuiller, 2005**). A une échelle grossière les résultats de ces prédictions sont généralement représentés par les changements des aires de répartition des espèces à travers des gradients

environnementaux, ces changements peuvent influencer le fonctionnement et la dynamique des écosystèmes (**Parmesan et Yohe, 2003 ; Walther, 2010**).

L'évolution des nouvelles techniques statistiques a permis l'intégration combinée de plusieurs disciplines dans le but de prédire les changements de l'environnement et décrire les divers phénomènes naturels, à travers l'utilisation des équations mathématiques différentielles intégrées dans des modèles informatisés afin de simuler toutes les possibilités de la dynamique et l'évolution du fonctionnement des écosystèmes et le déroulement des divers phénomènes naturels, il s'agit bien de la modélisation (**Lobry et Sari, 2007 ; Tabet et al., 2018 ; Gbesso et al., 2013**).

Les SDM (Species Distribution Models) qui sont connus aussi sous divers nomenclatures tel que modèles de niches écologiques, modèles d'enveloppe bioclimatique ou modèles d'aptitude à l'habitat, sont des méthodes statistiques vigoureuses largement utilisés dans divers domaines tel que l'écologie et biogéographie (**Booth et al., 2014; Graham et Kimble, 2019**), ces types de modélisations ont pour but d'établir des relations statistiques espèce-environnement, en utilisant des données d'occurrence d'espèce "présence/absence ou présence seulement" et les données environnementales provenant du même site géographique, afin d'évaluer les habitats favorables appropriés (souvent la niche climatique) des espèces et de quantifier le degré de changement de leur distribution face aux changements des facteurs environnementaux (**Arar et al., 2020 ; Sinclair et al., 2010 ; Naimi et Araújo, 2016 ; El-Gabbas et Dormann, 2018 ; Thuiller et al., 2008**), et de prédire la répartition géographique des espèces dans les zones non échantillonnées, ainsi d'explorer l'ampleur des changements environnementaux et leurs impacts écologiques (**Elith et Leathwick, 2009 ; Miller, 2010**). Divers modèles de distribution des espèces sont construits en se basant sur une variété d'algorithmes (**Sinclair et al., 2010**), prenant comme exemple des plus connus : GAM comme modèle statistique (**Hastie et Tibshirani, 1990**), GARP comme modèle d'optimisation combinatoire (**Stockwell & Noble, 1992**), BIOCLIM comme modèle heuristique (**Busby, 1991**), et MAXENT comme modèle d'apprentissage automatique (**Phillips et al., 2006**) ...etc, les divers méthodes de modélisation doivent être évaluées en utilisant un ensemble de données de validation étant donné qu'elles présentent certaines performances et des faiblesses importantes (**Elith et al., 2006 ; Sinclair et al., 2010**). Par conséquent, Les SDM sont considérés comme des outils robustes d'aide à la décision, et qui sont également des outils de planifications et conservation des espèces menacées et de la nature vis-à-vis les impacts des forçages environnementaux tel que les réchauffements climatiques, ainsi, ils peuvent être utilisés pour la gestion et réhabilitation de

l'environnement menacé par la dégradation ou pour la réintroduction d'espèces endémiques menacées d'extinction. (**Amici et al., 2017 ; Safaei et al., 2018 ; Fois et al., 2016**).

Parmi l'ensemble des écosystèmes mondiales, La forêt méditerranéenne classée comme l'une des huit points chauds du monde étant donné qu'elle est menacée par les activités humaines intenses et les forçages environnementaux, elle se caractérise par une importante richesse taxonomique et un endémisme élevé (**Mittermeier et al., 2004 ; Vessella et al., 2017**). Faisant partie de la flore du pourtour méditerranéen, la forêt de l'Afrique du nord est soumise à son tour aux conséquences des changements climatiques actuels connus par des sécheresses périodiques auxquelles s'ajoutent les fortes pressions anthropiques exercées (**Allen, 2003 ; Baquedano et Castillo, 2007**), par conséquent, ses divers variations et impacts se traduit par des fluctuations incessantes des limites des aires géographiques des espèces forestières, des fluctuations qui varient entre adaptations, déplacements ou même dépérissements (**Huntley, 1991 ; Rhanem, 2011**), de ce fait, chaque espèce forestière sera dans l'obligation de tracer son aire d'existence spécifique dans laquelle au centre se trouve son optimum assurant la durabilité de la population, c'est au niveau des extrémités que les individus de l'espèce son en face de divers risques biotique et abiotique qui déterminent son extension ou rétrécissement et remplacement par d'autres espèces compétitives mieux adaptées (**Rhanem, 2011 ; Hufkens et al., 2009 ; Pugnaire, 2010 ; Brown et al., 1996**).

Avec une couverture d'environ 4.1 millions hectares, la forêt Algérienne occupe en grande partie les renflements montagneux de l'Atlas Tellien, tandis qu'au niveau de l'Atlas Saharien elle occupe les versants exposés à des pluies fréquentes et les crêtes montagneuses, un écosystème fragilisé par une succession des processus de dégradations intense qu'il a connu les années récentes (**Arar et Chenchouni, 2012 ; Nouschi, 1959 ; Borsali et Zadi, 2014**). Plusieurs facteurs de dégradation combinés sont en influence tant sur le plan naturel tel que les sécheresses périodiques et les problèmes de l'érosion des sols forestiers, que sur le plan socioéconomique connus par des activités anthropiques intenses tel que les défrichements et l'avancé de l'urbanisme au détriment des écosystèmes naturels en menaçant la durabilité de ces derniers (**Madoui, 2002 ; Borsali et Zadi, 2014**).

La présente étude visait à évaluer les effets des changements climatiques sur la répartition spatiale de deux espèces dans le Nord Algérien , à savoir : Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) et Genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), en analysant les réponses de la répartition géographique des espèces vis-à-vis trois types de facteurs à savoir les facteurs climatiques, édaphiques et les facteurs liés à la topographie, et d'évaluer sous divers scénarios

climatiques les habitats propices de ces espèces pour les projections futurs 2050 et 2070 basé sur le modèle climatique CCSM4 établi par le GIEC.

Le choix de ces espèces s'est porté sur plusieurs critères importants parmi ceci on note :

**i)** L'importance de ces espèces (considérées comme rares) est qu'elles sont parmi les composantes les plus importantes de la forêt méditerranéenne, et qu'elles se trouvent dans la quasi-totalité des étages bioclimatiques et les classes altitudinales et longitudinales. **ii)** leur sensibilité et vulnérabilité vis-à-vis les changements climatiques qui est prouvée dans diverses études scientifiques en concluant des rétrécissements importants de leurs aires géographiques en réponse à ces changements notamment dans les parties Sud de leurs aires de distribution essentiellement dans les zones arides et semi arides, sachant que l'espèce cèdre de l'atlas a été déclaré en danger par l'organisation des nations unies. **iii)** l'autres cause consiste en l'importance écologiques et socioéconomiques de ces espèces vue leur large usage à des fins industrielles et médicinale (Bois, huiles essentielles ,...etc.).

Les objectifs précédemment déclarés seront traités à travers l'utilisation d'un modèle de répartition des espèces (SDM) qui est le modèle Maximum Entropie (MaxEnt), pour générer des prévisions de la distribution des espèces dans les conditions climatiques de la période (1995-2000) et pour les projections futurs 2050 et 2070 prévu par le GIEC (2014) sous deux scénarios de la voie de concentration représentative (RCP) , à savoir RCP4.5 et RCP8.5, ainsi, pour identifier les principaux facteurs environnementaux qui façonnent la distribution des deux espèces . Nous avons émis l'hypothèse que les populations des deux espèces rétréciraient à l'avenir et nous nous attendions à un changement latitudinal, altitudinal et longitudinal de leurs aires de répartition géographique en réponse au réchauffement climatique, ce qui pourrait résulter de l'augmentation du nombre d'épisodes de sécheresse sévère, en particulier dans les zones arides et semi-arides. Cette étude devrait fournir des informations sur la vulnérabilité à l'extinction des deux espèces dans le Nord de l'Algérie.

# Chapitre I

“*Recherche bibliographique*”

# Partie 1

“*Notions de Base*”

## 1- La modélisation

Plusieurs définitions de la modélisation numérique circulent chez la communauté scientifique,

**Schmidt-Lainé et Pavé, 2002** ont défini la modélisation comme la méthode qui permet de représenter un objet ou un phénomène du modèle réel par une formule du système formel choisi.

Selon **Maria, 1997**, « La modélisation est le processus de production d'un modèle ; un modèle est une représentation de la construction et du fonctionnement d'un système d'intérêt. Un modèle est similaire mais plus simple que le système qu'il représente. L'un des objectifs d'un modèle est de permettre à l'analyste de prédire l'effet des modifications apportées au système. D'une part, un modèle doit être une approximation proche du système réel et intégrer la plupart de ses principales caractéristiques. D'un autre côté, il ne doit pas être si complexe qu'il soit impossible de le comprendre et de l'expérimenter. Un bon modèle est un compromis judicieux entre réalisme et simplicité ». De plus il est recommandé d'augmenter la complexité selon les praticiens de la simulation.

**Rothenberg et al., 1989** ont dit que la modélisation est le traitement des choses ou des situations trop coûteuses à être traitées directement,

Si l'on spécialise, la modélisation prédictive de la végétation est de prédire la distribution géographique d'une végétation dans un écosystème donné à partir des variables environnementales spatialisées (**Franklin, 1995**).

C'est une science basée sur un processus simple en plusieurs étapes (**Dubois, 2009 ; Schmidt-Lainé et Pavé, 2002**) :

- La première étape consiste à observer le phénomène réel, en prenant comme exemple, la croissance d'un arbre, le changement de la distribution d'une espèce, la taille d'une population...etc.
- Selon l'objectif qu'on veut atteindre par notre étude, on sélectionne le modèle à mettre en œuvre en fonction de l'objet ou le phénomène qu'on veut représenter, citant comme exemple, l'estimation de la taille d'une population entre deux stations d'expérimentations, le modèle le plus préféré est le modèle polynomial, mais pour comprendre le phénomène de croissance de la population le modèle le plus adapté est le modèle logistique.

- Ensuite, l'étape suivante consiste à l'élaboration d'une construction abstraite pour représenter ou expliquer l'observation à l'aide des équations ou théories.
- La dernière étape consiste à la comparaison des résultats de prédiction obtenus avec ce qu'on a observé pour vérifier si le modèle exploité est conforme à ce qui a été prévu, si les résultats ne s'accordent pas avec l'observation on revient à l'étape précédente. Pour valider le modèle des tests statistiques sont à utiliser pour vérifier précisément l'adéquation des résultats numériques du modèle avec les mesures faites ou observées, l'utilisation de la statistique est très nécessaire pour l'estimation des paramètres d'un modèle et pour l'élaboration des tests de validation.

Selon **Zimmermann et Kienast, 1999** les modèles peuvent être divisés en deux types de bases : Les modèles dynamiques et les modèles statiques.

Les modèles dynamiques (mécanistes) sont des modèles qui prennent le temps en compte explicitement, Dans ce cas, le système est alimenté de données par les intégrer dans le modèle à travers des mises à jours régulières, tandis que les modèles statiques (empiriques) leur entraînement est hors ligne c.-à-d. ils n'impliquent pas le temps, Dans ce cas, il est entraîné une seule fois avant d'être utilisé tel quel pendant un certain temps.

D'autres chercheurs pensent qu'il y a d'autres classifications d'où les modèles se différencient sous de nombreux aspects, on peut dénombrer plusieurs types selon **Dubois, 2009** :

#### **Modèle linéaire versus non linéaire :**

Le modèle est linéaire lorsque toutes les équations utilisées sont linéaires, alors qu'il n'est pas linéaire lorsque les systèmes sont représentés par des équations non linéaires.

#### **Modèle discret versus continu**

Dans le cas général ou bien dans la réalité, l'espace et le temps sont continus, le modèle est considéré comme discret lorsque on décrit un phénomène pour une durée spécifique du temps par exemple dans des fractions de secondes ou un an ou plus, et pour une surface bien déterminée par exemple une surface décrite en grille de carrés et les variables sont calculées pour chaque carré.

#### **Modèle déterministe versus probabilistes (stochastique)**

Lorsqu'on varie les hypothèses émises sur des valeurs déterminées (valeurs choisies) on parle du modèle déterministe, dans le cas inverse lorsque les hypothèses sont émises de façon complètement aléatoire (c.-à-d. les résultats d'une expérience ne se reproduit pas à chaque fois) on parle d'un modèle stochastique ou probabiliste.

### **Les objectifs de la modélisation**

L'utilisation de la modélisation est devenu l'une des applications importantes dans le domaine de l'environnement et la conservation du patrimoine naturel qui a prouvé sa nécessité à travers des applications concrètes sur terrain (**Redon, 2012**)

- La modélisation nous permet de localiser et créer de nouveaux espaces protégés et l'évaluation des réglementations de protections des espèces et de patrimoine biologique (**Wilson et al., 2005, Martínez et al., 2006**)
- Prédiction de l'installation des espèces invasives ou pathogène et le Suivre de leur évolution (**Jiménez-Valverde et al., 2011**)
- La détermination des zones mal connues favorables à l'installation des espèces afin de les reboiser ou planter (ou pour l'introduction ou réintroduction des espèces) (**Martinez-Meyer et al., 2006**).
- La détermination et le suivi de la dynamique de la distribution spatiale des espèces rares et menacées afin de les protéger au mieux (**Hu and Jiang, 2010**)
- Connaître de mieux l'écologie des espèces en mettant en évidence les relations entre les espèces et leurs habitats pour un bon suivi de la biodiversité (**Ewers et al., 2005**)
- La représentation cartographique des habitats favorables naturels des espèces (**Mücher et al., 2009**).

### **1-2- Une diversité de méthodes**

Récemment, les statistiques ont développé de façon très remarquable, permettant l'étude des relations entre les espèces et leurs environnements et les envisager dans l'espace. Plusieurs méthodes sont utilisées en sciences de l'environnement tel que les modèles de régression et les techniques de classification, l'usage des techniques statistiques dans la gestion et l'organisation des données environnementales et d'observations a fait apparaître de nouvelles approches plus puissantes, D'autres côté, l'apparition et le développement des outils informatiques a abouti à l'essor de nouveaux algorithmes de modélisation basés sur des processus d'apprentissage

« machine learning methode » tel que le maximum d'entropie (**Moore et Hooper, 1975**), l'enveloppe environnementale (**Busby, 1991; Carpenter et al., 1993**) et les réseaux de neurones (**Pearson et al., 2002**) (**Guisan et al., 2002 ; Redon, 2012**) (tableau 1).

### **1-2- a- Exemples de modèles basés sur des régressions**

Des méthodes basées sur le modèle de type régression sont utilisées pour expliquer des phénomènes, cette dernière considérée comme la variable à expliquer en utilisant des variables explicatives de types continues ou catégorielles, les résultats font l'objet d'une spatialisation. Donnant comme exemple les GLM (Generalized linear model) qui est parmi les plus courants, qui permet de quantifier les relations existantes entre une combinaison linéaire de plusieurs variables indépendantes (explicatives) et une variable dépendante (à expliquer), cette approche a été soumise à plusieurs adaptations afin de pouvoir traiter des données écologiques sous diverses situations. Dans le cas inverse, lorsque la relation entre les variables explicatives et non linéaire et donc la distribution des variables explicative est complexe, on utilise les GAM (Generalized additive Models). D'autres méthodes statistiques peuvent être utilisées, tel que les modèles de dissimilarité généralisés ou les régressions multivariées adaptatives, mais ces méthodes sont moins utilisées (**Redon, 2012**).

### **1-2-b- Exemples de modèles basés sur un processus d'apprentissage**

#### **a- Le maximum d'entropie**

Considérée comme une approche de modélisation parmi les plus performantes des méthodes utilisant des données de présence seulement (données incomplètes), MaxEnt est la méthode d'apprentissage mécaniste utilisée afin de prédire la distribution des espèces, en calculant la distribution potentielle spatiale des probabilités de la convenance de l'habitat à la présence des espèces. Autrement dit, Maxent estime la meilleure approximation de la distribution d'une probabilité inconnue à condition que la valeur obtenue de chaque entité sous cette distribution estimée corresponde à sa moyenne empirique sur les données de distribution connues. Ainsi, dans chaque point de l'espace, la probabilité estimée dans MaxEnt n'est pas une occurrence, mais plutôt une valeur qui représente l'adéquation relative des conditions environnementales pour l'installation des espèces concernées (**Phillips et al., 2006**).

Plus précisément, comme une explication mathématique de la procédure, on considère que  $P$  est la distribution réalisée de l'espèce, Lorsqu'un observateur procède à un échantillonnage, le

choix aléatoire d'un site  $x$  parmi un total de  $X$  sites d'une zone déterminée, on attribue la valeur 1 pour l'espèce présente et la valeur de 0 si l'espèce est absente. Si on considère que  $y$  est une variable de réponse (présence ou absence), alors  $\hat{P}(x)$  est la probabilité conditionnelle  $\hat{P}(x | y=1)$ , c'est-à-dire une probabilité que l'espèce est présente lorsque l'observateur est sur le site  $x$ . La formule expliquant cette hypothèse selon la règle de Bayes :

$$P(y=1 | x) = \frac{P(x | y=1) P(y=1)}{P(x)} = \frac{\hat{P}(x) P(y=1)}{P(x)}$$

$P(y=1)$  représente la prévalence globale de l'espèce dans la totalité de la zone d'étude.

### **b- Enveloppe environnementale**

La méthode d'enveloppe environnementale a pour principe de représenter la niche écologique, en utilisant des données d'occurrence d'espèce, dans un espace environnemental multidimensionnel qui entoure comme un enveloppe les occurrences de l'espèce et les limites minimales et maximales des variables environnementales dans lesquelles l'espèce peut paraître (**Busby, 1991**).

Pour prédire la probabilité d'occurrence de l'espèce dans un endroit donné, le modèle d'enveloppe environnemental calcule des similitudes des emplacements en effectuant des comparaisons entre les variables environnementales à l'emplacement données avec la distribution en centile des valeurs au niveau des emplacements d'occurrence connus, les emplacements considérés comme favorables à la présence de l'espèce sont ceux dont leurs valeurs des variables environnementales se trouve dans les limites déterminés par cette distribution (**Elith et al., 200 ; Hijmans et Graham, 2006**) .

### **c- Techniques de classification**

La catégorie de classification renferme une multitude de méthodes et techniques basés sur un processus hiérarchique et itératif permettant la division des bases de données initiales en groupes ou en classes homogènes (**Guisan et Zimmermann, 2000**). Deux techniques sont parmi les plus connues en modélisation de la distribution des espèces : les arbres de régression et les arbres de classification (**Redon, 2012**), ce sont deux méthodes qui permettent à la fois d'obtenir des modèles explicatifs et prédictifs. Les arbres de classification en utilisant des variables explicatives soit quantitatives ou qualitatives sont utilisées pour l'explication ou la prédiction l'appartenance des observations à une catégorie ou classe d'une variable qualitative, tandis que la méthode des arbres de régression est utilisée lorsque la variable à expliquer est continue, pour l'explication ou la prédiction des valeurs prises par une variable quantitative

dépendamment aux variables explicatives quantitatives ou qualitatives, l'efficacité des deux méthodes est dépendante de degré de pureté des classes obtenues (**De'ath et Fabricius, 2000**).

**Tableau 1.** Synthèse des approches les plus couramment utilisées pour la modélisation spatialisée de la distribution des espèces, groupes d'espèces ou habitats, avec leurs principales caractéristiques. Logiciel : les exemples entre parenthèses correspondent à des logiciels « génériques » existants, Données : P = présence, P/A = présence/absence, Ab = absence, Variables : Cont = continues, Cat

Concept	Technique de modélisation	Nom du modèle	Logiciel ou application spécifique	Type de données d'observation	Types de variables environnementales	Exemples d'échelles d'application	Référence principale	Pays d'origine	Expériences européennes recensées?
Maximum d'entropie	Maximum d'entropie	Maxent	Maxent	P	Cont/Cat/Inter	Mondiale ; Continentale	Phillips et al., 2006	USA	Oui
Techniques d'ordination	Indice de distance géométrique moyenne	Ecological Niche Factor Analysis	Biomapper	P	Cont	Nationale ; Régionale ; Cantonale	Hirzel et al., 2002	Suisse	Oui
	CCA / RDA/ ACP	/	Non (ex : R <sup>+</sup> , CANOCO)	P/A	Cont/Cat	Nationale	Ter Braak, 1986, 1987	Pays-Bas	Oui
Enveloppe environnementale	Réseaux de neurones	SPECIES	Stuttgart Neural Network Simulator	P/A	Cont/Cat	Européenne ; nationale	Pearson et al., 2002	Royaume-Uni	Oui
	Arbres de classification	BIOCLIM (+ adaptations : HABITAT, SRE)	Biodlim	P, P/A	Cont	Continentale ; Nationale	Busby 1991, Nix 1986 ; Walker & Cocks, 1991	Australie	Non
	Indices de similarité multivariés (métrique de Gower)	DOMAIN	Domain	P, P/A	Cont	Nationale ; Régionale	Carpenter et al., 1993	Australie	Non
	"Boîtes" écologiques	Parallél-epiped model (PED)	Non	P/classes	Cat	Régionale	/	/	Oui
Distance de Mahalanobis	Mahalanobis distance	/	Non (ex : ArcView, MATLAB)	P	Cont/ binaires (0/1)	Nationale	Färber & Kadmon, 2003 ; Shao & Halpin, 1995	Israël, USA	Oui
	Régression pondérée	/	Non	P/A	Cont	Européenne	/	/	Oui
Régression	Modèles linéaires généralisés / Modèles additifs généralisés	GLMs / GAMs et adaptations : Multivariate adaptive regression splines (MARS)	Non (ex : R <sup>+</sup> )	P/A	Cont/Cat/Inter	Régionale	ex : Guisan et al., 2002, Pearce & Ferrier, 2000 ; Friedman 1991	/	Oui
	Régression logistique	GARP (Genetic Algorithm for Rule-set Production)	GARP Modelling System / Desktop GARP	P, P/A, Ab	Cont/Cat	Nationale	Stockwell & Noble, 1991	USA	Non
Algorithme génétique	Analyse discriminante linéaire ou mixte	/	Non (ex : R <sup>+</sup> )	P/A	Cont/Cat		Fisher, 1936	USA	Oui
	Combinaison d'arbres de régression et de "boosting"	Boosted regression tree (BRT) / generalized boosted models	Non (ex : R <sup>+</sup> )	P/A	Cont/Cat/Inter	Nationale	Ridgeway, 1999	USA	Oui
Techniques de classifications (règles de décision)	Processus de classification dichotomique	Arbres de classification (CART + adaptations : SIMPLE, Random forest) ou arbres de régression	CART, S-Plus (RPART)	P, P/A, Ab	Cont/Cat/Inter	Européenne ; Régionale	Breiman et al 1984 ; Moore et al., 1991 ; Breiman, 2001	USA	Oui
Analyse multicritère	Croisement de couches pondérées ou non dans un SIG	/	Non, logiciel SIG	P/A/aucune	Cont/Cat	Régionale	ex : Moffet & Sarkar, 2006	?	Oui
Théorème de Bayes	Statistiques bayésiennes	/	Non (ex : ArcView, ArcWofE)	P/classes	Cont/Cat/Oriinales	Locale ; Nationale	Bonham-Carter et al., 1989 ; Aspinall, 1992	Canada	Oui
	Géostatistiques	Krigeage	Non (ex : ArcGIS, R <sup>+</sup> )	P	/	Nationale	/	/	Oui

\*boosting = méthode permettant de combiner plusieurs modèles simples pour améliorer la performance des prédictions.  
 1 = R development core team (2012)  
 2 = ter Braak and Smlauer, 1998

## **2- La niche écologique**

### **2-1- Définitions**

Plusieurs définitions existent et subit é l'évolution au cours du temps par la communauté scientifique, on cite parmi ceci :

**Grinnell, 1904 et Gause, 1937** : « Lien étroit avec la notion d'exclusion compétitive, la niche = est un complexe de facteurs écologiques, une place, en raison de laquelle les espèces évoluent et s'excluent ».

En **1957, Hutchinson** formalise et modélise la niche sous la forme d'un hypervolume à n dimensions caractérisé par des axes d'utilisation des ressources nutritives et/ou par les conditions environnementales et dans lequel, les populations d'une espèce donnée sont capables de maintenir durablement un taux net de reproduction  $>1$ .

« La niche écologique désigne l'ensemble des conditions environnementales (biotiques et abiotiques) telles qu'une espèce donnée peut former une population viable. La niche écologique correspondrait au 'rôle' et à la 'profession' d'une espèce dans son milieu, tandis que l'habitat plutôt à son adresse' » (**Dajoz, 1971**).

« Chaque espèce animale habite un biotope particulier, recherche une nourriture précise, adopte un comportement typique, préfère certaines conditions climatiques, etc., l'ensemble de ces coordonnées constitue sa niche écologique » (**Oggier, 1980**).

### **2-2- Niche fondamentale et niche réalisée :**

La niche fondamentale correspond à l'espace renfermant les variables environnementales biotiques et abiotiques dont la zone inclut entre les valeurs limites inférieurs et supérieurs permettant la viabilité et l'existence indéfiniment de l'espèce. Tandis que la niche réalisée correspond à l'espace réellement occupé par l'espèce a l'intérieur de la région de la niche fondamentale où l'espèce n'est pas exclue par ses compétiteurs, donc contrairement à la niche fondamentale de l'espèce, la niche réalisée est conditionnée par un ensemble de compétiteurs donné (**Pocheville, 2010**).

**Guizan et Zimmerman 2000** ont clarifié que la niche fondamentale est principalement relative aux performances physiologiques et des contraintes de l'écosystème, et la niche réalisée comprend en outre les interactions biotiques et l'exclusion compétitive.

Il est nécessaire de distinguer entre la niche réalisée et la niche fondamentale pour une bonne description et compréhension de la dynamique des niches, c'est ce qu'on appelle le changement de niche ou niche-shift ce que pourrait résulter de l'évolution des phénomènes écologiques qui influence la niche réalisée (**Pearman et al., 2008**)

### **2-3- SDM et la dynamique des niches**

Pour étudier les niches, l'utilisation des SDM (Species distribution models) est un outil important qui son application offre deux utilités particulières : il permet de découvrir les caractéristiques des écosystèmes naturels a des échelles spatiales, comme il permet aussi d'étudier la dynamique des niches (**Guizan et Zimmermann, 2000**). Autrement dit, ces outils offre la possibilité de modéliser et de tester les changements des niches en réponse aux changements climatiques ou autres évènements et de prédire la distribution des espèces à partir des modèles ajustés en utilisant des enregistrements des conditions climatiques historiques ou actuelles (**Martinez-Meyer et al., 2004 ; Benito Garzo'n et al., 2007 ; Araujo et al., 2005**). Plusieurs exemple d'utilisation des SDM dans le but est d'effectuer des comparaisons de niches entre les aires naturels (tel que **Broennimann et al., 2007**) et d'introduction des espèces (tel que **Fitzpatrick et al., 2007**) pour une période assez longue (voir des dizaines à quelques centaines d'années), et la comparaison entre des niches entre le présent et les périodes historiques géologiques passées (Sur des milliers d'années) ainsi que dans les climats futurs, ceci a montré que les changements dans la niche réalisée peut se produire à différentes échelles de temps, ainsi, les SDM permettent la détection des changements de niche qui peuvent se produire entre des peuplements séparés dans l'espace géographique, ceci s'effectue à travers l'ajustement des modèles avec les données d'occurrence de l'espèce dans une partie de son aire de répartition a un moment donné, ensuite une évaluation de la performance des modèles est nécessaire (**Pearman et al., 2008**).

# Partie 2

“*Espèces étudiées*”

## 1- Genevrier de phénicie (*Juniperus phoenicea*)

### 1-1- Caractères botanique

Le Genevrier de phénicie (*Juniperus phoenicea* L) habituellement appelé en arabe « Ar'ar », Phoenician juniper en anglais, et Genevrier rouge en français, c'est un arbuste ou arbrisseau sous forme de touffe, dressé, qui peut atteindre 8 à 12 mètres de hauteur, C'est un conifère dioïque, (Mazur et al., 2010 ; Moustafa et al., 2016 ; Abu-Darwish et al., 2014), Les feuilles sont de deux types, l'une est étalée sous forme épineuse en ressemblant à des aiguilles, et la quasi-totalité des feuilles sont en forme d'écailles imbriquées de très petite taille et persistantes, étroites, , sont organisées en 4 à 6 rangs, (Moustafa et al., 2016),

Cette espèce possède des fleurs monoïques généralement (Tela Botanica, 2011) elles donnent des fruits dressés, sous forme de baies, globuleux et charnus de couleur rouge (Bruneton, 2009), ce sont de gros fruits de 6 à 10 mm de diamètre, brillantes à la maturité (Tela Botanica, 2011 ; Täckholm, 1974), les graines sont de petite taille, anguleuses et ayant des sillons profonds, sont de 6 à 9 par galbule, ce nombre est considéré comme moins élevé en le comparant aux espèces qui se distribuent en Europe (Lebreton et al., 2001),

Plusieurs études et travaux soit à base génétique et systématique tel que les études de Adams et al. 2013 et Adams 2014, ou bien sur le plan biochimique et morphologique, l'espèce *Juniperus phoenicea* présente plusieurs variétés dont deux sous-espèces au niveau du pourtour méditerranéen appelées *subsp. phoenicea* et la *subsp. turbinata* (Guss.) (Adams et al., 2013 ; Adams, 2014). La variété ou sous-espèce *subsp. turbinata* se caractérise par des cônes femelles de forme ovale, contrairement aux cônes de *J. phoenicea* var. *Phénicie* qui sont de forme globuleux (Kabi et al., 2016 ; Farjon, 2005), Ainsi, sur le plan biochimique, des différences significatives ont été trouvées entre les deux sous espèces en effectuant une corrélation de la diversité des composantes biochimique avec les dimensions des cônes (Lebreton et Rivera, 1989 ; Kabi et al., 2016), sur le plan génétique Adams et al 2002 ont trouvé une différences significatives au niveau de l'ADN polymorphe amplifié au hasard (RAPD).

Certaines études effectuées par des floristes et phytosociologues ont confirmé la subdivision de *Juniperus phoenicea* en deux sous espèces ou variétés, en tenant en compte des critères moins qualitatifs comme exemple : la concentration des proanthocyanidines dans les feuilles, nombre de graines par galbule, etc (Lebreton et Thivend, 1981 ; Lebreton et Rivera, 1989). En prenant comme exemple *J. ph. Phoenicea* L présente au niveau de l'Europe occidentale (notamment en France et Espagne) se diffère du taxon *J. ph. eu-mediterranea* présent au niveau de tout le Maghreb par l'absence de proanthocyanidines foliaires de l'espèce *J. ph.*

*phoenicea* L, mais ce dernier produise un nombre plus élevé des graines par galbule (7-9) (Lebreton et Perez, 2001).

### 1-2- Classification systématique

Le genre *Juniperus* est le second genre plus diversifié des conifères, appartient à la famille des Cupressaceae avec environ 75 espèces et 34 variétés (Adams, 2014), En Algérie, ce genre est parmi les plus réparties en comptant 5 espèces, dont deux sont très rares (*J. thurifera* L. et *J. sabina* L), une rare (*J. communis* L.), et deux espèces des régions arides et semi-arides, soumis à une forte dégradation suite aux facteurs naturels et anthropiques agressifs (*J. oxycedrus* L. et *J. phoenicea* L.) (Quézel et Santa, 1962) .

La classification systématique la plus répondu Selon Abbaye 1963, Gaussen 1982 et Quézel et Santa, 1962 :

**Embranchement** des spermaphytes

**Sous embranchement** Gymnospermes

**Classe** des coniferophytes

**Ordre** des coniferales

**Sous ordre** pinoidines

**Famille** des cupressacées

**Genre** *juniperus*

**Especies** *J. Phoenicea* L.

### 1-3- Répartition géographique (dans le monde et en algerie)

Les espèces du Genévrier ont une répartition très inégale, Il est distribué principalement dans deux régions, dans la région méditerranéenne au niveau de l'Albanie, l'Algérie, Andorre, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Croatie, Chypre, Égypte (Sinai), France, Grèce, Italie, Jordanie, Liban, Libye, Maroc, Portugal, Roumanie, Espagne, Arabie saoudite, Tunisie et Turquie (Farjon , 2010) et dans les archipels de Macaronésie : îles de canaries et Madère (Fakhech et al., 2018), le centre d'occurrence de Genévrier de phénicie est principalement la partie occidentale de la Méditerranée, au niveau de la péninsule ibérique et le Nord-Ouest de l'Afrique (Farjon, 2005).

Au niveau de l'Afrique du Nord, il existe six espèces différentes du Genévrier que l'on peut distinguer facilement par la forme des feuilles, des espèces à feuilles en écailles réduites, et des espèces à feuilles étalées-piquantes, parmi les espèces les plus répondues le Genévrier de Phénicie, le genévrier oxycedre, le genévrier thurifère, ...etc. l'espèce genévrier de Phénicie

(*Juniperus phoenicea*. L) est l'espèce la plus fortement répondu parmi les genévriers de l'Afrique du Nord, elle se distribue depuis les dunes de littorale jusqu'aux limites sahariennes. En Algérie, trois espèces du genévrier occupent les dunes maritimes en Oranie, les montagnes des Aurès et l'Atlas saharien où la sécheresse est accentuée, elles sont présentes sous forme de matorrals, ces espèces sont le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), et genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) (Meddour et al., 2010), l'ensembles des espèces *Juniperus phoenicea* et *oxycedrus* occupent selon Boudy, 1955 une superficie de 290 000 ha, en 1984 certaines études d'inventaire ont déclaré une superficie de 17504 ha, ce qui confirme le degré avancé de dégradation que subi ces espèces au point que le genévrier thurifère est devenue espèce rare (Harfouche et al., 2005). Une quatrième espèce rare appelée genévrier commun (*Juniperus communis*), qui sa présence est habituellement à côté de *Juniperus phoenicea* et *thurifera* au niveau des monts de Djurdjura (Meddour et al., 2010).



**Figure 1.** Carte de distribution de genévrier de Phénicie dans le monde (Caudullo and de Rigo, 2016).

#### 1-4- Conditions climatiques

Dans le pourtour méditerranéen qui est considéré comme la régions a haute diversité des genévriers, les espèces du genre *Juniperus* peuvent s'installer dans les régions à climat dure, et qui se caractérisent par des fluctuations climatiques et des conditions de sécheresse extrême, (Piotto et Di Noi, 2003 ; Adams, 2014), elles sont présentes en régions à bioclimat notamment arides et semi-aride, dans un régime plus continental, dans les zones à précipitations allant le

plus fréquemment de 200 à 400 mm/an (**Quezel et Gast, 1998**), Le genévrier de Phénicie se trouve également sur les dunes stables des zones côtières, ainsi que sur les falaises intérieures et les zones montagneuses, c'est une espèce exigeante en matière de lumière, sur les falaises côtières, cette espèce est exposée aux forte humidité et le vent marin ainsi que des tempêtes pendant l'hivers et été sec, ce qui met cette espèce dans l'obligation de se développer comme un arbuste court et façonné par le vent (**Quezel, 2004 ; Caudullo et Rigo, 2016**).

L'Adaptation des genévriers dans les climats arides ne l'empêche pas d'être en danger de dépérissement à cause des périodes de sécheresses longues et répétitives, plusieurs espèces ont connus des taux de mortalité élevés à cause des sécheresses persistantes (**Gazol et al., 2017**), Par exemple, en Grèce en 2000, de nombreux individus de *Juniperus phoenicea* L, sont dépéris à cause de la sécheresse, notamment au niveau des crêtes rocheuses et les pentes exposées au Sud (**Körner et al., 2005**), ceci en raison que le genévrier de Phénicie forme un système racinaire superficiel, a des horizons moins profonds du sol, où les conditions de sécheresse affectent la réserve en eau de façon directe, le sol se dessèche rapidement en mettant les plantes en risque de mortalité élevé (**Hoerling et al., 2012 ; Camarero et al., 2010**). Ainsi, pour les plantes xérophiles, l'humidité du sol et les précipitations sont des facteurs limitants qui ont une influence sur la germination des graines (**Agami, 1986**).

### 1-5- Caractères édaphiques

De façon générale, le genévrier de Phénicie dans le pourtour méditerranéen s'installe à des altitudes comprises entre 1 m et 2400 m, sur substrat caillouteux, sur des sols peu profonds. Sur les falaises, le Genévrier rouge forme des garrigues sur terrains secs rocheux et sols squelettiques et sur substrat calcaire (**Quezel et Gast, 1998**).

Plusieurs autres substrats sont mentionnés comme milieu d'installation, tel que, les roches granitiques, les grès, ainsi que les dunes de sable.

Il y a une prédominance de calcaire, mais la roche granitique, le grès, la serpentine, la roche volcanique, ainsi que les dunes de sable sont également mentionnés comme substrats. Les sols sont généralement rocheux ou squelettiques et peuvent bien pousser à partir des crevasses du substrat rocheux (**Abu-Darwish et al., 2014**).

### 1-6- Cortège floristique

Le genévrier de Phénicie appartient à la végétation de types garrigue et maquis et à la forêt ouverte, Sur les dunes côtières stables il forme des broussailles et des fourrés avec des espèces sclérophylles (**Farjon et Filer, 2013**), il se développe en formation de broussailles avec le genévrier oxycedre *Macrocarpa* et aussi avec *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, l'olivier vert (*Phillyrea angustifolia*), *Cistus spp*, ...etc. il forme des groupements végétaux appartenant au Pistacio lentisci-Rhamnetalia alaterni. Il forme des associations aux pins côtiers (*Pinus pinea*, *Pinus pinaster*, *Pinus brutia* et *Pinus halepensis*) le plus souvent dans les plantations mais aussi dans les habitats naturels (**Abu-Darwish et al., 2014**).

Les peuplements montagneux dans les climat plus continentaux, ils poussent sur les pentes Sud avec d'autres espèces chasmophytes. Les formations végétales de *juniperus phoenicea* peuvent être pionnière c.-à-d. le premier stade de recolonisation des successions après incendie, évoluant vers les forêts de chênes sclérophylles [*Quercus ilex*, *Quercus suber*, *Quercus rotundifolia*, *Quercus coccifera*] dans les climats méso-méditerranéens, ou vers la forêt thermophile à feuilles persistantes [*Olea europaea*, *Ceratonia siliqua*, *Pistacia lentiscus*] dans les climats thermo-méditerranéens (**Quezel, 2004 ; Calaciura et Spinelli, 2008**).

### 1-7- Facteurs de dégradation

Des études récentes ont révélé qu'un dépérissement progressif des sujets de genévrier de Phénicie au niveau de l'Île de Caprera, commençant par dépérissement des pousses et des branches, et en déclinant branche par branche jusqu'au dépérissement totale de l'arbuste en un ou deux ans (**Linaldeddu et al., 2011**). L'agent causal de ce dépérissement a été identifié, c'était *Diplodia africana*, dont les symptômes observés étaient une décoloration des brunes du bois et des tissus de l'écorce interne, ainsi les feuilles sur les branches touchées ont été décolorées aux nuance de jaune, de brun rougeâtre et enfin de brun, les symptômes causés par *D. cupressi* sur *Juniperus spp.* aux Etats-Unis et celles causées par *D. africana* sur *J. phoenicea* sont similaires. (**Evidente et al., 2012**). Autre que les attaques des ennemies biotiques, certaines études ont montré que les effets anthropiques et les changements climatiques ont une influence plus grave sur le genévrier de Phénicie, les genévriers des basses altitudes, sont exposés aux exploitations humaines à des fins économiques ou médicinales, ainsi pour d'autres activités tel que l'expansion agricole, les coupes de bois, notamment dans les zones côtières où ils sont soumis au pression touristiques notamment pendant la période d'été (**Caudullo et Rigo, 2016 ; Ali et El shatshat, 2015**), en plus les périodes de sècheresses persistantes marquées par des températures élevées et des précipitations décroissantes pendant des périodes prolongées

peuvent être considéré comme les causes principales des dépérissements des genévriers notamment pour les sujets de basses altitudes (**Asmodé, 1989 ; Gardner et Fisher, 1996**).

Les incendies sont parmi les menaces important pour le genévrier de Phénicie surtout à cause de sa forte inflammabilité en raison des substances aromatique qu'il contient, et de sa mauvaise poste-incendie, auxquelles s'ajoutent sa très faible résistance et adaptation au feu (**Caudullo et Rigo, 2016**).

### **1-8- Importance écologique et économique**

Le genévrier de Phénicie, n'a pas d'intérêt économique significatif (**Farjon, 2013**), son bois est solide et résineux, qui a une couleur rose avec un parfum aromatique (**Goldstein, 1995**), En Algérie et en Tunisie, il est utilisé en menuiserie dans le cas où le tronc est droit, en Afrique, il est utilisé pour la production de charbon de bois comme combustible (**Farjon, 2013 ; Caudullo et Rigo, 2016**), il est une source de perches et le coffrage utilisés dans la construction, de bois de feu ...etc, les feuilles après séchage et un léger broyage sont utilisées dans la fabrication du tabac à fumer, ce dernier est très apprécié par la population Saharienne, ils le mettent soit dans des petites pipe de terre ou roulé sous forme d cigarettes, et qui dégage un parfum spécifique (**Quezel et Gast, 1998**).

Pour usage médicinale, les feuilles séchées du genévrier de Phénicie sont utilisées également comme anti-inflammatoire contre les inflammations cutanées légères des bébés, aide pour la dilatation des voies urinaires, comme remède laxatif et désinfectant intestinal, il facilite l'accouchement en augmentant la contraction de l'utérus, sert comme sédatif et pour la diarrhée (**Batanouny et al., 1999**). Les feuilles et les baies mélangées servent comme hypoglycémiant oral, alors que les feuilles à eux seules sont utilisées contre la maladie broncho-pulmonaire et comme diurétique, en plus l'huile essentielle de *J. phoenicea* est considéré comme une substance à forte activité antimicrobienne (**Ramdani et al., 2013**).

## 2- Cedre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*)

### 2-1- Caractères botanique

Le Cèdre de l'Atlas est une espèce du pourtour méditerranéenne à côté d'autres plusieurs espèces de Cèdre. Parmi ceux-ci on note : Le Cèdre de Liban (*Cedrus Libani* Barrel) qui se trouve au niveau du Liban, la Turquie et Syrie, Le Cèdre de l'Himalaya (*Cedrus deodara* London) qui se distribue dans l'Asie, Cèdre de Chypre (*Cedrus brevifolia* Henry) qui se trouve comme son nom l'indique à Chypre, et finalement le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) qui se trouve au niveau de l'Algérie et au Maroc (**Mehdi Ladjal et al., 2007**).

*Cedrus atlantica* est une espèce conifère qui peut atteindre plus de 40 mètre de hauteur, c'est une espèce de grande taille (**Boudy, 1950**) à l'âge adulte elle présente une cime de forme tabulaire, bien qu'elle a des âges plus jeunes elle a une forme d'une pyramide en élargissant avec le temps pour devenir globuleuse (**Toth, 1970**). Une espèce montagnard à feuilles sous forme d'aiguilles disposées en rosette toujours vertes (sempervirents) et persistantes, a longueur entre 1 et 2.5 mm (**Boudy, 1952 ; Toth, 1980**).

C'est une espèce monoïque, les fleurs de Cèdre de l'Atlas sont groupées en chatons, qui sont unisexuées (chatons mâles) qui ont une forme ovoïde, de même forme les inflorescences femelles mais plus petites que les mâles, apparaissent trois mois après, de couleur verte-bleuâtre (**Toth, 1978**).

Le cèdre de l'atlas est une plante à graine appartenant à l'embranchement des spermaphytes, sous-embranchement des gymnospermes c'est un arbre à ovule nu, qui porte des cônes du fait qu'il est conifère, C'est une plante monoïque qui possède deux genres des cônes mâles et femelles séparés qui se trouve sur un même spécimen. Les écailles des cônes mâles portent 2 sacs polliniques à leur face inférieure et femelles qui portent 2 ovules à la face supérieure. Ses cônes sont de forme ovoïde, leur taille peut varier de 6 à 11 cm de long, avec un diamètre variant entre 4 et 6 cm, dressées, pourvues de graines de forme triangulaires et ailées, qui se détachent du cône avant sa chute, la germination des graines ne peut s'effectuer que lorsque les températures se baissent en s'approchant à 10°C pendant 9 à 10 jours (**Lepoutre, 1964**).

Les feuilles de Cèdre de l'Atlas sont disposées sur deux types de rameaux à la différence des autres genres de Pinaceae, soit groupées en rosettes sur des rameaux courtes, ou bien se trouvent isolées sur des rameaux longs.

## 2-2- Classification systématique

*Cedrus atlantica*, appelé en arabe Arz El Atlas, et Idhguel en Bérbére, sa systématique est décrite par **Emberger 1960** comme suite :

**Règne** : Plantae

**Embranchement** : Spermaphytes

**Sous-embranchement** : Gymnospermes

**Ordre** : Coniférales

**Classe** : Coniferopsida

**Famille** : Pinaceae

**Sous-famille** : Abiétées

**Genre** : *Cedrus*

**Espèce** : *Cedrus atlantica* Manetti

Description de la systématique :

## 2-3- Répartition géographique (dans le monde et en Algérie)

Comme répartition naturelle du Cèdre décrite par **Mhirit 1999**, Trois blocs géographiques distinct constituent l'aire de répartition de Cèdre, dont ce dernier est une espèce essentiellement montagnarde : L'Afrique du Nord, Himalaya et L'Asie mineur.

L'Afrique du Nord se divise en sept blocs de répartitions de Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti), ceci concerne quatre blocs dans les montagnes marocaines, et trois blocs dans les montagnes Algériennes.

Au Maroc les cédraies s'organise en :

- Les Cédraies du Rif dont la superficie est d'ordre 15000 ha, de point de vue Écologique elles occurrent à partir de 1500 m d'altitude sur un sol calcaire, le substrat est de type quartzeux-schisteux de la nappe de kétama ou des substrats de type gréseux de la nappe de Tiziréne (**Emberger, 1939 ; Ruiz De La Torre, 1956 ; Lecompte, 1969 ; Mhirit, 1982 ; Mhirit, 1999**).
- Les Cédraies de Tazekk dont la superficie est d'ordre 850 ha, leur occurrence est sur des substrats schisteux primaires non calcaires.
- Les Cédraies du Moyen-Atlas central avec une superficie considérée comme la plus importante de cette espèce d'ordre 120.000 ha, qui s'installent sur un substrat dolomitique ou calcaire du jurassique et du lias (**Peyre, 1979 ; Achhal et al., 1979**).

- Les cedrais du Moyen –Atlas Oriental avec une superficie d'ordre 23000 ha qui s'installent sur un substrat Marno-calcaire ou dolomitique du Toarcien-Aalenien, peuplement dispersé en petits îlots au Nord au niveau des massifs du Boulblane de Taffert et de Tamtroucht, et au Sud au niveau des massifs de BouNaceur (**Peyre, 1979 ; Achhal et al., 1979**).

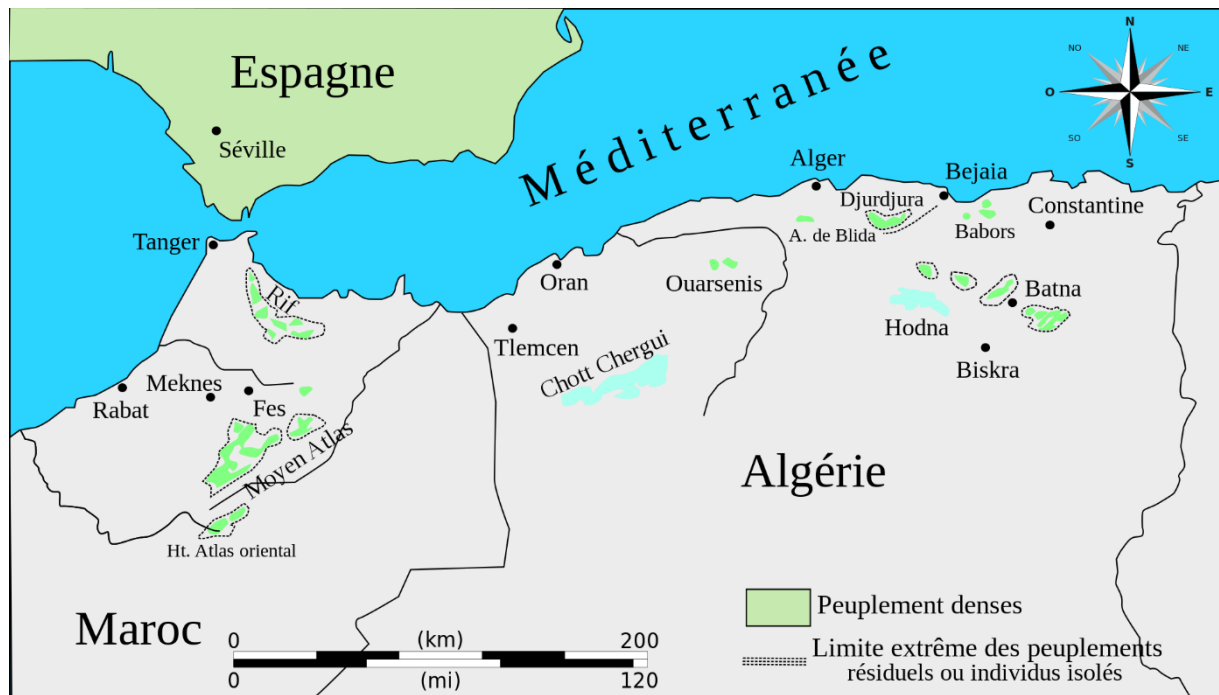
En Algérie les cédraies s'organisent en :

- Les Cédraies du Haut-Atlas Orientale existent au niveau des montagnes de Jbel Masker et Jbel Layachi sur un substrat marno-schistes, calcaires avec une superficie d'ordre 26000 ha (**Peyre, 1979 ; Ziat, 1968**).
- Les Cédraies de l'Atlas Tellien : ces peuplements sont répartis en forme dispersée en quatre îlots : les massifs de l'Ouarsenis avec une superficie de 1000 ha, monts Blidien 1000 ha, les massifs de Djurdjura 200 ha, et les Babors 300 ha. Ces peuplements s'installent sur un substrat grès calcaire, schistes et marno-calcaire.
- Les cédraies de l'Atlas Saharien, occupent la surface la plus importante en Algérie, s'installent au niveau des massifs des Monts des Aurés et du Belezma avec une superficie de 17000 ha, les Monts du Hodna 8000 ha, ces peuplements sont installés sur un substrat calcaire dolomitique et dolomites du jurassique supérieur et sur calcaire du crétacé inférieur (**Faurel, 1947 ; Abdessemed, 1981**).

En Asie mineure le Cèdre s'organise en deux parties chacune avec une espèce particulière comme suit :

- Le Liban constitue l'aire de répartition du *Cedrus libani* Barrel avec une superficie de 1700 ha en plus de la Syrie avec quelques centaines d'hectares et la Turquie au niveau des monts Taurus et l'Amanus avec 160 000ha.
- *Cedrus brevifolia* Henry, s'installe au niveau de l'île de Chypre au niveau de la forêt de Paphos sur une petite surface.

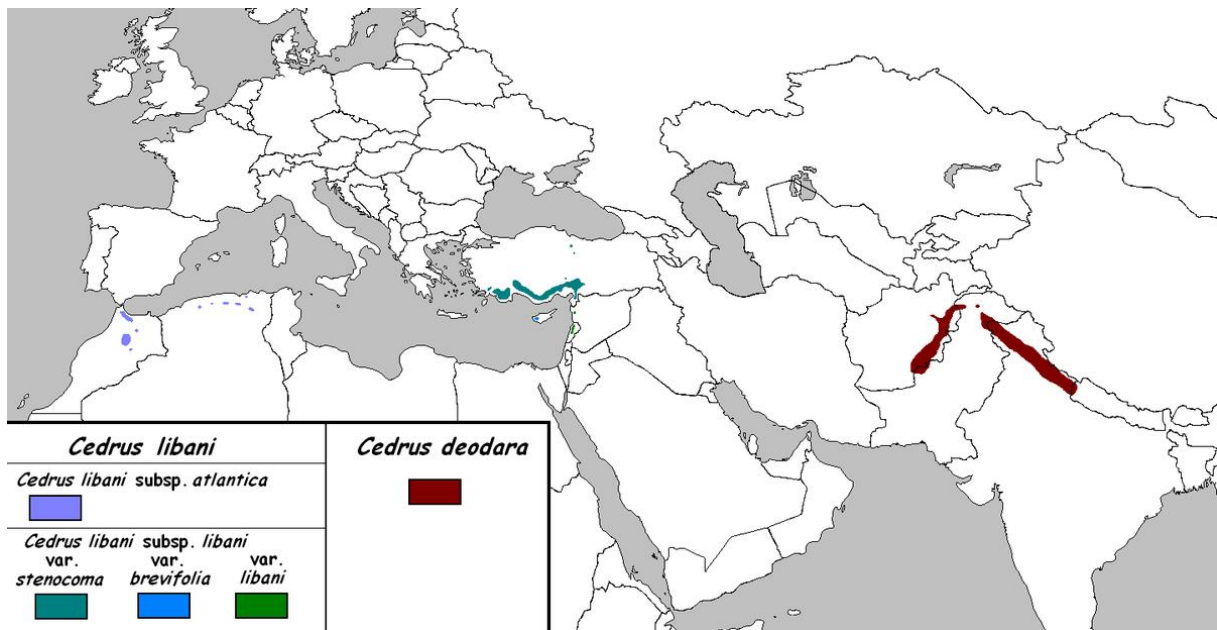
L'Himalaya au Nord-Ouest dans les grands massifs de l'Inde et de l'Afghanistan constitue le troisième bloc de l'aire de répartition de *Cedrus deodara* Loudon.



**Figure2.** Carte de répartition du Cèdre de l'Atlas dans la région Nord-Africaine (source : <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=20634447>)

#### 2-4- Aire d'introduction de Cèdre

L'introduction du Cèdre et plus particulièrement *Cedrus atlantica* Manetti a été effectuée depuis longtemps par des pays circumméditerranéens soit pour des fins de reboisement ou pour l'ornement. Parmi les pays qui ont introduit l'espèce on cite la France en 1886, l'Italie en 1864 et la Bulgarie en 1890, en plus d'autres pays où l'introduction du *Cedrus atlantica* Manetti a été signalée tel qu'en états américains, Pennsylvanie, New York, Cote pacifique, aussi en URSS au niveau de Crimé (Caucase) en 1890, etc., d'où l'espèce a été le plus généralement utilisé pour des reboisements (Toth, 1980 ; Mhirit, 198 ; Aussenac, 1984).



**Figure 3 :** Carte de répartition du Cèdre dans le pourtour méditerranéen (source : [https://ar.m.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%84%D9%81:Cedrus\\_map.png](https://ar.m.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%84%D9%81:Cedrus_map.png)).

### 2-5- Conditions climatiques

Du fait qu'il se trouve dans des climats différents soit froids et humides ou chauds et secs au niveau du pourtour méditerranéen, le Cèdre peut être considéré comme une essence de climat de transition a une large gamme bioclimatique (Aussenac, 1984 ; Quezel, 1998), Comme espèce montagnarde, les facteurs climatiques constituent selon Faurel (1947) presque l'unique éléments influençant la répartition géographique du Cèdre de l'Atlas. En Algérie par exemple, les cédraies s'organise du Sud en Nord en : les Cédraies sèches sujette aux influence du sahara, vivant des conditions climatiques les plus sévères à l'étage semi-aride au niveau des Aurès et Hodna dont la pluviométrie allant de 500 à 700 mm/an dans les climats a hivers frais, froid et très froid (Faurel et Laffite, 1949 ; Mhirit, 2006) , poursuivie par les Cédraies humides de l'étage plus humides de Djurdjura , des Babors et l'Ouarsenis et Chréa qui reçoivent une pluviométrie comprise entre 1100 à 1200 mm/an (Derridj, 1990), à l'étage humide où les précipitations comprise entre 800 et 1200 mm/an est la zone de l'optimum de *Cedrus atlantica* Manetti avec un climat a hivers froid et a été sec (Derridj, 1990 ; Aussenac, 1984)

A l'état naturelle, les températures annuelles moyennes que tolère le cèdre de l'Atlas varient entre 7.5°C et 15°C, dont les températures minimales moyennes du mois le plus froid tolérées varient entre -1°C et -8°C, et les températures maximales moyennes du mois le plus chaud peuvent atteindre + 32°C (Mhirit et Benchekroun, 2006). Selon Boudy (1950 et 1952),

l'amplitude thermique optimale de l'espèce Cèdre de l'Atlas est compris entre  $-20^{\circ}\text{C}$  et  $+39^{\circ}\text{C}$ , tandis que les températures moins de  $-2^{\circ}\text{C}$  affectent la photosynthèse des jeunes plantes en la diminuant (**Ducrey, 1981**) (Tableau 2).

Au Maroc, l'aire de présence de Cèdre de l'Atlas à des altitudes comprises entre 1500 et 2100 m, au niveau du Rif, le Moyen-Atlas et le Haut-Atlas oriental la pluviométrie annuelle dans ces zones oscillent entre 600 et 1500 mm/an, et les températures moyennes annuelles comprises entre  $7^{\circ}\text{C}$  et  $14^{\circ}\text{C}$  (**Aussenac, 1984**).

**Quézel 1976**, indique que la répartition de Cèdre dans l'Afrique du Nord selon le climagramme d'Emberger se situe dans les climats méditerranéens : semi-arides à hivers froids, subhumides à hivers froids, humides à hivers froids et humide a hivers frais.

**Tableau 2** : Récapitule des caractéristiques ombrothermiques des cédraies de l'Afrique du Nord (établit par **Mhirit 1999**).

Types de cédraies	Latitude (N)	Limites altitudinales (M)	Précipitations annuelles (mm)	Températures extrêmes	
				M	m
Rif occidental	35°01 - 35°53	1400 - 2300	1390 - 1786	28,3° - 24,1°	-5,6° à -0,2°
Rif central	34°55 - 35°35	1500 - 2400	1257 - 1707	28,8° - 23,7°	-5,6° à -0,4°
Rif oriental	33°50 - 35°07	1700 - 2 200	906 - 1311	26,6° - 24,6°	-5° à -1,8°
Moyen-Atlas tabulaire	33°08 - 33°44	1500 - 2 000	871 - 1066	30,9° - 27,6°	-4,7° à -0,5°
Moyen-Atlas oriental	32°36 - 33°05	1800 - 2000	615 - 927	28,7° - 26,5°	-6,4° à -3,1°
Haut-Atlas oriental	32°16 - 32°53	1800 - 2400	499 - 799	29,6° - 23,2°	-8,3° à -3,1°
Aurés - Belezma	35°30	1350 - 2300	499 - 790	29,6° - 23,2°	-8,3° à -3,1°
Djurdjura-Babors	36°30	1400 - 2200	1200 - 1700	16,8°	-8,5°

Au niveau de son aire d'introduction dans le pourtour méditerranéen, le Cèdre est une espèce sensible au gelées tardives. L'espèce a marqué son absence au-dessous de 400 m d'altitude qui est la limite inférieure d'où commence le climat à devenir sec et chaud. A partir de 600 m jusqu'à 1000 m d'altitude le Cèdre trouve son optimum en versant Nord, tandis qu'en versant Sud son optimum se trouve entre 700 et 1200 m d'altitude. Dans les zones tempérées au niveau des Alpes du Sud, son occurrence est marquée dans les basses et moyennes altitudes atteignant 1000 à 1200 m, elle atteint 1000 m d'altitude au niveau des Alpes Nord, le Massif central et les Pyrénées, et 700 m d'altitude dans les Vosges et le Jura. Son optimum de précipitations se trouve entre 800 et 1500 mm/an. En période de sécheresse, les précipitations plus faibles pourraient être compensées par les bonnes caractéristiques du sol à savoir la bonne rétention d'eau et son épaisseur importante, auxquelles s'ajoute le système racinaire puissant et profond, cependant, le processus de régulation très tardive des pertes en eau en périodes de sécheresses

prolongées le rend plus vulnérable et présente un risque élevé de dépérissement et de mortalité (Lefèvre et al., 2016).

### **2-6- Caractères édaphiques**

Concernant les exigences édaphiques, le Cèdre est considéré parmi les espèces indifférentes au type de sol, et qui peut s'adapter à toutes les compositions chimiques du sol, cependant, c'est la composition physique qui fait la différence (Boudy, 1952)

Le Cèdre de l'Afrique du Nord occurrent sur les deux types de roches, soit acide (grès siliceux, quartzites, granites, schistes) ou non acides (tel que : les marnes, roches calcaires, dolomites et basalte grès calcaire). Bien qu'il est indifférent à la nature chimique et le PH du sol (Alexandrian, 1992), le Cèdre est exigeant quant aux qualité physique des sols tel que : la profondeur, la perméabilité, présence de la charge caillouteuse, sols meubles (Toth, 1972).

Selon Nedjahi (1994) les calcaires et marnes sont défavorables pour l'installation du Cèdre, car les marnes malgré leur forte rétention en eau (très humides), ils perdent rapidement les quantités d'eau retenus, dans le même contexte, les calcaires ont une faible rétention d'eau. Cependant, la majorité des cédraies sont présentes sur un substrat calcaire, ceci est due à la prédominance des substrats calcaires dans les hautes montagnes du pourtour méditerranéen (Quézel et Pesson, 1980). Par contre Halitim 2006, note que les cédraies des Aurès et Belezma sont présentent sur grès et dolomites car ces derniers sont à l'origine des sols légers facile à pénétrer par les systèmes racineux des jeunes plantes du Cèdre.

La facilité du développement des racines ainsi que la haute capacité de rétention du sol sont les principales exigences du Cèdre, ce qui fait qu'il préfère les sols profonds, meubles et chargé en cailloux, a texture légère (Pradal, 1979). Les sols à mauvaise aération tel que les sols à structure compact argileux (particulièrement les marnes) constituent les limites de présence de Cèdre, également, les sols très acides sableux et limono-sableux, car ces derniers sont pauvres en matière de nutrition et souffert de la sécheresse en été, par contre, le Cèdre a l'aptitude de pousser sur les sols superficiels sur roche-mère fissurée (Lefèvre et al., 2016).

### **2-7- Cortège floristique**

Le cortège floristique du cèdre est considéré parmi les plus importants, qui est estimé à environ un millier d'espèces, entre 10% d'arbres, 15% d'arbrisseaux et 75 % de plantes herbacées annuelles ou pérennes (Mhirit,1999 ; Benabid et Fennane, 1999), l'importance du cortège floristique est probablement lié au variations topographiques et géomorphologique avec le gradient de continentalité plus qu'on s'éloigne de la mer méditerranéenne, ces variations sont

accompagnés d'une variations bioclimatique influençant la composition végétale des écosystèmes forestiers méditerranéens (**Barbero et al., 1990**).

La composition fréquente du cortège floristique des cédraies :

- Les pins tel que : *Pinus halepensis* (Pin d'Alep), *Pinus pinaster* (Pin maritime), *Pinus nigra ssp. mauretanic*a (Pin noir),
- Les espèces des chênes tel que : *Quercus rotundifolia* (Chêne vert), *Quercus suber* (Chêne-liège), *Quercus faginea* (Chêne zeen).
- Les Genevriers tel que : *Juniperus oxycedrus* (Genévrier oxycèdre).
- Des arbres comme : les frênes (*Fraxinus dimorpha*), les sapins (*Abies numidica*, *Abies maroccana*), les érables (*Acer monspessulanum*, *Acer obtusatum...*), l'if commun (*Taxus baccata*).

A l'échelle de l'Algérie, la diversité des bioclimats suivent le gradient Nord Sud s'est accompagné d'une diversité des facies, selon **Ezzahiri et al., 1994** les facies en Algerie sont organisés comme suit : Dans les Aurés et Belezma, le facies a bioclimat sec est caractérisé par la présence des espèces arborescentes tel que : Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*), Le chene vert (*Quercus ilex*), le pin d'alep (*Pinus halepensis*), le Genevrier thurifere (*Juniperus thurifera subsp. Africana*), *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea* et *Ampelodesma moritanica*, *Fraxinus xanthoxyoides*. Pour le facies humide au niveau de l'Atlas Blidéen, les massifs de Chréa, Djurdjura et les Babors sont caractérisés par les espèces suivantes : *Cedrus atlantica*, *Quercus ilex*, *Quercus faginea* et *Taxus baccata*.

Au niveau du Maghreb, l'association de Cèdre la plus fréquente est le plus particulier avec le chêne vert et avec d'autres chênes a feuilles caduques, avec *Ilex aquafolium*, *Taxus baccata*, il forme des association avec des arbustes tel que : *Crataegus laciniata*, *Sorbus torminalis*, *Rhamnus alpina* , *Sorbus aria*, *Rhamnus alpina*, *Crataegus laciniata*, *Ruscus aculeatus* , *Cotoneaster fontanesii*, etc. (**Emberger, 1938**).

Concernant la strate herbacée, le cortège du Cèdre peut contenir les especes suivantes : En Algérie, *Senecio perralderianus*, *Viola munbyana*, *Myosotis alpestris*, *Convolvulus dryadum*, tandis qu'en Rif c'est des taxa infraspécifiques vicariants.

Au niveau des zones de facies humide, les conditions d'humidité des cédraies sont des bon facteurs d'installation de plusieurs champignons, lichens et mousses, dont certains de ces espèces sont exclusives au Cèdre de l'Atlas et peuvent lui être utile (**Toth, 2005**).

## **2-8- Facteurs de dégradation**

Les cédraies Algériennes ont été victimes des incendies répétitifs qui ont été la cause principale de leur dégradation depuis des années en provoquant des pertes désastreuses, à titre d'exemple pendant la période entre 1958 et 2012 les incendies ont éliminé plus de 800 hectares des cédraies à Tikjda, néanmoins, la bonne dispersion des cônes pleines de semences fertiles sur des sols réceptifs est à l'origine d'une régénération naturelle abondante.

Au niveau de l'Atlas saharien, une autre histoire se raconte, c'est le dépérissement qui caractérise les cédraies méridionales avec des taux variant entre 30 à 85%, les périodes de sécheresses persistantes et répétitives depuis les années 1980 sont la cause la plus accusatrice. Selon **Lefebvre (1900)** les sécheresses sévères des périodes entre 1875 et 1881 a été la cause de dépérissement d'une partie de la cédraie de Belezma auquel s'ajoute l'attaque des scolytes qui ont provoqué la mort des sujets malades. Cette hypothèse n'est pas la même pour tous les chercheurs, certains auteurs supposent qu'à cause des changements climatiques que le dépérissement se produit (tel que : **Zine El Abidine, 2003 ; Niederlender et Badeau, 2010 ; Peñuelas et al., 2010, Arar et al., 2020**), d'autres auteurs le rattachent aux attaques parasitaires (**Zaremski et al., 2007 ; Battisti, 2010**), et d'autres auteurs adoptent d'autres hypothèses (tel que : **Bentouati et Bariteau, 2006**). Des études dendroécologiques et dendroclimatologiques ont révélés que l'impact du climat sur le dépérissement est l'hypothèse la plus raisonnable (**Niederlender et Badeau, 2010**). Au niveau des Aurès, la période de sécheresse persistante de la période entre 1996 et 2002 caractérisée par une diminution remarquable des précipitations de 22 à 25 % de leur régime habituel a fragilisé les cédraies ce qui fut plus tard la cause de son dépérissement massif (**Messaoudene et al., 2011**), le Cèdre de l'Atlas est très sensible à la diminution des réserves en eau du sol provoquant un déficit hydrique, Belezma est un très bon exemple des effets négatifs des changements climatiques qui affectent notamment les sujets installés aux basses altitudes (**Megdoud et al., 2012 ; Messaoudene et al., 2011**). Pas seulement à Belezma, selon **Boudy, 1950**, au niveau des monts de Djurdjura, 1500 du versant Nord, et 500 au versant Nord des vieilles futaies des cédraies sont en régression. Actuellement, le déclin a pris une grande ampleur en affectant inégalement presque toutes les cédraies de l'Algérie. Cependant, malgré que plusieurs hypothèses sont avancées et convaincantes (changements climatiques, pression humaine...etc.), le problème reste complexe et requière une approche multidisciplinaire (**Yahi et al., 2008**).

## **2-9- Ennemies biotiques**

Plusieurs ennemies biotiques vivent au détriment du Cèdre de l'Atlas, on cite parmi ceux-ci :

L'hylobe (*Hylobius abietis*) : est un ravageur qui s'installe dans les jeunes plantes, ce ravageur en phase d'insecte passe son cycle dans les souches de conifères fraîches,

Les insectes cambiohages : le plus particulièrement les scolytes du sapin et parfois celles des pins et les xylémophages sont des parasites qui attaquent le Cèdre, ce sont des parasites de faiblesse qui attaquent les sujets affaiblis par les périodes de sécheresse ou autres aléas, ils sont considérés comme des facteurs aggravant qui puissent aboutir au dépérissement de l'arbre.

*Diplodia sapinea (Spharopsis sapinea)* est un pathogène attaque les sujets du cèdre affaiblis ou blessés, c'est un champignons thermophile opportuniste qui se développe pendant les périodes d'augmentation des températures et des périodes où les arbres sont affaiblis et provoque des dégâts très importantes.

Le fomes *Heterobasidium annosum* s.l. est un champignon largement répandu qui cause des dégâts très importantes dans les peuplements adultes de Cèdre, et qui cause des mortalités des jeunes arbres de mauvaises qualité (Lefèvre et al., 2016).

# Chapitre II

“  
*Matériel et Méthodes*  
”

## 1- Présentation de la zone d'étude

L'Algérie est un des pays du bassin méditerranéen avec une très longue ligne littorale de 1600 km, le plus grand pays de l'Afrique est connu par une grande diversité des milieux naturels allant du Nord du pays au Sud et de l'Est à l'Ouest. Cette diversité écologique est à l'origine de la présence d'une double barrière montagneuse (Atlas tellien et saharien) influant la répartition du climat sur l'ensemble de la zone d'étude, la variation de la nature topographique a impliqué la création d'un gradient de variabilité climatique allant du climat méditerranéen au nord vers un climat désertique au Sud.

La présente étude comprend la partie Nord algérienne excluant la partie majoritaire du Sahara, cette zone qui s'étend sur une surface de 338800 Km<sup>2</sup> est limitée au Nord par la mer méditerranéenne, à l'Est par la Tunisie et à l'Ouest par le Maroc, au Sud, la zone d'étude est limitée par une ligne droite traversant les wilayas suivantes : centre d'El oued, Nord du Ouargla, au Sud de Djelfa et Laghouat, au centre d'Elbayadh et Naâma.

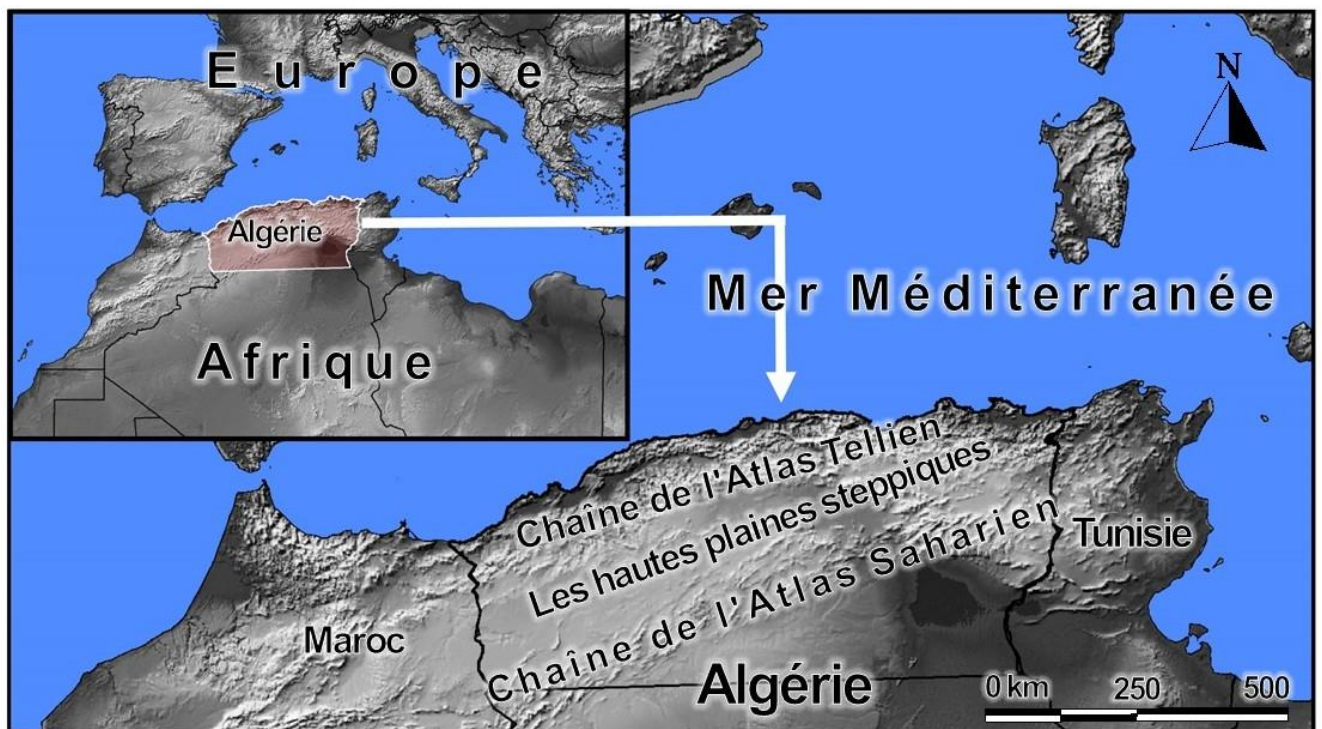
Sur le plan géodésique la zone d'étude est située entre les coordonnées géographiques suivantes :

Entre 2° 13' 4.8'' (2.2180°) Ouest et 8° 40' 59,52'' (8.6832°) Est et entre 32° 58' 31,08'' (32.9753°) Nord et 37° 5' 31,2'' (37.092) Nord.

La zone d'étude comprend deux chaînes montagneuses qui s'étend de l'Est à l'Ouest, on parle de l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien qui ont divisé la zone d'étude en cinq unités géographiques à grande échelle. Cette organisation topographique divise la zone d'étude en cinq grandes unités spatiales différentes principalement en termes de géomorphologie et de climat, paysages et végétation, ce qui a donné lieu à différents écosystèmes naturels avec des compositions diverses de flore et de faune. Du Nord au Sud, ces unités sont structurées comme suit (Fig.4) :

- (i) Le système Tellien au Nord, il plonge vers la mer Méditerranée et a un climat méditerranéen humide caractérisé par des étés secs et des hivers pluvieux (précipitations annuelles = 300–1200 mm),
- (ii) La chaîne de l'Atlas Tellien s'étale sur 1500 km étendant le Moyen Atlas du Maroc aux frontières tunisiennes. La chaîne de l'Atlas Tellien et les régions littorales comprennent des environnements très complexes qui incluent la plupart de la faune et de la flore algériennes ;

- (iii) Entre les deux chaînes de montagnes de l'Atlas (Tellien et Saharien) se trouve la région des Hauts Plateaux des Hautes Plaines, où les parcours de steppe semi-arides s'étendent d'Est en Ouest ;
- (iv) Les montagnes de l'Atlas saharien qui s'étendent dans tout le nord de l'Algérie, du Maroc aux frontières tunisiennes ;
- (v) Les régions sub-désertiques et le désert du Sahara, caractérisés par des climats arides et désertiques avec des précipitations occasionnelles (<100 mm / an) et une grande variabilité interannuelle.



**Figure 4.** Carte de situation de la région d'étude (Nord Algérie).

### 1-1- Topographie

Le relief de La zone du Nord Algérien l'a fait diviser en grands domaines et succession de bandes biogéographiques assez homogènes (**Barry et al., 1974**). Sur le plan topographique l'Algérie s'organise en trois grandes unités structurales (Fig. 5):

**Le système Tellien** : est un ensemble qui s'étale sur environ 1600 km sur tout le Nord du pays d'Ouest en Est, c'est un ensemble topographique constitué par des reliefs escarpés, par une succession des massifs montagneux allant des monts de Tlemcen à l'Ouest jusqu'aux monts des Aurès à l'Est passant par les monts de Dahra, Ouarsenis, Hodna et les chaînes de Kabylie, des plaines tel que celles de Seybouse, Mitidja et le Chélif, une ligne côtière plaine des côtiers et des sublittoraux (**Hamdani, 2012 ; Djenba, 2015**). Ce système est marqué par une diversité

remarquable des conditions écologiques, climatiques et topographiques...etc., qui constituent l'origine de divers écosystèmes et habitats très diversifiés et très complexes, renfermant la majorité de la richesse floristique et faunistique de l'Algérie constituant une potentialité naturelle remarquable.

Le système tellien s'étale sur la totalité du pays allant d'Ouest vers l'Est, il s'organise comme suit (Fig. 6) :

Ce système prend naissance dans sa partie occidentale des frontières Algéro-marocaines constituant un prolongement des massifs marocains, constitué d'un alignement des massifs formés d'une série de montagnes, qui commencent par les monts de Tlemcene, de Dhaya, de Saïda et les monts de Beni-Chougrane et se plongent jusqu'aux plaines Oranaises et Chéelif.

Comme prolongement du tell occidental, la partie centrale est constituée d'une chaîne de montagnes qui renferment les monts de Zaccar, l'Atlas Blidéen, les massifs de Chenoua à l'Ouest d'Alger, et les massifs de Djurdjura dont le point culminant est de 2308 m.

La partie orientale de l'atlas tellien constitue la zone la plus montagneuse du pays, caractérisé par un enchaînement parallèle dédoublé de massifs constituant les chaînes internes et externes. Les chaînes telliennes internes littorales représentées essentiellement par les massifs de Collo à Skikda, l'Edough arrivant à la plaine d'Annaba, les chaînes telliennes externes sont représentées essentiellement par les Babors et les massifs de Petite Kabylie (**Djenba, 2015 ; Bouaoune, 2015**).

**L'Atlas Saharien** : A son tour est constitué de plusieurs ensembles alignés sous forme de massifs montagneux allant du Ouest en Est (Fig.7), ceci comprend essentiellement les monts de Ksour à l'Ouest avec une altitude de 2236 m au djebel Aïssa, Djebel Amour au centre du pays situé au Nord-Ouest de Laghouat avec un point culminant de 2008 m, Les monts de Ouled Naïl, les monts du Hodna, du Belezma, le massif des Aurès et les monts des Nemenchas, cet ensemble se limite aux frontières tunisiennes.

#### **Les Hautes Plaines steppiques :**

Ces zones se situent entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud (Fig. 8), Ces plaines sont limitées par les alignements des massifs montagneux parallèles (**Touati, 2010**), ce sont des larges zones plates d'une altitude entre 900 et 1200 m, constituées essentiellement des dépressions de lacs continentaux tel que les Sebkhass et les chottes dont la plus importante est celle du Hodna.

#### **Le Sahara :**

Une vaste superficie caractérisée principalement par la présence de grands espaces dunaires, séparée du Nord du pays par les séries montagneuses de l'Atlas saharien, ces zones

Entrecoupées des zones des ergs et regs qui sont des étendus caillouteux, des lacs et des sebkhas (Touati, 2010).

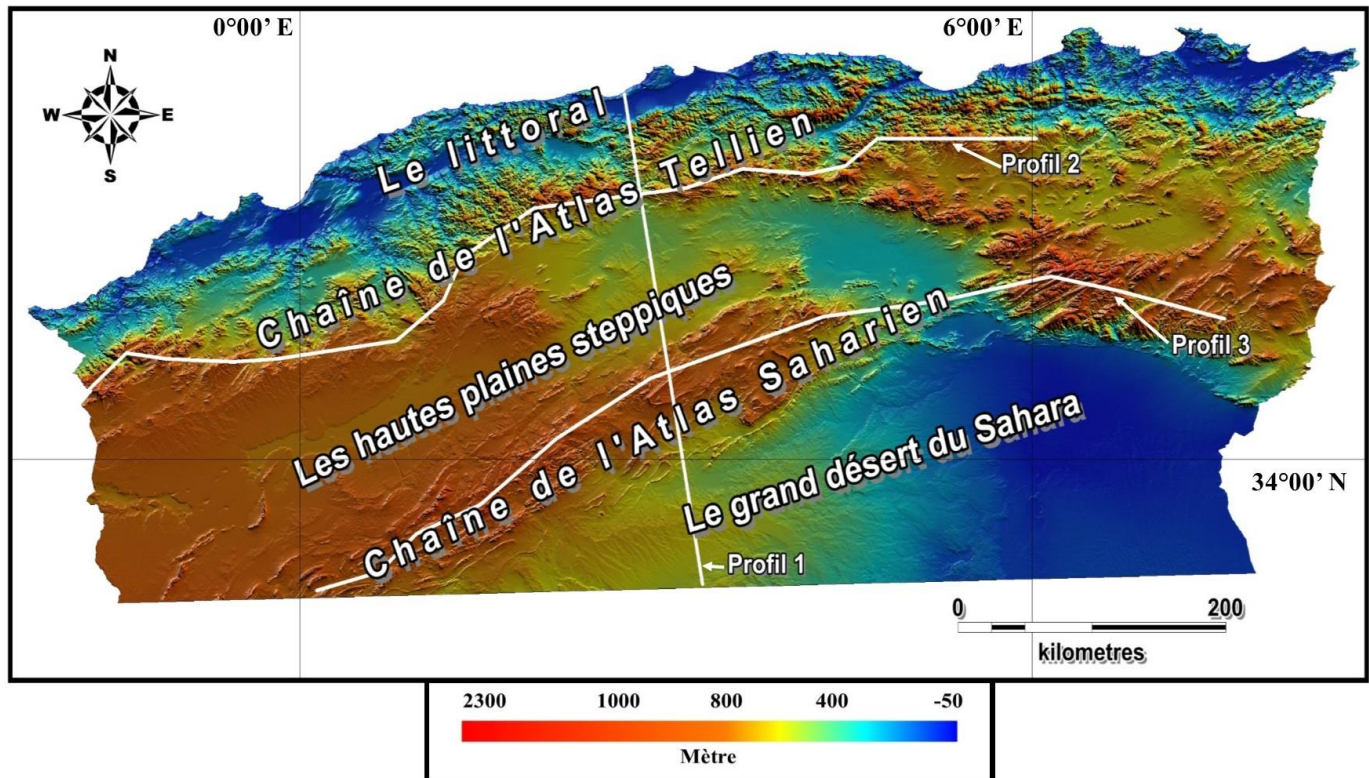


Figure 5 : carte topographique du Nord Algérien.

Un peu de détails sur les profils 1 et 2 les djebels par exemple

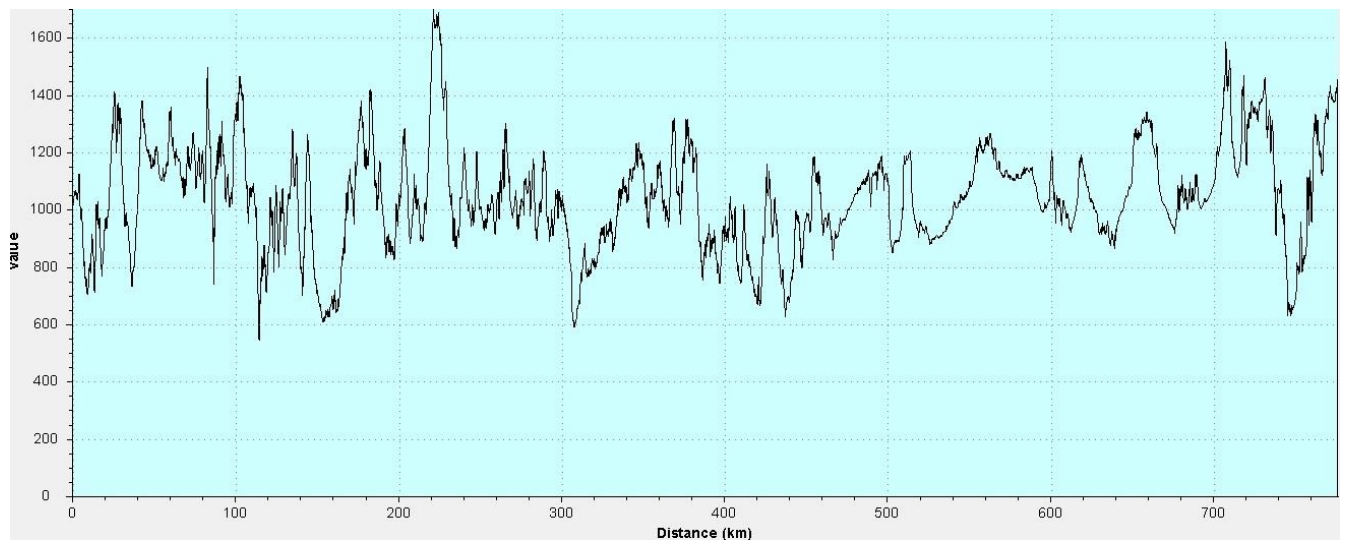


Figure 6 : Profil 2 Profil de la chaine d'Atlas Tellien

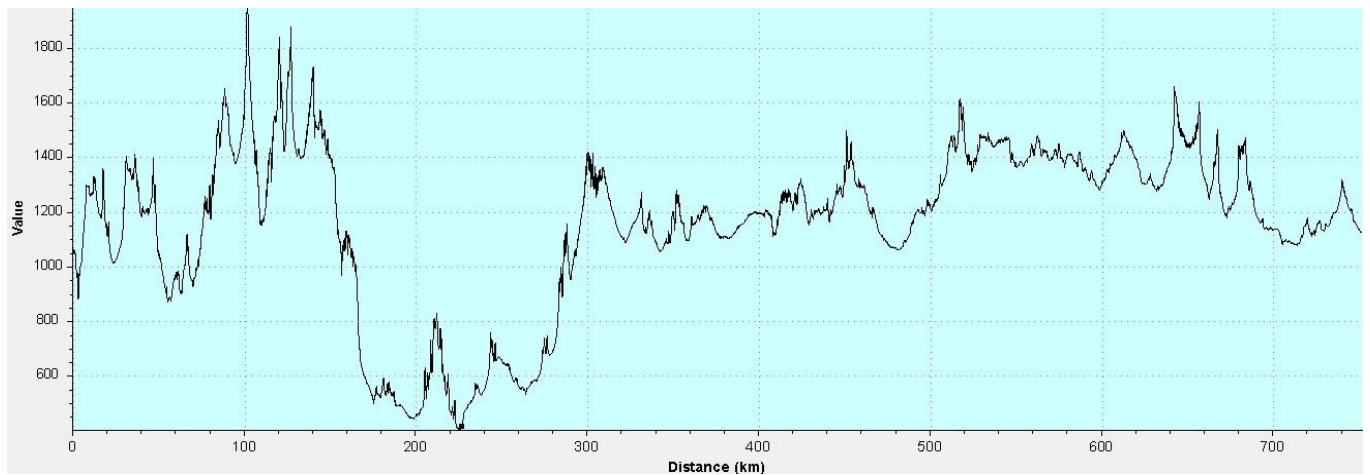


Figure 7 : Profil 3 Profil de la chaîne d'Atlas Saharien

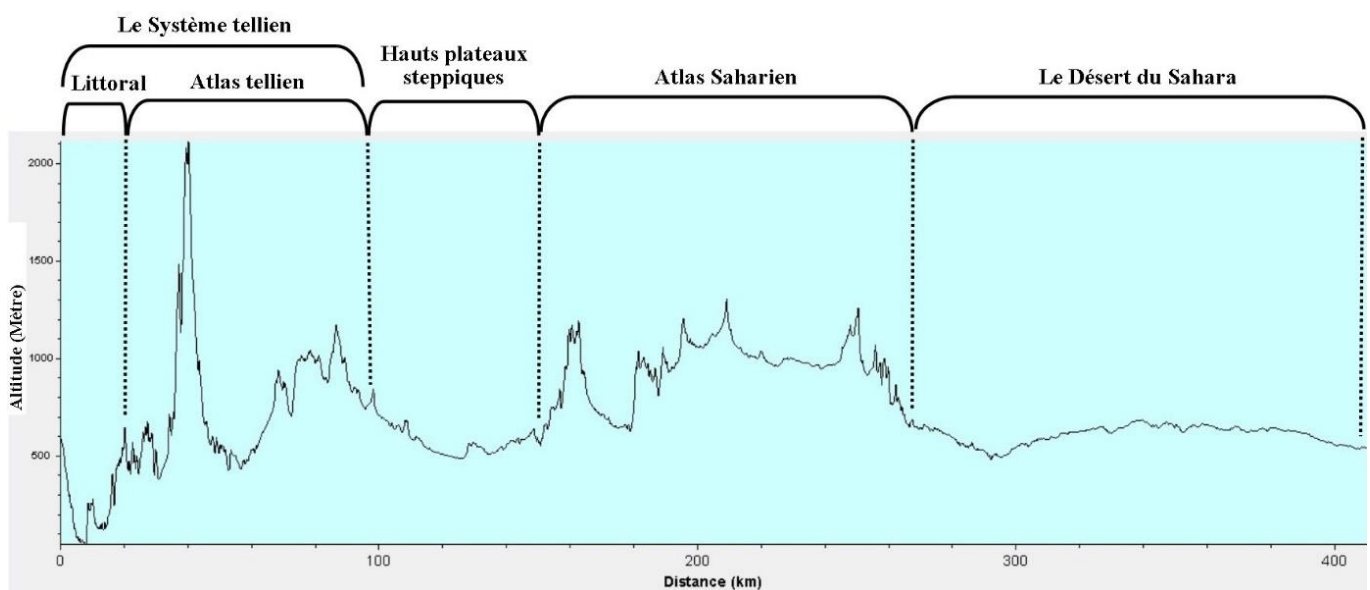


Figure 8 : Profil 1 Profil Nord-Sud

## 1-2- Géologie

La tectonique des plaques résultante des mouvements géodynamiques globale a structuré l'Algérie en deux unités structurales : L'Algérie Alpine au Nord, La plateforme saharienne au Sud (Askri et al., 1995) (Fig. 9). Les deux domaines sont séparés par la faille Sud-Atlasique.

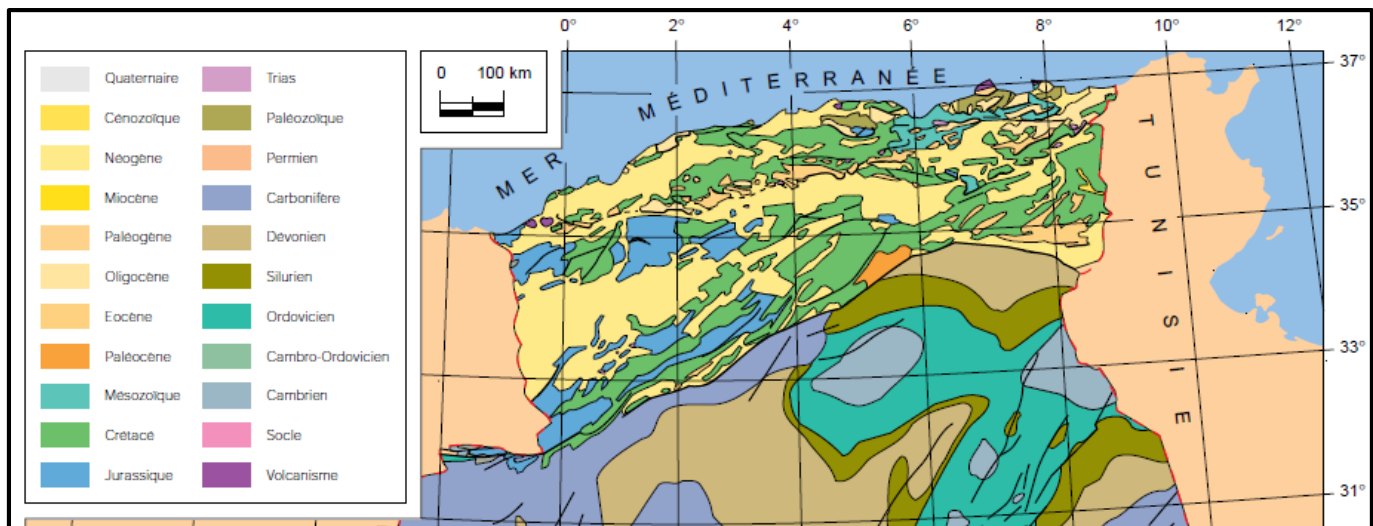
Le Domaines septentrional (Nord de l'Algérie) constitué de formation géomorphologique récente, appartenant à la chaîne alpine, ce domaine est construit aux cours du tertiaire, et qui est caractérisé par une instabilité jusqu'aux nos jours.

L'Atlas tellien caractérisé par une série sédimentaire allant du Jurassique au Miocène, parmi les structures lithologiques de cette zone sont les marnes et grés, avec présence des affleurements calcaires, des schistes et des quartzites (Kadik, 1986),

Les hauts plateaux caractérisés par une couverture sédimentaire réduite, et la présence des bassins (tel que Hodna) qui sont remplis depuis des dépôts continentaux d'âge Eocène et Oligocène, allant jusqu'au Miocène marin,

Le domaine méridionale (Plateforme saharienne), présente une stabilité par rapport à la zone du Nord, constitué de deux types de massifs, le premier est allochtone caractérisé par une formation sédimentaire de crétacés et paléogène, le deuxième massif concerne celui de l'autochtone constitué essentiellement des séries allant de paléozoïque au cénozoïque.

L'Atlas saharien constitue la limite entre les deux domaines, c'est le résultat d'une faille qui constitue un sillon subsidant entre le domaine septentrional et le domaine méridionale, les activités tectoniques compressives au niveau de cette faille durant le tertiaire ont aboutis à la formation de cette chaîne montagneuse.



**Figure 9** : Carte géologique de la région Nord Algérienne (Askri et al., 1995)

### 1-3- Végétation

Sur le plan végétation, l'Algérie est l'un des pays méditerranéens à richesse floristique importante, la diversification des étages bioclimatiques se traduit par une grande diversification de la végétation, allant du Nord au Sud, et d'une manière remarquable de l'Est à l'Ouest, sa flore est estimée à 3994 parmi 25000 espèces dans tout le bassin méditerranéen, dont la flore méditerranéenne représente 9.2 % de la flore mondiale (Hamel et al., 2013 ; Hamel et Boulemtafes, 2017). La biodiversité en Algérie a subi une forte dégradation sous l'effet de plusieurs facteurs naturels tel que la sécheresse et les facteurs lié aux activités intensives de l'être humain (Hamel et al., 2013).

Au Nord, le climat humide et subhumide couvre les zones de présence de formations forestières et près forestières, passant par les zones à climat semi-aride couvrant les steppiques à végétation

basse herbacé, ces zones sont localisées entre les deux chaînons montagneux tellien et saharien, vers le Sud où le climat est désertique caractérisé par dominance d'une végétation adaptée aux conditions xériques caractérisé par un taux d'endémisme très fort (Fig.10).

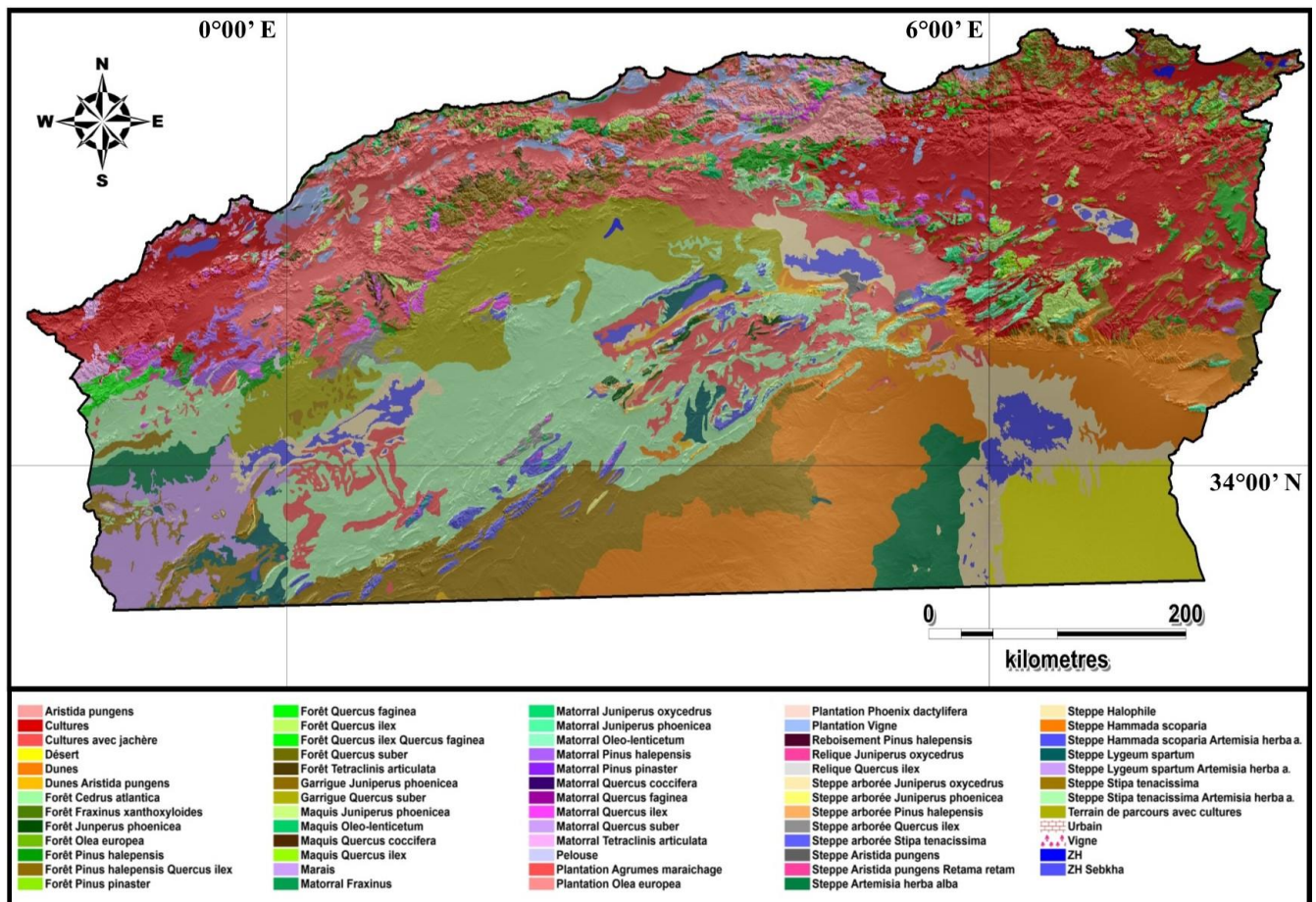


Figure 10 : Carte de végétation de la région Nord Algérienne (DGF 2006)

#### 1-4- Climat

Depuis 1970, Sous la double influence de la mer méditerranéenne d'une part et le relief d'autre part, le climat de l'Algérie a subi des modifications importantes qui se traduit par l'extension de la période de sècheresse annuelle, qui varie entre 3 à 4 mois sur le littorale, de 5 à 6 mois dans les régions intérieures steppiques et qui dépasse les 6 mois dans les régions arides et désertiques (Benslimane et al., 2009).

Selon les gradients latitudinales et longitudinales, les paramètres climatiques accusent une variabilité mensuelle et annuelle importante, se traduit par une diminution des précipitations allant de l'Est en Ouest (1000 mm/an à Annaba vers 450 mm/an à Oran) et allant du Nord vers le Sud (1500 mm/an a Jijel et 50 mm/an a Ghardaïa) (Djellouli, 1990).

De la même manière les températures suivent un gradient décroissant allant du Nord où les températures minimales sont comprises entre 0 et 9 et les maximas entre 28 et 31°C vers le Sud

dans-lequel les températures minimales varient entre -2 et 4 et les maximales entre 33 et 38°C (Halitim, 1988).

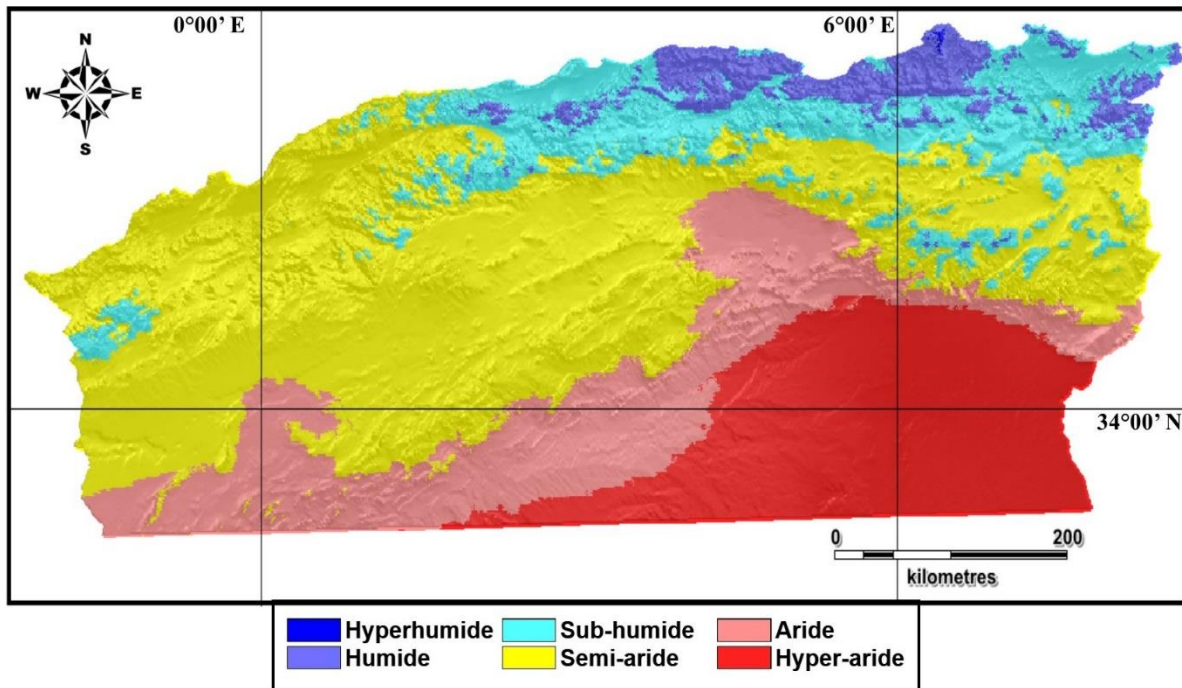


Figure 11 : Carte d'aridité de la région Nord Algérienne de la période actuelle.

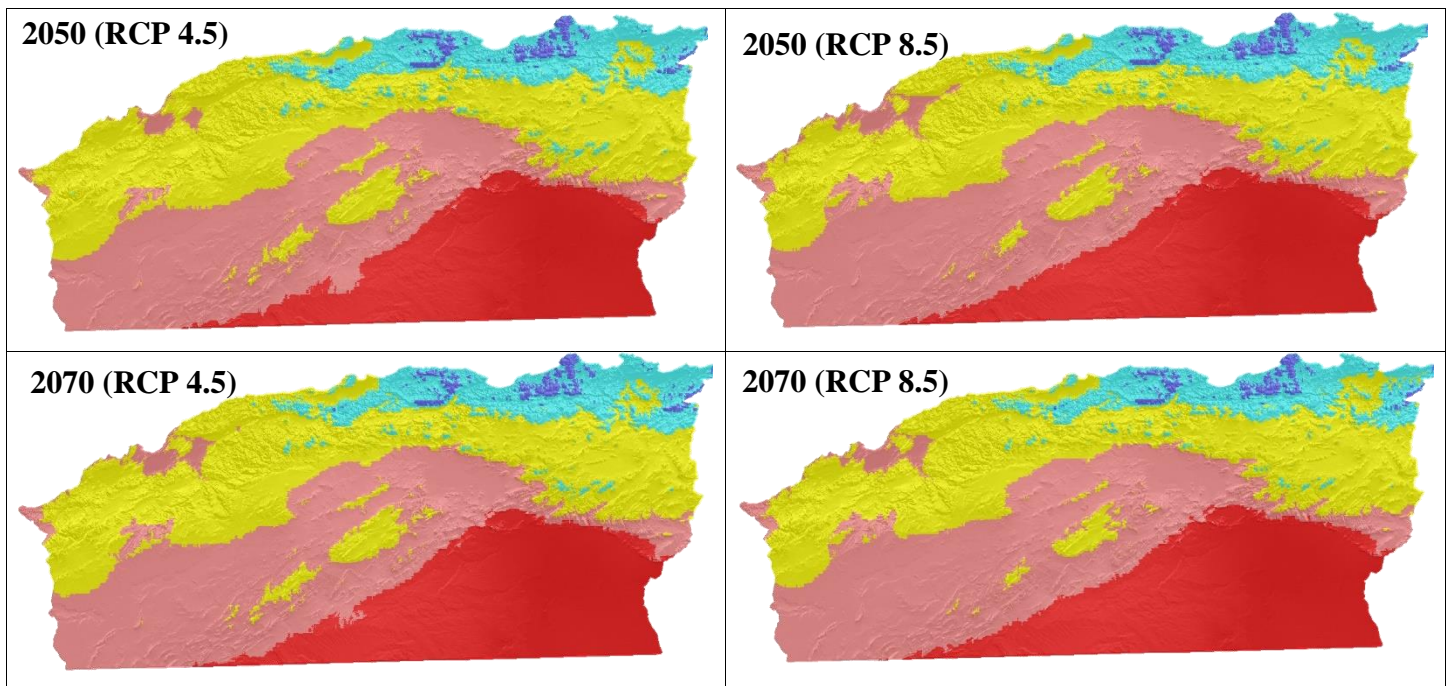


Figure 12 : Carte d'aridité de la région Nord Algérienne pour la projection future.

Selon Taibi et al 2013, le régime pluviométrique a subi une baisse entre 1970 et 1986, cette rupture sépare deux périodes pluviométriques, l'une est excédentaire (1936–1975), suivie d'une période déficitaire (1976–2001), dont le taux de variation des précipitations diffère

significativement en augmentant de l'Est en Ouest. La variabilité interannuelle des pluies augmente lorsque en allant vers les zones arides au Sud de la région d'étude du fait que ceci est influencé par l'influence conjugué des trois éléments : le gradient altitudinal, la latitude et la longitude de la région d'étude (**Meddi et Meddi, 2007**) (Fig 11 et 12).

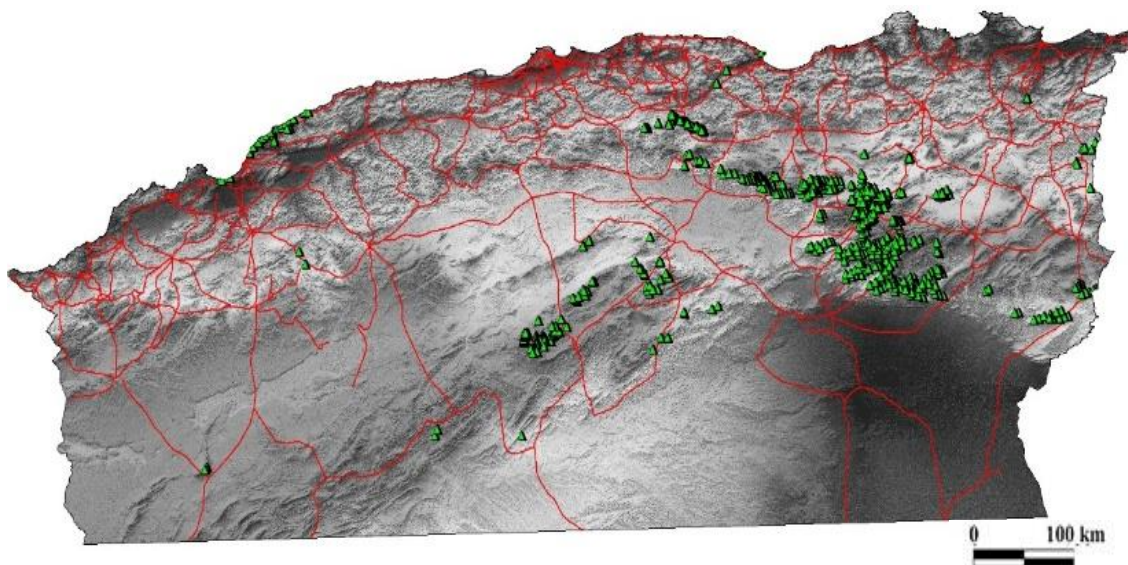
**Sol :**

Selon **Benchetrit (1956)**, les sols algériens sont classés en quatre groupes principaux selon le facteur climatique dominant dans leur formation. Mais c'est dans la partie nord du pays que les sols sont diversifiés. Le premier groupe concerne les sols sahariens, représentés par deux types principaux de sols éoliens : les sols d'ablation éolienne et les sols d'accumulation éolienne. Le deuxième groupe est constitué des sols des régions semi-arides (végétation de steppe) avec deux types, les sols calcaires contenant du calcaire ou du gypse (calcaire du substrat rocheux) et les sols en équilibre (roche-mère non calcifère). Le troisième groupe, les sols des terres humides du tell, contenant trois groupes, le groupe calcaire, le groupe non-calcaire, et le groupe des terres rouges méditerranéennes. Le dernier groupe, les sols « azonaux » (sols locaux), subdivisés en deux types, les sols salins et les sols encroûtants.

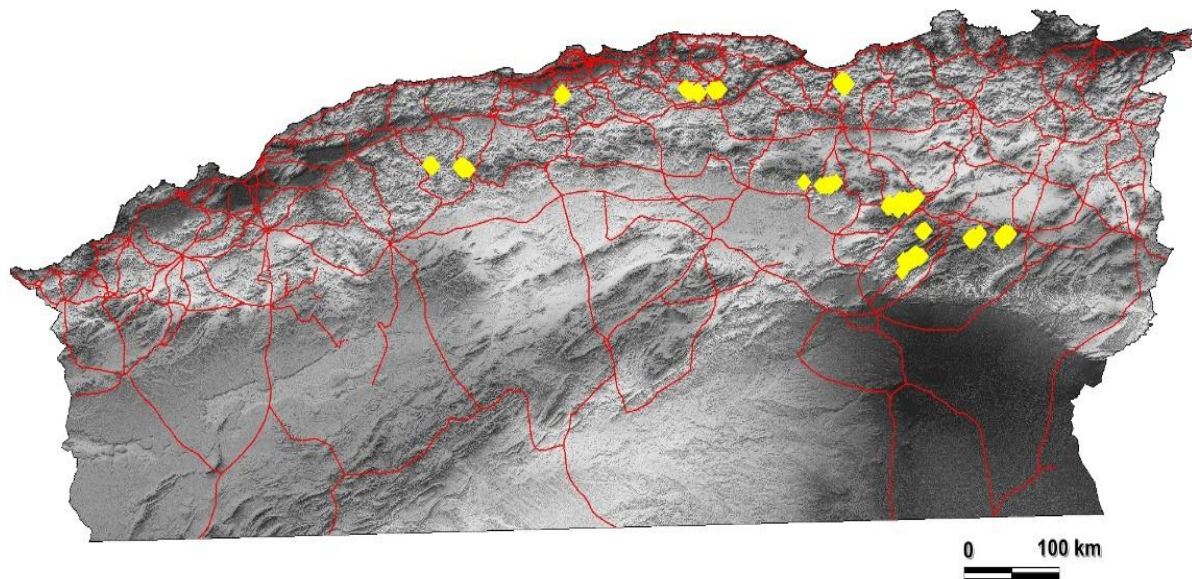
## 2- Méthodologie

### 2-1- Données d'occurrence des espèces

Des enquêtes sur le terrain ont été menées dans toute la zone d'étude afin d'avoir une représentation complète des populations de genévrier de phénicie sur son aire de répartition en Algérie. Avant de procéder à des relevés sur terrain et de collecter des données de présence d'espèces, les zones de répartition des espèces ont été documentées dans la littérature afin de déterminer les itinéraires des relevés et ainsi d'éviter de perdre du temps et des efforts. À l'aide d'un système de positionnement mondial (GPS), les données d'occurrence des espèces ont été collectées à savoir : la latitude, la longitude et l'altitude au-dessus du niveau de la mer. L'inspection des zones inaccessibles a été effectuée à l'aide de Google Earth Engine et la carte de végétation de la région pour identifier et localiser les points d'occurrence des espèces. Chaque point de présence a été considéré comme un échantillon, les échantillons groupés ont été retirés en utilisant un seul enregistrement par cellule de grille (pixel de 1 km<sup>2</sup>, voir ci-dessous) pour garantir l'absence de toute dépendance entre les valeurs géographiques des conditions environnementales dans les zones excessivement échantillonnées (Zhang et al., 2019). Au total, 850 points d'occurrence de *Juniperus phoenicea* ont été récupérées et incluses dans l'analyse (figure 13), et 854 points d'occurrence ont été collectés pour Cèdre de l'Atlas (figure 14).



**Figure 13** : Points d'occurrence (points verts) de *Juniperus phoenicea* dans le nord de l'Algérie. Les lignes rouges représentent les routes principales.



**Figure 14** : Points d'occurrence (points jaunes) de *Cedrus atlantica* dans le nord de l'Algérie. Les lignes rouges représentent les routes principales.

### 2-2- Données environnementales

La répartition des espèces d'arbres peut être influencée par un certain nombre de variables environnementales. Des études antérieures ont démontré que les conditions climatiques, édaphiques et topographiques peuvent prédire avec précision la distribution des espèces d'arbres (Tabet et al., 2018 ; Arar et al., 2020). Un total de 32 variables environnementales, dont trois groupes de données (climatiques, édaphiques, topographiques), ont été retenues parmi 50 variables pour effectuer la modélisation de la répartition potentielle actuelle et future des forêts de Cèdre de l'Atlas et Genévrier de Phénicie. Pour plus de détails, ces 32 variables ont été sélectionnées parmi 19 variables climatiques (tableau 3), 21 variables édaphiques (tableau 4) et 10 variables topographiques (tableau 5), après avoir testé la colinéarité entre les variables à l'aide de tests de corrélation de Pearson (Fig. 17). Avant toute exécution du modèle, les variables prédictives ayant une relation linéaire significative avec d'autres variables environnementales ont été exclues du modèle afin d'assurer une validité élevée des résultats. Il convient de mentionner qu'aucun niveau élevé de redondance n'existait entre les couches de variables environnementales sélectionnées, c'est-à-dire que tous les coefficients de corrélation de Pearson par paires étaient inférieurs à  $|0,8|$  (i.e.  $|r| \geq 0,8$ , Kouba et al., 2011) (Fig. 17). Le choix parmi les variables corrélées a été fait en fonction de leur rôle important dans l'adéquation des besoins écophysologiques des espèces (Guisan et Zimmermann, 2000 ; Williams et al., 2012). En outre, L'autocorrélation spatiale se produit lorsque les variables spatialisées sont dépendantes les unes des autres, d'autant plus que les localisations sont plus proches (Legendre et Fortin, 1989). Dans la présente étude, nous avons examiné l'autocorrélation spatiale pour les deux espèces en

utilisant le corrélogramme I de Moran (**Legendre et Legendre, 1998**). Le corrélogramme I de Moran a montré une disparition de l'autocorrélation spatiale à une distance de 1 km parmi les enregistrements d'occurrences. Par conséquent, toutes les couches ont été rééchantillonnées à une résolution spatiale de 1 km.

**Tableau 3** : Liste des variables bioclimatiques exploités dans la modélisation de la distribution des deux espèces (Cèdre de l'Atlas et Genévrier de Phénicie) dans le nord-est algérien.

Variables bioclimatiques		Variable brute			
Variable	Description (Nom/Unité)	T min	T max	T moy	Préc.
<b>Bio1</b>	Température moyenne annuelle			×	
<b>Bio2</b>	Moyenne amplitude diurne (Moyenne mensuelle de (Tmax - T min)).	×	×		
<b>Bio3</b>	Isothermalité (Bio2/Bio7) (* 100).	×	×		
<b>Bio4</b>	Saisonnalité de la température (écart-type * 100).			×	
<b>Bio5</b>	Température maximale de Mois le plus chaud.		×		
<b>Bio6</b>	Température minimale de Mois le plus froid	×			
<b>Bio7</b>	Plage de température annuelle (Bio5-Bio6).	×	×		
<b>Bio8</b>	Température moyenne de trimestre le plus humide			×	×
<b>Bio9</b>	Température moyenne de trimestre le plus sec			×	×
<b>Bio10</b>	Température moyenne de trimestre le plus chaud			×	
<b>Bio11</b>	Température moyenne de trimestre le plus froid			×	
<b>Bio12</b>	Précipitations annuelles.				×
<b>Bio13</b>	Précipitation de mois le plus humide				×
<b>Bio14</b>	Précipitation de mois le plus sec				×
<b>Bio15</b>	Saisonnalité des précipitations (coefficient de variation).				×
<b>Bio16</b>	Précipitation de trimestre le plus humide				×
<b>Bio17</b>	Précipitation de trimestre le plus sec				×
<b>Bio18</b>	Précipitation de trimestre le plus chaud			×	×
<b>Bio19</b>	Précipitation de trimestre le plus froid			×	×

**Tableau 4** : Liste des variables Édaphiques exploités dans la modélisation de la distribution des deux espèces (Cèdre de l'Atlas et Genévrier de Phénicie) dans le nord-est algérien.

Code du Variable	Description du variable	Source
<b>Limon</b>	Fraction de texture du sol: Limon [%]	SoilGrids
<b>Sable</b>	Fraction de texture du sol: Sable [%]	SoilGrids
<b>Argile</b>	Fraction de texture du sol: Argile [%]	SoilGrids
<b>NTO</b>	Azote total du sol [g / kg]	SoilGrids
<b>CTO</b>	Carbone total du sol [g / kg]	SoilGrids
<b>K+_Échang</b>	K + échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids

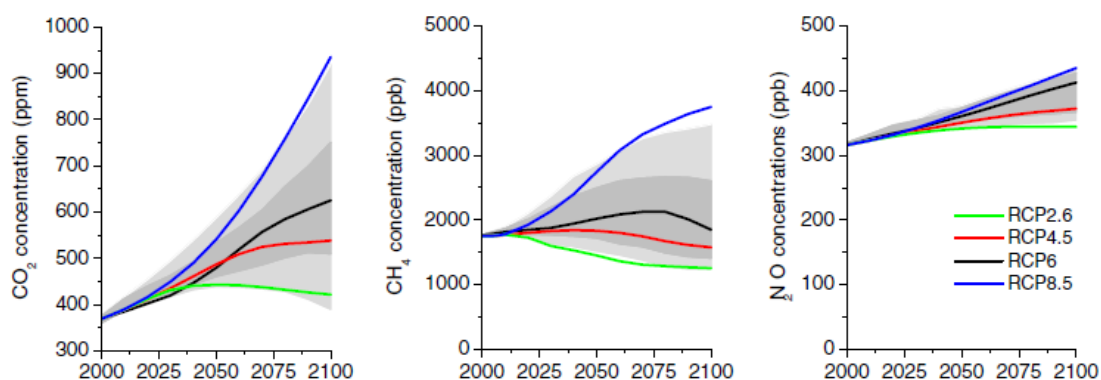
<b>Mg++_Échang</b>	Mg ++ échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids
<b>Ca+_Échang</b>	Ca ++ échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids
<b>Na+_Échang</b>	Na + échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids
<b>pH</b>	Hydrogène potentiel	SoilGrids
<b>CEC</b>	Capacité d'échange cationique [cmolc / kg]	SoilGrids
<b>C/N</b>	Rapport carbone / azote (rapport C / N)	SoilGrids
<b>CE</b>	Conductivité électrique [dS / m]	SoilGrids
<b>S/T</b>	Saturation en bases (%) = (bases échangeables totales [cmolc / kg] / CEC)	SoilGrids
<b>Dens_app</b>	Densité apparente du sol (terre fine) [kg / m3]	SoilGrids
<b>Porosité</b>	Porosité [%]	SoilGrids
<b>Bilan-ann</b>	Capacité annuelle en eau disponible du sol [mm]	Calculé
<b>Bilan-hivers</b>	Capacité en eau disponible du sol d'hiver [mm]	Calculé
<b>Bilan-automn</b>	Capacité disponible en eau du sol en automne [mm]	Calculé
<b>Bilan_Print</b>	Capacité disponible en eau du sol au Printemps [mm]	Calculé
<b>Bilan_Été</b>	Capacité en eau disponible du sol estival [mm]	Calculé

**Tableau 5** : Liste des variables Topographiques exploités dans la modélisation de la distribution des deux espèces dans le nord-est algérien.

<b>Code du Variable</b>	<b>Description du variable</b>	<b>Source</b>
<b>Alt</b>	Altitude [m]	Dérivé de l'MNT
<b>Pente</b>	Pente [%]	Dérivé de l'MNT
<b>Exp</b>	Exposition	Dérivé de l'MNT
<b>Rug_topo</b>	Rugosité topographique	Dérivé de l'MNT
<b>Dist_mer</b>	Distance à la mer [m]	Dérivé de l'MNT
<b>Reg_Ann</b>	Rayonnement global annuel [Wh / m2]	Dérivé de l'MNT
<b>Reg_Été</b>	Rayonnement global d'été [Wh / m2]	Dérivé de l'MNT
<b>Reg_Printemps</b>	Rayonnement global du printemps [Wh / m2]	Dérivé de l'MNT
<b>Reg_Hivers</b>	Rayonnement global d'hivers [Wh / m2]	Dérivé de l'MNT
<b>Reg_Automn</b>	Rayonnement global d'automn [Wh / m2]	Dérivé de l'MNT

Sur 19 variables climatiques obtenues auprès de WorldClim (<http://worldclim.org/version1>: Hijmans et al., 2005), Neuf ont été sélectionnées pour les trois périodes 1950-2000 (ci-après dénommées « période actuelle »), années 2050 et 2070, à savoir : plage diurne moyenne (moyenne mensuelle (temp max - temp min -)) 'Bio2', isothermalité 'Bio3', saisonnalité de la température 'Bio4', température minimale du mois le plus froid 'Bio6', température moyenne du trimestre le plus humide 'Bio8', température moyenne du trimestre le plus sec 'Bio9', précipitations

du mois le plus sec 'Bio14', saisonnalité des précipitations ' Bio15 ', précipitations du quartier le plus humide' Bio16 ' . Les données woldclim sont des couches de données issues d'une interpolation des données climatiques mensuelles moyennes des stations météorologiques formant des grilles qui peuvent atteindre jusqu'à 30 arc-secondes de résolution (**Poggio et al., 2018**). Les données du présent ont une longue fourchette temporelle, de 1960 à 1990 (version 1.4) ou de 1970 à 2000 (version 2). Les prévisions futures des données climatiques ont été obtenues selon deux scénarios (RCP4.5 et RCP8.5) (RCP : Représentation Concentration Pathways) Ces deux scénarios du modèle CCSM4.0 (Community Climate System Model 4) d'émission ont été analysés en utilisant des simulations de prévisions dans le contexte du modèle climatique réalisées dans le cadre de la phase 5 du projet d'intercomparaison de modèles couplés (CMIP5) établis par le GIEC (2014) (**Qin et al., 2017**). Les deux RCP représentent des voies distinctes pour les concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols : le RCP4.5 est un scénario d'émission intermédiaire avec des concentrations moyennes et le RCP8.5 est un scénario pessimiste avec les concentrations atmosphériques plus élevées (fig. 15) (**IPCC, 2014 ; Makino et al., 2015**).



**Figure 15:** Tendances dans l'évolution des concentrations de gaz à effet de serre selon les 4 profils d'évolution de la concentration. De gauche à droite, on retrouve : le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) le méthane (CH<sub>4</sub>), et les oxydes nitreux (N<sub>2</sub>O) (Source : **Vuuren et al., 2011**)

Sur 21 paramètres du sol obtenus auprès de SoilGrids (<https://soilgrids.org>), un système automatisé qui produit des ensembles de données pédologiques dérivés de la cartographie numérique des sols (**Maire et al., 2015**), ces données jusqu'à présent sont les plus détaillées, contenant des prédictions de certain nombre de propriétés du sol spatialement interpolées a une résolution qui peut atteindre 250 x 250 m, ces données représentent les propriétés du sol jusqu'à sept classes de profondeurs du sol (0, 5, 15, 30, 60, 100 et 200 cm) (**Liang et al., 2019**). 17 variables physico-chimiques et nutritionnelles ont été retenues, à savoir. Teneur en argile [%],

teneur en sable [%], carbone total du sol « CTO » [g / kg], azote total du sol «NTO», rapport carbone / azote «C / N», quatre cations échangeables (Ca ++, Mg ++, Na + et K +), conductivité électrique «CE», capacité d'échange cationique «CEC», densité apparente [kg / m<sup>3</sup>], pH, porosité [%] et saturation en bases (total des bases échangeables / CEC) [%]. De plus, les données climatiques et édaphiques, des bases de données WorldClim et solgrids, respectivement, ont été utilisées pour calculer la capacité en eau disponible du sol de l'été 'Bilan\_été ' et du printemps 'Bilan\_Print ' pour la période de 1950 à 2000 et les projections futures 2050 et 2070 (**voir section suivante**) (Tabet et al., 2019).

Les données liées à la topographie ont été dérivées du modèle d'élévation numérique global d'ASTER GDEM version 2 (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem-wist.asp>). Un total de 6 variables a été retenu dans la modélisation, à savoir. Altitude [m a.s.l.], pente [%], exposition, rayonnement théorique global de l'été [Wh / m<sup>2</sup>], rayonnement théorique global du printemps [Wh / m<sup>2</sup>], et distance à la mer [km].

### **2-3- Capacité en eau disponible du sol**

#### **Méthodologie de calcul du Bilan hydrique du sol**

Le bilan hydrique est un indicateur d'une importance capitale vis-à-vis les besoins de la végétation naturelle ou l'Agriculture, son évaluation permet la gestion et la planification dans le cadre d'une utilisation rationnelle des ressources naturelles et participe vivement au développement durable notamment au niveau des zones arides et semi arides. La quantification et l'évaluation du bilan hydrique du sol reste un des problèmes de la recherche hydrologique, il se définit comme la quantité des eaux entrées dans la fraction vide des sols à une profondeur déterminée, cette quantité d'eau varie spatialement et temporellement dépendamment de plusieurs facteurs du milieu (par exemple précipitations, température, les caractéristiques granulométriques du sol, la profondeur du sol,...etc.).

#### **Le model du Bilan hydrique du sol :**

Nous avons appliqué un modèle simple de calcul du bilan hydrique à partir des données climatiques à savoir, les précipitations et l'évapotranspiration, et des données édaphiques à partir duquel nous avons extrait la réserve maximale que les sols pour chaque pixel peuvent contenir. Les données édaphiques utilisées sont : taux de Sable, taux d'argile, taux de matière organique.

#### **Évapotranspiration**

Pendant la saison de croissance des végétaux, le facteur le plus contribuant aux pertes importantes en eau du sol est l'évapotranspiration, notamment au niveau des régions arides et semi-arides. L'évapotranspiration est un facteur qui est lié à plusieurs facteurs

environnementaux que ça soit humidité du sol à travers les profils verticaux ou les précipitations qui est un paramètre très important d'alimentation en eau du sol, les précipitations ont une répartition très hétérogène tout au long de la surface de la zone Nord Algérienne, une hétérogénéité qui se traduit par la variation spatiale induite par les reliefs et la distance à la mer (continentalité) (Touazi et Laborde, 2004), ces facteurs auxquels s'ajoute le comportement stomatique du couvert végétale en place (Daly et Porporato, 2004).

Pour estimer l'évapotranspiration à travers toute la zone d'étude, nous avons choisi la formule de Thornthwaite qui utilise des facteurs d'évapotranspiration en les comparant avec les précipitations, à travers cette formule nous allons calculer les mouvements des eaux ascendants à partir du sol vers l'atmosphère et donc de savoir les changements hydriques mensuels du sol (Vieira et al 2017).

La formule de Thornthwaite utilisée est la suivante :

$$ETP(m) = 16 * \left[ \frac{10 * \bar{T}(m)}{I} \right]^a * F(m,\varphi)$$

Avec:

- ETP (m) : l'évapotranspiration moyenne du mois m (m = 1 à 12) en mm,
- T : moyenne interannuelle des températures du mois, °C
- a :  $0.016 * I + 0.5$
- I indice thermique annuel :

$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \quad i(m) = \left[ \frac{\bar{T}(m)}{5} \right]^{1.514}$$

Dont :

- i (m) : indice thermique mensuel.
- T (m) : Température moyenne mensuelle.

### Réserve utile maximale RUM :

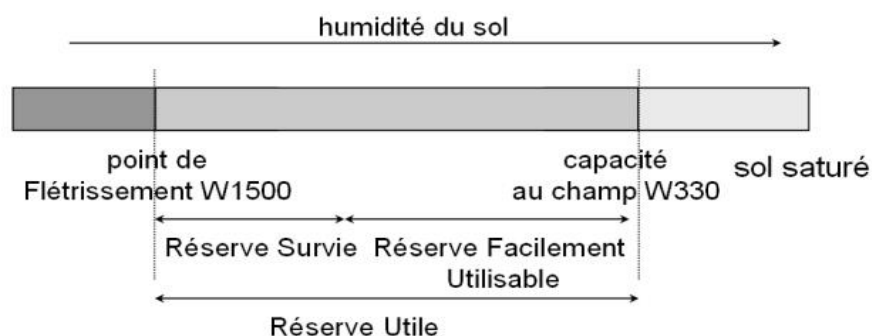
Dans cette section nous avons procédé au calcul par chaque pixel de la grille la réserve en eau maximale que le sol peut retenir à travers les diverses profondeurs (Fig. 16). La modélisation est une technique qui nous permette de calculer un tel paramètre important en prenant en compte les paramètres texturaux du sol pour chaque cellule de la grille. De ce fait, nous avons utilisé dans ce travail les équations de régression linéaire de Rawls (1982), qui est estimé par la différence entre la teneur en eau du sol au champ (CC = 2.0) et le point de flétrissement (PF =

4.2) pour tous les profondeurs du sol (**Bruand et al., 2003**), en prenant en compte la densité apparente du sol en la multipliant la différence précédemment cité, dans le but d'exprimer les valeurs de la teneur en eau calculées en référence volumique (**Bruand et al., 1996**) et en soustrayant la charge caillouteuse du sol CC.

La formule de calcul est la suivante en tenant en compte la charge caillouteuse du sol pour tous les horizons du sol :

$$RUM2 = \left(1 - \frac{\sqrt{CC}^3}{100}\right) \sum_{h=1}^H \theta_{-33kPA} - \theta_{-1500kPA} Dh$$

- 
- Dont
- RUM= réserve utile Maximale du sol
- CC= charge caillouteuse du sol,
- W330 = teneur en eau à -330 hPa (en mm/m) qui est la capacité au champ
- W15000 = teneur en eau à -15 000 hPa (en mm/m) qui est les points de flétrissements.
- h : épaisseur de l'horizon (en m)
- Pour le calcul de la teneur en eau du sol à la capacité au champ et au point de flétrissements nous avons utilisé les formules suivantes en tenant en compte les caractéristiques granulométriques du sol :
- $W330 = 257,6 - (2 \times Sa) + (3,6 \times Ar) + (29,9 \times MO)$
- $W15000 = 26 + (5 \times Ar) + (15,8 \times MO)$
- Dont
- SA : teneur en sable (en %)
- Ar : teneur en argile (en %)
- MO : teneur en Matière organique (en %)



**Figure 16** : Schéma représentant la réserve utile en eau du sol (Source Site d'université lemans : [http://uved.univ-lemans.fr/Grain-1\\_Kit\\_1-Bilan/co/grain\\_Exo\\_02.html](http://uved.univ-lemans.fr/Grain-1_Kit_1-Bilan/co/grain_Exo_02.html))

**Réserve utile réelle du sol RUR :**

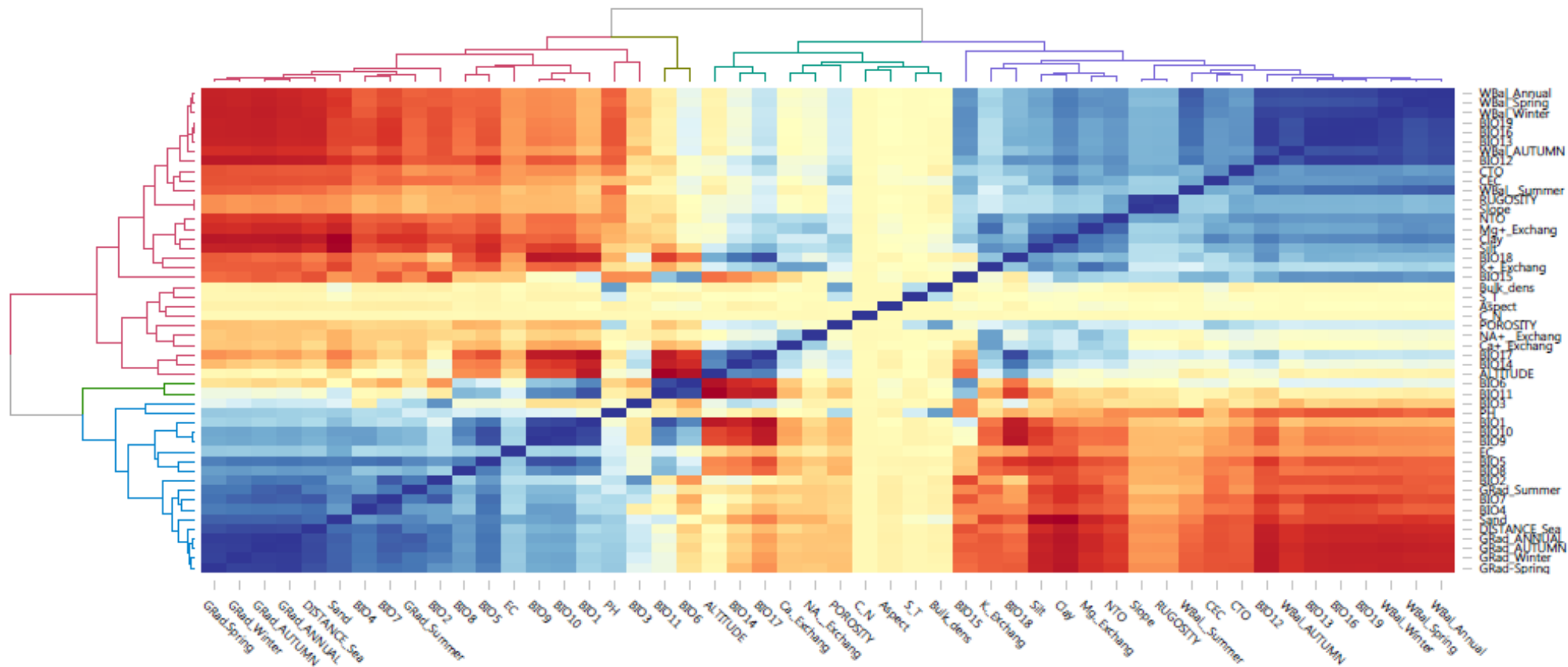
La réserve utile réelle du sol a été calculée pour chaque mois,

La méthodologie de calcul vise à déterminer les distributions spatiotemporelles (mensuelles) de la réserve en eau réelle du sol à travers toutes les profondeurs pour toute la région d'étude pixel par pixel, en utilisant la méthode indiquée ci-dessous :

Réserve en eau réelle = quantité d'eau du sol antécédente + précipitation – (évapotranspiration + ruissellement + interception + infiltration).

Cette méthode a pour objectif d'évaluer la dynamique mensuelle (que nous l'avons transformé en données saisonnières) pour la période actuelle et pour les deux horizons futurs 2050 et 2070 des quantités d'eaux contribuant à recharger la réserve maximale du sol à travers toutes les profondeurs en soustrayant les quantités des eaux en surplus qui sont perdues à travers l'évapotranspiration, ruissellement, interception et infiltration (**Dripps et Bradbury, 2007**).

Toutes les couches de données spatiales ont été créés et traitées à l'aide des logiciels de cartographie et télédétection spatiale ENVI 5.1, ArcGIS 10.3, Global Mapper 19, MapInfo 10.3. Toutes les données spatiales ont été rééchantillonnées a une résolution spatiale de 1 km a l'aide de la technique de rééchantillonnage du plus proche voisin.



**Figure 17.** Carte thermique montrant la matrice de corrélation entre les 50 variables environnementales utilisées dans la modélisation de niche écologique de la distribution potentielle des forêts de Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) et Genévrier de phénicie (*Juniperus phoenicea*) en Algérie.

Les valeurs des coefficients de corrélation de Pearson sont affichées par la couleur et l'intensité de l'ombrage. ■  $r = +1$  ■  $r = -1$

#### 2-4- Procédure de modélisation

La modélisation de la distribution potentielle de *Juniperus phoenicea* et *Cedrus atlantica* a été réalisée en utilisant la méthode de l'entropie maximale (MaxEnt, version 3.4.1, **Phillips et al., 2006**) qui est un algorithme d'apprentissage automatique. Bien qu'il utilise des données de présence uniquement, MaxEnt fonctionne mieux que plusieurs d'autres méthodes en termes de précision prédictive (**Phillips et al., 2006 ; Elith et al., 2011 ; West et al., 2016**). Comme tout modèle statistique, la pertinence et la performance du modèle mis en œuvre doivent être évaluées afin de garantir la validité des résultats du modèle. Dans SDM, cela se fait généralement par le calcul de la capacité de discrimination (**Guisan et al., 2017**) en utilisant la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) comme proxy. La courbe ROC estime la probabilité qu'une présence réelle (sensibilité) et une absence réelle (spécificité) soient correctement discriminées par le modèle (**Chen et al., 2015**). L'importance de cette courbe est quantifiée par le score de la zone sous courbe (AUC). Dans la présente étude, l'AUC a été calculée et validée de façon croisée sur la base de dix répétitions. L'ensemble de données a été divisé en dix sous-ensembles, dont un sera conservé comme données de test pour les dix répétitions du modèle, pour chaque répétition, les 90% des données restantes sont utilisées comme données d'apprentissage. Par conséquent, la valeur AUC résultante est la moyenne des tests de validation croisée décuplés (**West et al., 2016, El-Gabbas et Dormann, 2018**). L'AUC varie entre 0 et 1 : lorsque l'AUC est inférieur à 0,5, le modèle n'a pas de capacité prédictive, tandis que le modèle présente les performances maximales lorsque l'AUC = 1. La performance prédictive du modèle est considérée comme faible pour l'AUC allant de 0,5 à 0,7, de 0,7 à 0,9 la performance est bonne, supérieure à 0,9 le modèle est très efficace (**Bahn et McGill, 2013 ; Guisan et al., 2017**). La cartographie finale de la distribution potentielle des espèces est représentée comme une spatialisation des valeurs de probabilité d'occurrence allant de 0 à 1 (**Elith et Leathwick, 2009**). Les courbes de réponse des espèces par rapport à chaque variable environnementale ont été tracées et représentées, ces courbes correspondent aux variations des probabilités d'occurrence de l'espèce en fonction du gradient de chaque variable prédictive.

#### Examen des changements spatio-temporels dans l'aire de répartition des espèces

Les résultats de la distribution potentielle de *Juniperus phoenicea* et *Cedrus atlantica* ont été exploités pour évaluer tout changement possible entre la période actuelle et les changements climatiques futurs en 2050 et 2070 pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Pour chaque pixel produit dans chaque carte de scénario, les informations de longitude, latitude et altitude ont été extraites pour la classe à fort potentiel d'occurrence d'espèce (probabilité d'occurrence  $\geq 0,6$ ). Les variations de longitude, latitude et altitude entre les pixels sélectionnés de chaque carte de

scénario et ceux de la distribution potentielle actuelle ont été testés à l'aide de deux méthodes statistiques : pour Genevrier de phénicie les données ont été testées à l'aide de modèles linéaires généralisés (GLM). Chaque GLM a été ajusté à une erreur de distribution gaussienne avec un lien « Identité » en utilisant la fonction `glm` du package R `{stats}`. Si la variation entre deux scénarios est statistiquement significative (c'est-à-dire  $P \leq 0,05$ ), cela signifie que l'aire de distribution de *Juniperus phoenicea* se déplacera. Le changement de gamme peut être longitudinal, latitudinal ou altitudinal. Pour *Cedrus atlantica*, les variations de longitude, latitude, altitude et conditions climatiques entre les pixels sélectionnés de chaque carte des scénarios et ceux de la distribution potentielle actuelle ont été testés à l'aide du test ANOVA unidirectionnel non paramétrique de Kruskal-Wallis. De plus, le test Dwass-Steel-Crichtlow-Fligner a été utilisé pour des comparaisons par paires. Les analyses ont été effectuées en utilisant la fonction «`ggbetweenstats`» du package `{ggstatsplot}` dans R (**Patil et Powell, 2018**)

# Chapitre III

“  
*Résultats et Discussion*  
”

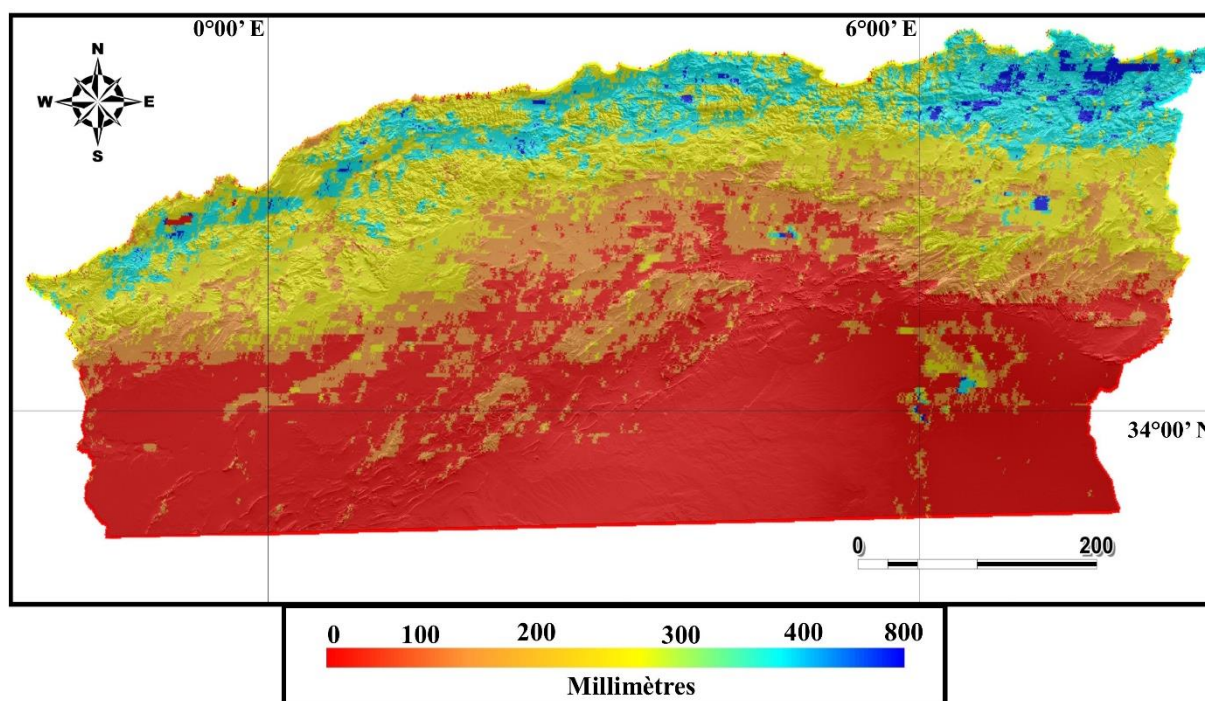
## 1- Résultats

### 1-1- Données complémentaires obtenus

#### Bilan hydrique du sol

Afin d'intégrer toutes les données nécessaires au bon déroulement de notre modèle SDM, nous avons obtenu une cartographie de la dynamique spatiale de la réserve utile en eau du sol, en calculant de la réserve en eau maximale que le sol peut retenir sous les divers conditions édaphiques (granulométriques), et cela pour objectif de calculer la réserve utile réellement retenu dans chaque pixel de la grille couvrant la zone d'étude sous les divers changements des événements climatiques saisonniers actuelles et pour les deux projections de la période future 2050, 2070.

La figure 18 suivante représente une approche de spatialisation de la distribution de la capacité maximale que le sol peut retenir au niveau de l'Algérie du Nord, l'évaluation de tel paramètre a nécessité l'intégration de plusieurs facteurs édaphiques contrôlant le phénomène de rétention d'eau dans le sol (composition granulométrique, teneur en carbone organique ou matière organique et la densité apparente) pour l'estimation a différente valeur de potentiel qui correspondent à la teneur en eau a la capacité du champ et au points de flétrissement.



**Figure 18** : Réserve utile maximale en eau du sol (RUM) de l'Algérie du Nord.

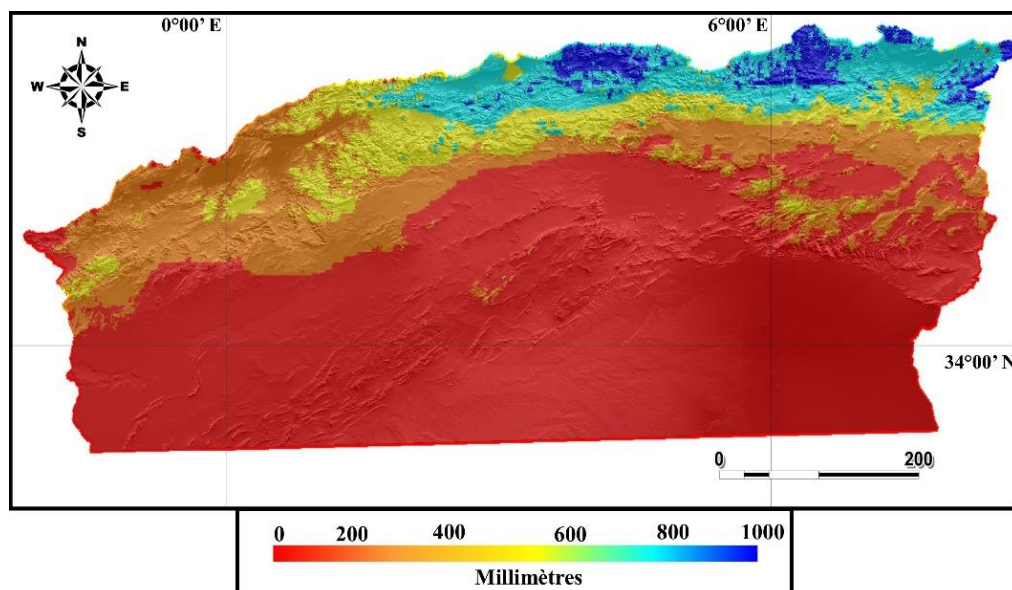
La carte montre une distribution logique de la capacité de stockage en eau du sol en allant du Nord où les sols sont destinés pour l'agriculture a structure équilibrée contenant les divers types de texture, vers le Sud où les sols sont quasi totalement sableux à capacité de rétention en eau

presque nul en passant par les zones des hauts plateaux steppiques caractérisées par un relief accidenté dont la roche mer est proche à la surface.

### **Reserve utile en eau réelle (RUR) saisonnière du sol.**

La répartition et la dynamique des réserves en eau du sol alimentées par les événements climatiques saisonniers est représenté sous forme de cartes ci-dessous (Fig 19 et 20), les précipitations et l'évapotranspiration constituent les principaux contributeurs dans l'équation de l'équilibre hydrique du sol, d'une part l'évapotranspiration constitue une partie importante de la perte d'eau du sol dans la direction Sol-atmosphère, cette perte varie considérablement selon les saisons, notamment au Sud de la zone d'étude caractérisée par un climat semi-aride et aride à longue période sèche au cours de l'année. D'autre part la capacité de stockage du sol est alimentée par les précipitations saisonnières. Les pertes d'eau du sol par infiltration ou ruissèlements superficielle est une situation qui se produit lorsque les quantités d'eau introduite par les divers évènements mensuels sont en dehors de la capacité de stockage maximale du sol.

### **Pour la période actuelle**



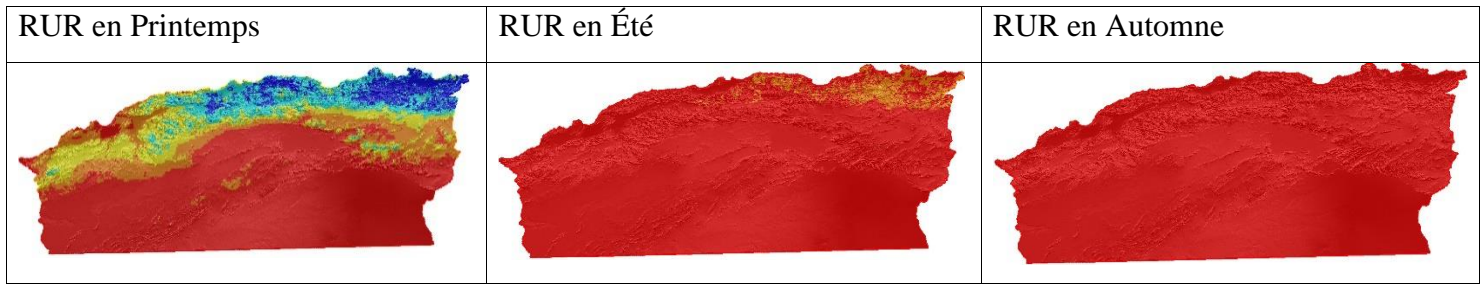
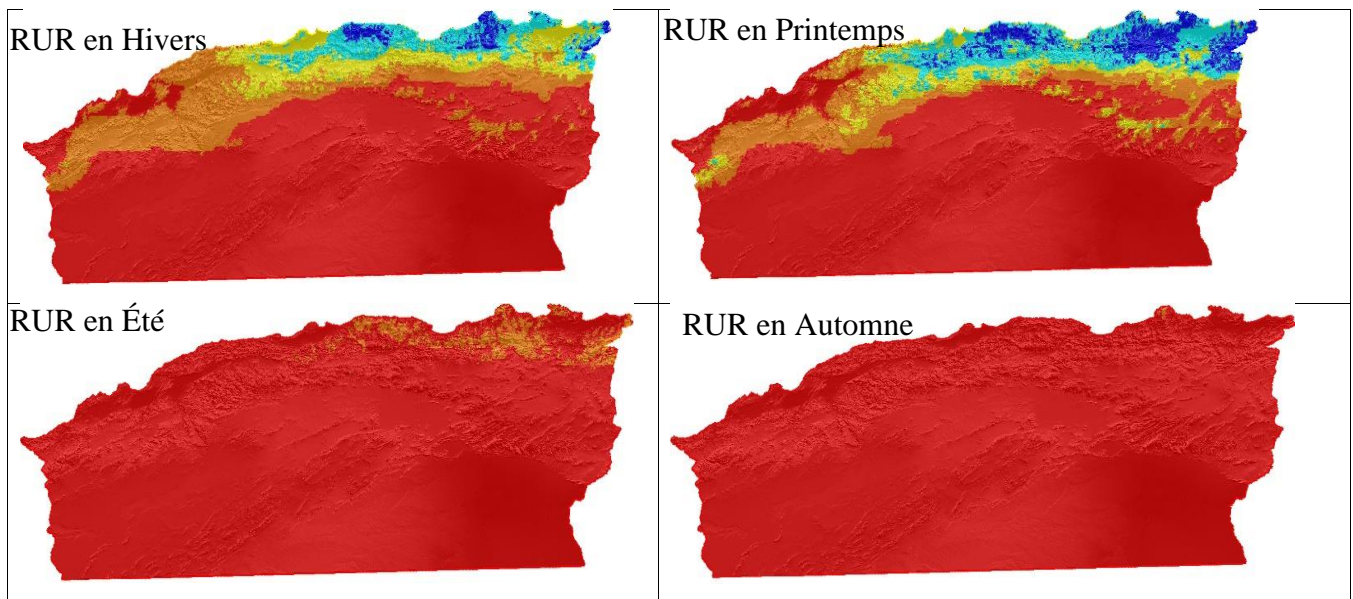


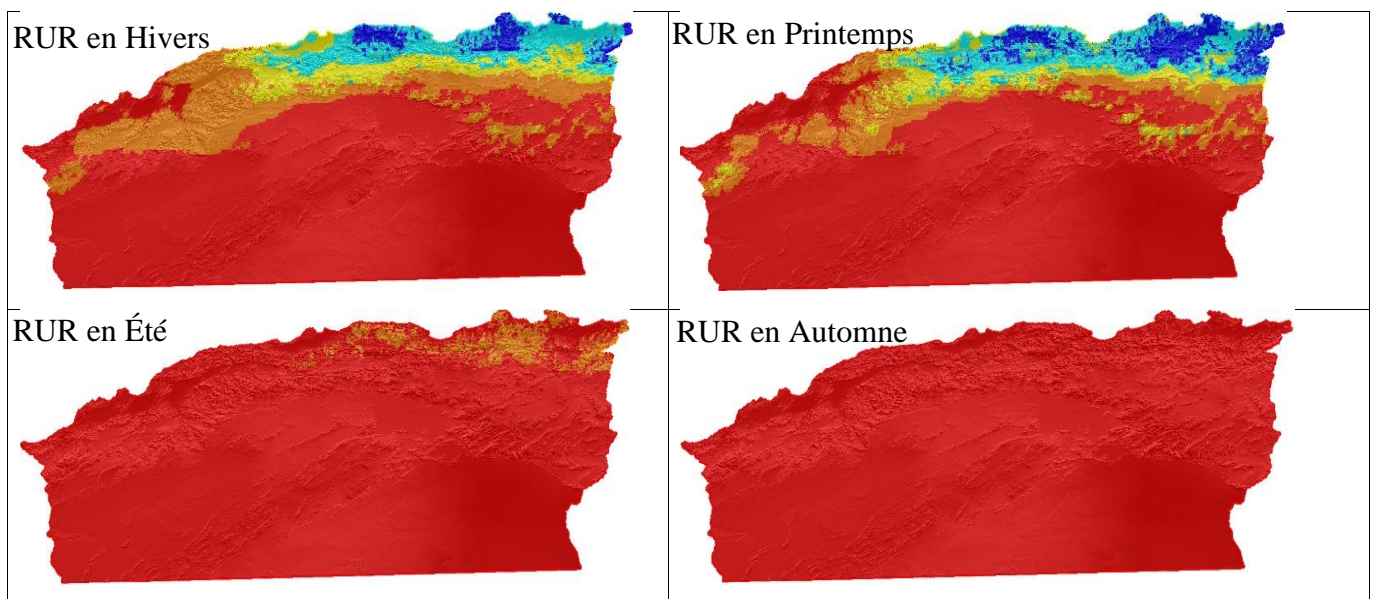
Figure 19 : Carte de la réserve en eau utile du sol (RUR) en Hivers pour la période actuelle.

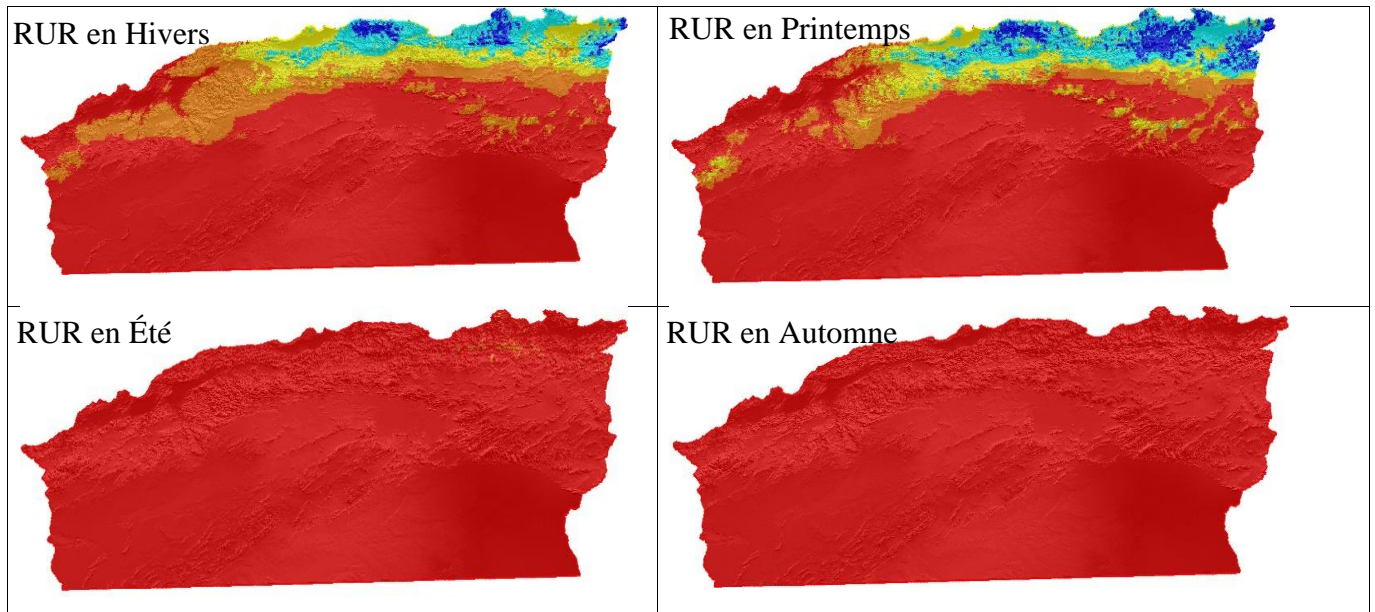
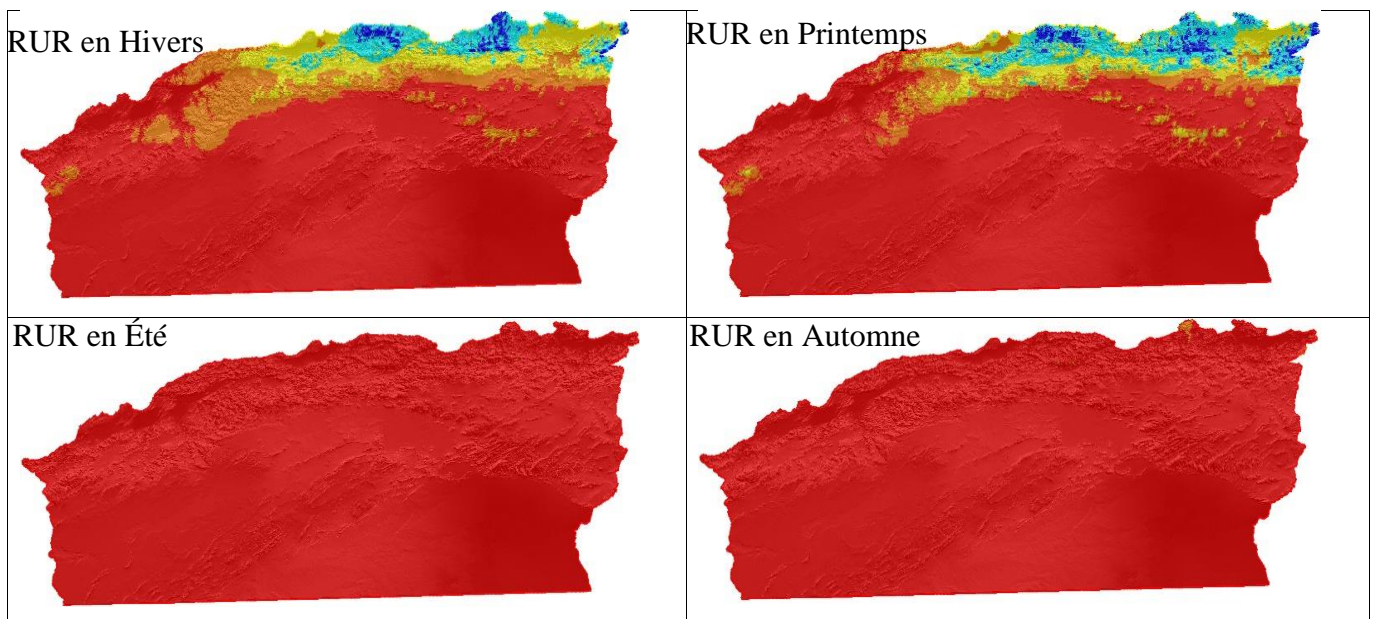
**Pour la projection 2050**

**Scénario RPC 4.5**



**Scénario RPC 8.5**



**Pour la projection 2070****Scénario RPC 4.5****Scénario RPC 8.5**

**Figure 20** : Cartes de la réserve en eau utile du sol (RUR) en Hivers pour la projection future pour quatre saisons.

Selon **Floret et Pontanier, (1982)**, l'humidité précoce du mois de Septembre, si elle est suffisante représente l'année idéale sur le plan biologique. Tandis que les pluies printanières assurent le développement de la végétation. La quantité de pluie enregistrée annuellement ne donne qu'une idée très limitée de son importance pour la végétation **Aidoud, (1989)**, La

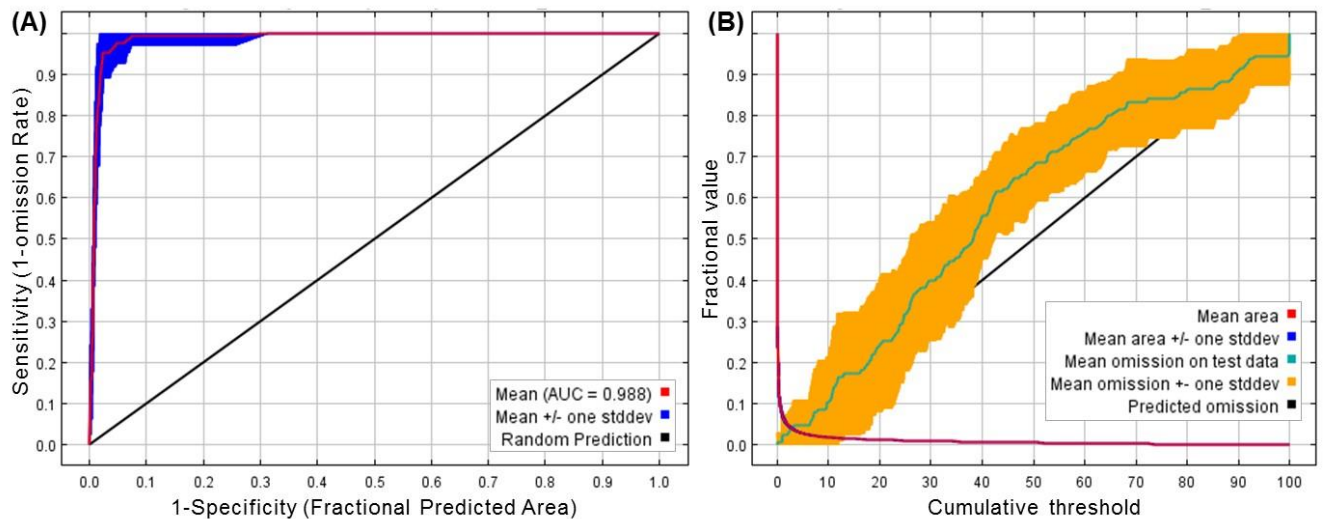
prédiction de la quantité saisonnière de la réserve en eau réelle du sol peut permettre le suivi de l'état de la végétation. Dans les écosystèmes steppiques du Nord Algérien les précipitations sont marquées par deux périodes (automne et printemps). La répartition saisonnière de la réserve en eau réelle du sol est très importante, car elle nous renseigne sur la période de l'année qui représente un état de confort hydrique du sol, cette répartition joue un rôle important dans les cycles biologiques des végétaux (phénologie).

Les changements dans la réserve utile d'eau du sol réelle montrés dans les figures des deux scénarios 2050 et 2070 (Fig20), montrent des diminutions à travers la totalité de la surface de la zone d'étude, le plus considérablement en allant au Sud dont les sols sableux sont les plus dominants, qui se caractérisent par la plus faible capacité de rétention des eaux auxquelles s'ajoute la sévérité des conditions climatiques dont les températures élevées tout en allant au Sud de la région entraînent une augmentation de l'évapotranspiration et d'autre côté les précipitations sont occasionnelles ce qui limite les apports d'eau alimentant le réservoir du sol.

## **1-2- Résultats de modélisation de « *Cedrus atlantica* »**

### **1-2-a- Précision du modèle**

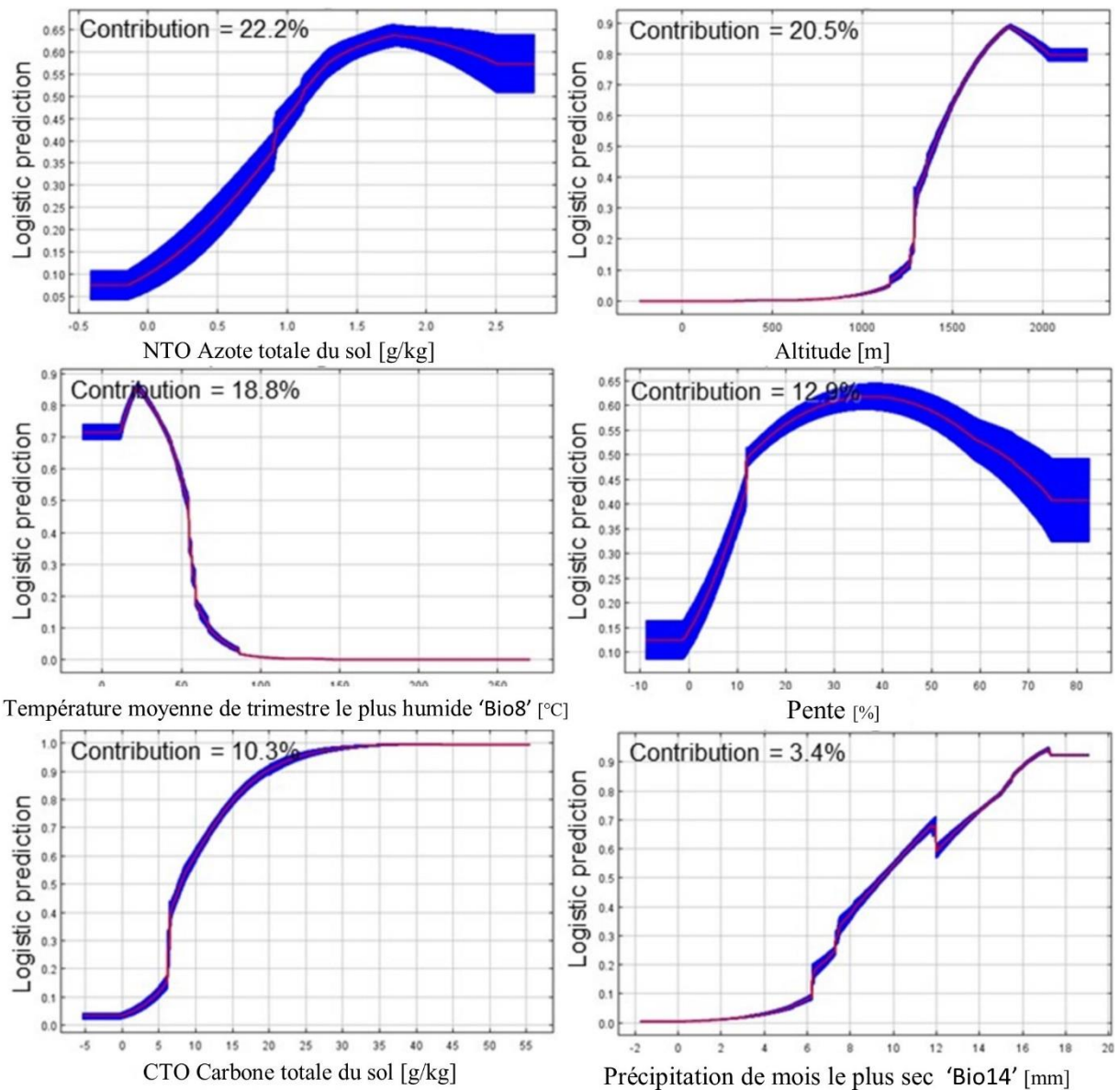
Sur la base des 10 répétitions (90% des données d'entraînement et 10% pour les données de test), le modèle construit a révélé que l'aire sous la courbe (AUC) était de 0,988. Cette valeur indique une haute qualité de l'ajustement du modèle, donc le modèle a été considéré comme le plus performant avec le meilleur ajustement (Fig.21). La valeur de l'AUC peut être interprétée comme la capacité du modèle à discriminer entre la présence et l'absence d'espèce, qui a été déterminée par la courbe des caractéristiques de fonctionnement du récepteur (ROC). Ce dernier s'est appuyé sur l'estimation de la probabilité lorsque le modèle a correctement classé une vraie présence (sensibilité) et une véritable absence (spécificité). L'importance de cette courbe a été quantifiée à l'aide de l'AUC sur la base de 10 répétitions pour un taux d'omission moyen. Des valeurs proches de 0,5 indiquent un ajustement aléatoire (occurrence par hasard), tandis qu'une valeur de 1,0 indique un ajustement parfait, ce qui était le cas de la présente étude (0,988). Si les valeurs étaient inférieures à 0,5, cela indique que l'ajustement du modèle était pire qu'aléatoire.



**Figure 21.** Courbe des caractéristiques de fonctionnement du récepteur MaxEnt (ROC) indiquant l'AUC des données d'apprentissage et de données de prédiction test (A). Taux d'omission moyen des zones appropriées testées et prévues de *Cedrus atlantica* (B)

### 1-2-b- Effets des variables environnementales

Les courbes de réponse obtenues représentaient les effets des trois catégories de variables environnementales testées sur la distribution de *Cedrus atlantica*. Les variables les plus importantes expliquant la présence de *Cedrus atlantica* étaient, triées par ordre de contribution : azote total du sol avec la contribution la plus élevée (22,2%) parmi tous les paramètres testés, suivi de l'altitude (20,5%), puis de la température moyenne des plus humides quart 'Bio8' (18,8%), pente (12,9%), carbone total du sol (10,3%) et précipitations du mois le plus sec 'Bio14' (3,4%) (Fig.22). Les autres variables testées ont des effets mineurs avec des contributions négligeables dans le modèle, où la somme des contributions de toutes ces 26 variables n'ont totalisé que 11,8% (Tableau 6). L'azote total du sol, la pente (<40%), le carbone total du sol et le Bio 14 ont un effet positif sur la distribution spatiale de *Cedrus atlantica*, cela signifie que la probabilité d'occurrence des espèces augmentait lorsque les valeurs de ces variables augmentaient. Cependant, l'altitude, la pente (> 40%), Bio8 ont eu un effet négatif sur la probabilité d'occurrence des espèces (Fig. 22).



**Figure 22:** Courbes de réponse de *Cedrus atlantica* aux six variables environnementales les plus contributives dans la modélisation de la distribution des espèces (somme des contributions = 88,2%). [La valeur indiquée sur l'axe des y (c'est-à-dire la prédiction logistique) est la probabilité prédite de conditions appropriées, comme indiqué par le format de sortie logistique, avec toutes les autres variables réglées sur leur valeur moyenne sur l'ensemble des localités de présence. La contribution de chaque variable (en%) au modèle prédit est la moyenne de 10 répétitions. Les contributions de toutes les variables environnementales testées sont présentées dans le tableau 6].

**Tableau 6:** Contributions des 32 variables environnementales explicatives utilisées dans la modélisation de niche écologique de la distribution potentielle des forêts de cèdres de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) en Algérie

Variable category	Variable code	Variable description	Source	Contribution [%]
Édaphique	NTO	Azote total du sol [g / kg]	SoilGrids	22.2
Topographique	Alt	Altitude [m]	Dérivé de l'MNT (DEM)	20.5
Climatique	Bio8	Température moyenne de trimestre le plus humide [°C]	WorldClim	18.8
Topographique	Pente	pente [%]	Dérivé de l'MNT (DEM)	12.9
Édaphique	CTO	Carbone total du sol [g / kg]	SoilGrids	10.3
Climatique	Bio14	Précipitation de mois le plus sec [mm]	WorldClim	3.4
Climatique	Bio4	Saisonnalité de la température (écart-type * 100).	WorldClim	2.6
Édaphique	Bilan_Print	Capacité disponible en eau du sol au Printemps [mm]	Computed	1.6
Édaphique	Dens_app	Densité apparente du sol (terre fine) [kg / m <sup>3</sup> ]	SoilGrids	1.3
Climatique	Bio3	Isothermalité (Bio2/Bio7) (* 100).	WorldClim	0.8
Topographique	Dist_mer	Distance à la mer [m]	Dérivé de l'MNT (DEM)	0.7
Édaphique	Argile	Fraction de texture du sol: Argile [%]	SoilGrids	0.5
Édaphique	K+_Échange	K + échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids	0.5
Édaphique	Mg++_Échang	Mg ++ échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids	0.4
Édaphique	pH	Hydrogène potentiel	SoilGrids	0.4
Édaphique	Sable	Fraction de texture du sol: Sable [%]	SoilGrids	0.4
Climatique	Bio16	Précipitation de trimestre le plus humide [mm]	WorldClim	0.3
Édaphique	Bilan_Été	Capacité en eau disponible du sol estival [mm]	Calculé	0.3
Édaphique	CEC	Capacité d'échange cationique [cmolc / kg]	SoilGrids	0.3
Édaphique	Porosité	Porosité [%]	SoilGrids	0.3
Topographique	Reg_Été	Rayonnement global d'été [Wh / m <sup>2</sup> ]	Dérivé de l'MNT (DEM)	0.3
Topographique	Reg_Printemps	Rayonnement global du printemps [Wh / m <sup>2</sup> ]	Dérivé de l'MNT (DEM)	0.3
Climatique	Bio2	Moyenne amplitude diurne (Moyenne mensuelle de (Tmax - T min)). [°C]	WorldClim	0.2
Climatique	Bio6	Température minimale de Mois le plus froid [°C]	WorldClim	0.2

Climatique	Bio15	Saisonnalité des précipitations (coefficient de variation).	WorldClim	0.1
Climatique	Bio9	Température moyenne de trimestre le plus sec [°C]	WorldClim	0.1
Édaphique	Ca+_Échange	Ca ++ échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids	0.1
Topographique	Exp	Exposition	Dérivé de l'MNT (DEM)	0.1
Édaphique	C/N	Rapport carbone / azote (rapport C / N)	SoilGrids	<0.1
Édaphique	CE	Conductivité électrique [dS / m]	SoilGrids	<0.1
Édaphique	Na+_Échange	Na + échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids	<0.1
Édaphique	S/T	Saturation en bases (%) = (bases échangeables totales [cmolc / kg] / CEC)	SoilGrids	<0.1

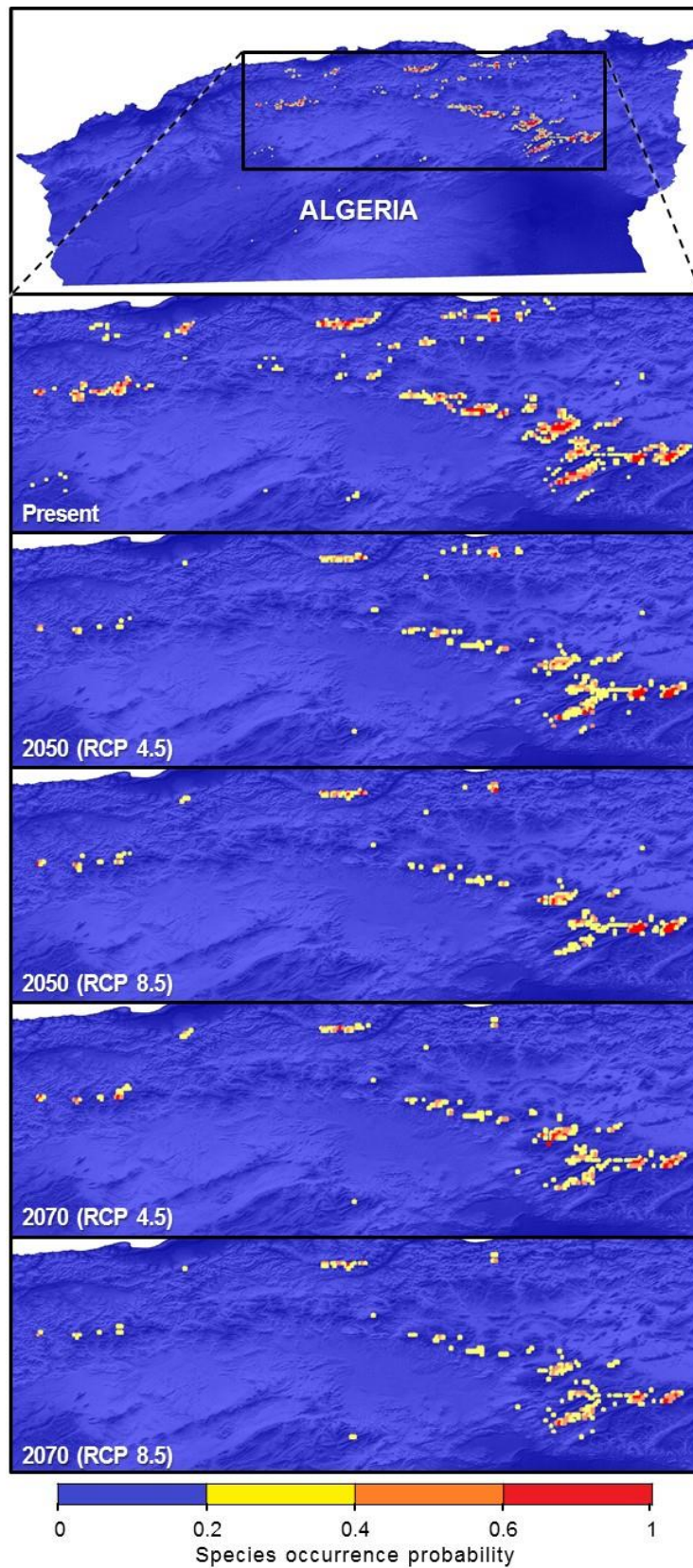
MNT (Modele numérique de terrain) (en anglais: **DEM**: Digital elevation model) récupéré de ASTER GDEM version 2 (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem-wist.asp>). Generation & Distribution : METI/ERSDAC/NASA/USGS

**SoilGrids**: <https://SoilGrids.org>

**WorldClim**: <http://worldclim.org/version1> (Hijmans et al., 2005)

### 1-2-c- Prévion et changement de l'aire de répartition des espèces

La cartographie de la distribution potentielle de *Cedrus atlantica* basée sur les probabilités d'occurrence a montré que les habitats favorables étaient fragmentés et dispersés sur toute la zone d'étude dans le Nord de l'Algérie. L'aire de répartition des espèces occupait une superficie de 2089 km<sup>2</sup>, ce qui représente 0,43% de la zone d'étude totale. Au cours de la période actuelle (1950–2000), des zones à fort potentiel d'occurrence se sont réparti principalement dans l'Est de l'Algérie, occupant les hautes altitudes des régions montagnardes (Fig. 23).



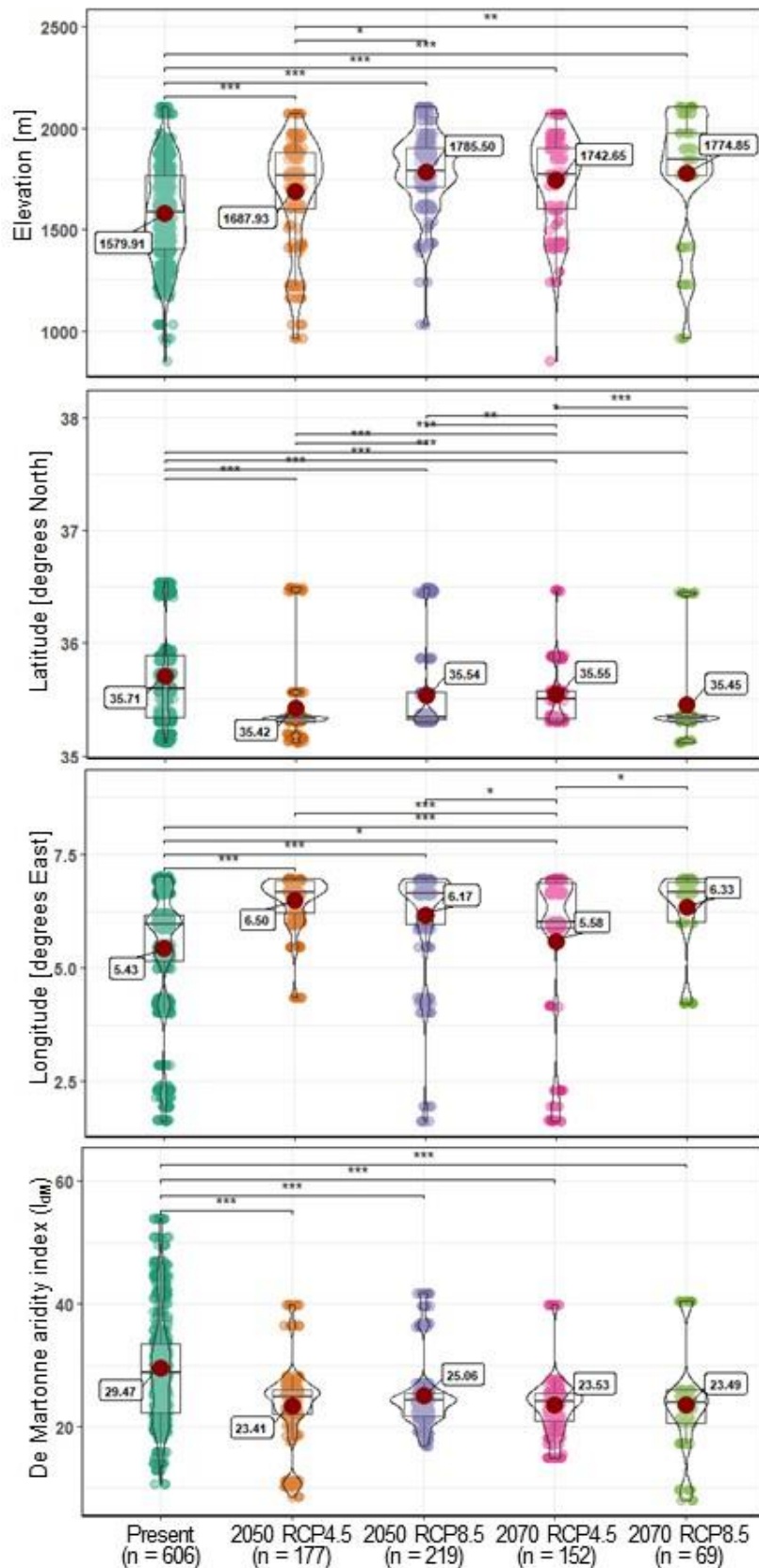
**Figure 23:** Cartes prédictives des probabilités d'occurrence potentielles de *Cedrus atlantica* pour la période actuelle (1990-2000), 2050 et 2070 selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5.

Le modèle a fourni la répartition potentielle future de l'espèce pour les projections des années 2050 et 2070 (fig. 23), ce qui a permis d'effectuer des tests de comparaison pour évaluer les changements dans les zones des habitats favorables au fil du temps. Les résultats obtenus ici étaient conformes à nos hypothèses sur la zone de distribution subissant un rétrécissement significatif pour les deux scénarios futurs de changement climatique. La dégradation de la taille de l'aire de répartition du Cèdre de l'Atlas devrait être catastrophique à l'avenir. Pour le scénario pessimiste « RCP 8.5 », l'aire de répartition de l'espèce devrait diminuer en 2050 de 76,3% de la superficie actuelle appropriée, pour atteindre d'ici 2070 une superficie de 406 km<sup>2</sup> d'habitats appropriés, ce qui représente 80,6% du déclin des forêts de Cèdre de l'Atlas. Les régressions dans les aires de répartition d'espèces dans le scénario modérément optimiste « RCP 4.5 » n'étaient pas moins mauvaises que les projections précédentes pour RCP8.5. La superficie des forêts de Cèdres de l'Atlas devrait diminuer de 70,4% en 2050 et de 71,6% en 2070 pour atteindre respectivement 619 km<sup>2</sup> et 594 km (tableau 7).

**Table 7:** Changements projetés de la taille de l'aire de répartition de *Cedrus atlantica* dans les scénarios climatiques futurs en 2050 et 2070 sur la base de deux voies de concentration représentatives (RCP4.5 et RCP8.5) du GIEC (2014)

Période	Les scénarios du GIEC	Taille de zone de distribution [km <sup>2</sup> ]	Changement [km <sup>2</sup> ]	Changement [%]
Actuelle	—	2089	—	—
2050	RCP 4.5	619	-1470	-70.4
2050	RCP 8.5	518	-1571	-76.3
2070	RCP 4.5	594	-1495	-71.6
2070	RCP 8.5	406	-1683	-80.6

Les prévisions futures prévues pour tous les scénarios RCP 4.5 et 8.5 pour les années 2050 et 2070 ont montré des diminutions significatives dans les aires de répartition de *Cedrus atlantica*, en particulier dans la partie Ouest de la zone d'étude. Les comparaisons des valeurs d'élévation, de latitude, de longitude et d'indice d'aridité entre les cartes de probabilités d'occurrence ont indiqué un changement dans la distribution de l'aire de répartition de l'espèce qui se traduit par un refuge pour à haute altitude associée à des déplacements latitudinaux et longitudinaux vers le Nord et l'Est de la zone d'étude, respectivement (Fig.24).

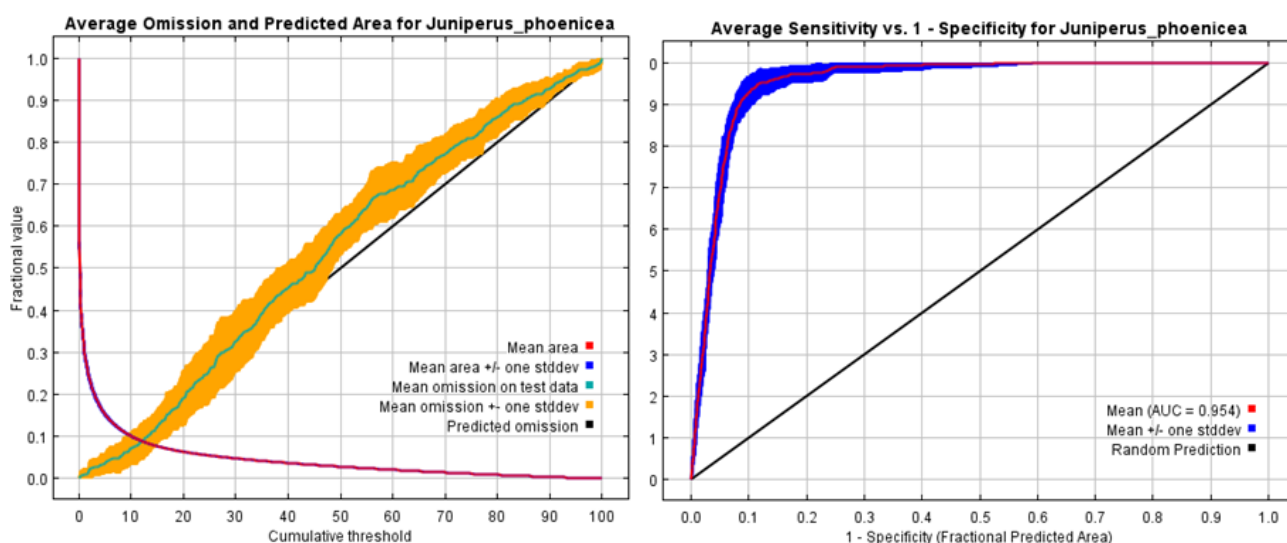


**Figure 24.** Les graphiques pirates comparant les valeurs d'altitude, de latitude, de longitude et d'indice d'aridité de *Cedrus atlantica* qui se situent entre la distribution potentielle actuelle et chacun des scénarios futurs 2050 et 2070 pour RCP4.5 et RCP8.5.

### 1-3- Résultats de modélisation de « *Juniperus phoenicea* »

#### 1-3-a- Performance du modèle

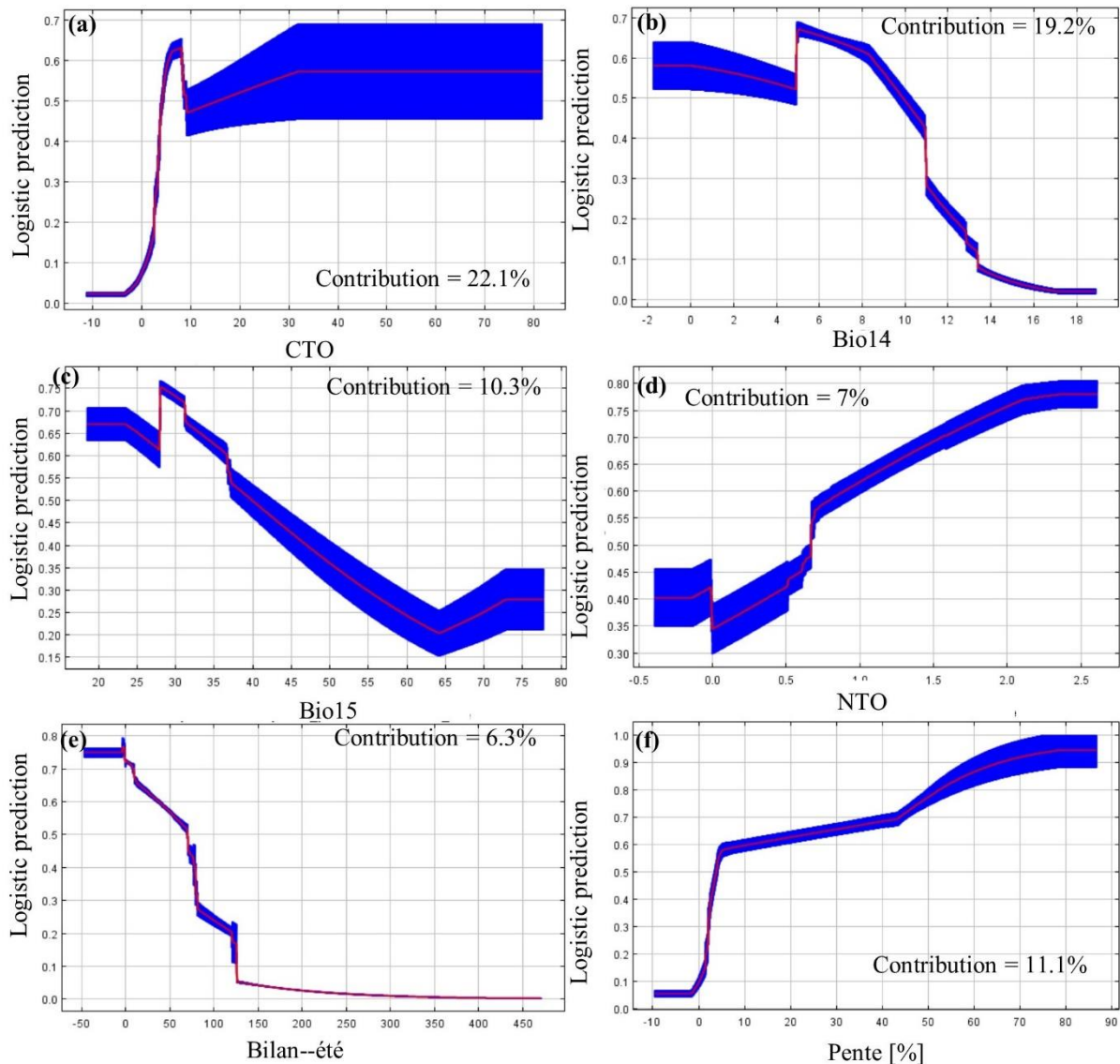
La performance du modèle a été calculée par la méthode des seuils indépendants à travers la courbe ROC (fig. 25), cette dernière nous a permis d'obtenir la courbe de sensibilité (vrai taux positif) par rapport à la spécificité (taux faux positif), la valeur moyenne de l'AUC obtenue à partir des dix - répétitions d'exécutions était de 0,954. Ce modèle a montré une performance élevée par rapport à la prédiction aléatoire qui est égale à 0,5.



**Figure 25:** Courbe caractéristique de fonctionnement du récepteur (ROC) indiquant l'AUC des données d'apprentissage et des données de test (A). Taux d'omission moyen des zones appropriées testées et prévues pour *Juniperus phoenicea* (B)

#### 1-3-b- Contributions des variables dans le modèle prévu

Six variables environnementales ont été mises en évidence dans le modèle sélectionné comme étant les facteurs les plus importants ayant les plus fortes influences sur la distribution spatiale du genévrier de phénicie en Algérie (Fig. 26). Les variables sélectionnées étaient le carbone total du sol avec une contribution de 22,1% dans le modèle prévu, les précipitations du mois le plus sec (contribution = 19,2%), la pente du terrain (contribution = 11,1%), la saisonnalité des précipitations (contribution = 10,3%), l'azote total du sol (contribution = 7%) et la teneur en eau du sol disponible en été et au printemps (contribution = 6,3%). Les autres variables ont des contributions négligeables dans le modèle, la somme de leurs contributions est de 24% (tableau 8).



**Figure 26** : Courbes de réponses de la distribution potentielle du *Genévrier de phénicie* aux variables environnementales les plus importantes. La valeur indiquée sur l'axe des y (c'est-à-dire la prédiction logistique) est la probabilité prédite des conditions appropriées, telle que donnée par le format de sortie logistique, avec toutes les autres variables réglées à leur valeur moyenne sur l'ensemble des localités de présence. CTO : carbone organique total du sol, Bio14: précipitation du mois le plus sec, Bio15: saisonnalité des précipitations, NTO: azote organique total du sol, Bilan\_été: capacité en eau disponible de l'été. La contribution (moyenne de 10 répétitions) de chaque variable au modèle prévu est également incluse.

La présence potentielle de *Genévrier de phénicie* a augmenté avec la diminution de la teneur en eau disponible en été et au printemps, la saisonnalité des précipitations et les précipitations du mois le plus sec. Le *Genévrier de phénicie* se rencontre principalement dans les zones à précipitations régulières (coefficient de variation des précipitations saisonnières entre 0 et 40%,

Fig. 26c) et précipitations du mois le plus sec entre 0 et 10 mm (Fig. 26b). L'espèce préfère les zones où la capacité en eau disponible du sol est négative ou faible pendant la période été-printemps (Fig. 26e). Le carbone total du sol, l'azote et la pente du terrain ont montré des effets positifs sur la probabilité d'occurrence du Genévrier de phénicie, ce qui indique que les habitats appropriés ont des valeurs élevées de carbone total du sol (le Genévrier de phénicie était distribué sur des sols avec un CTO > 4 g / kg et peut dépasser 60 g / kg, Fig. 26a). Les résultats de l'SDM indiquent également que la probabilité d'occurrence de l'espèce augmente avec l'augmentation de la pente du terrain, où l'espèce préfère les terrains avec des pentes plus raides jusqu'à 80%, (Fig. 26f) ; et l'azote total du sol (l'espèce préfère les zones dont la NOT varie entre 0,7 et 2,5 g / kg, figure 26d).

**Tableau 8:** Contributions des 32 variables environnementales explicatives utilisées dans la modélisation de la niche écologique de la distribution des espèces de Genévrier de phénicie (*Juniperus phoenicea*) au Nord de l'Algérie.)

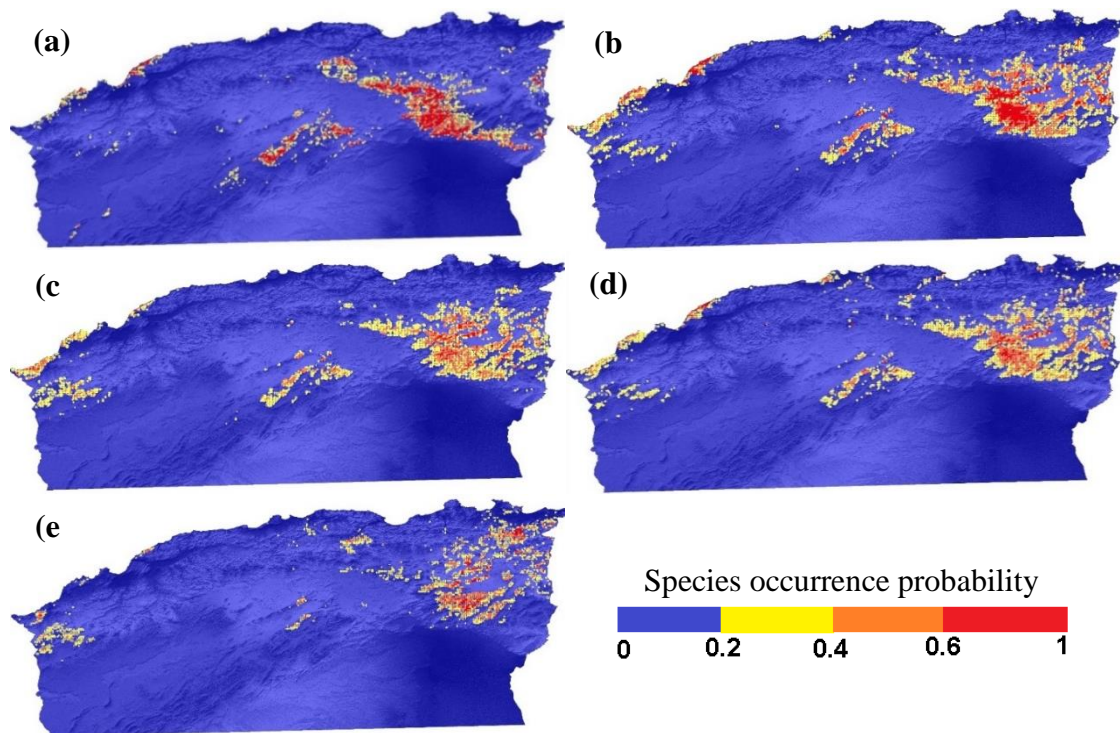
Variable Category	Variable Code	Variable description	Source	Contribution [%]
Édaphique	CTO	Carbone total du sol [g / kg]	SoilGrids	22.1
Climatique	BIO14	Précipitation de mois le plus sec [mm]		19.1
Topographique	Pente	Pente [%]	Dérivé de l'MNT (DEM)	11.1
Climatique	BIO15	Saisonnalité des précipitations (coefficient de variation).	WorldClim	10.3
Édaphique	NOT	Azote total du sol [g / kg]	SoilGrids	7
Édaphique	Bilan_Été	Capacité en eau disponible du sol estival [mm]	SoilGrids	6.3
Climatique	Bio2	Moyenne amplitude diurne (Moyenne mensuelle de (Tmax - T min)). [°C]	WorldClim	3.2
Topographique	Dist_mer	Distance à la mer [m]	Dérivé de l'MNT (DEM)	2.9
Climatique	Bio4	Saisonnalité de la température (écart-type * 100).	WorldClim	2.7
Climatique	Bio3	Isothermalité (Bio2/Bio7) (* 100).	WorldClim	2.4
Édaphique	Sable	Fraction de texture du sol: Sable [%]	SoilGrids	1.8
Édaphique	CE	Conductivité électrique [dS / m]	SoilGrids	1.7
Climatique	Bio6	Température minimale de Mois le plus froid [°C]	WorldClim	1.6
Climatique	Bio16	Précipitation de trimestre le plus humide [mm]	WorldClim	1.4
Climatique	Bio9	Température moyenne de trimestre le plus sec [°C]	WorldClim	1.1
Édaphique	Bilan_Print	Capacité disponible en eau du sol au Printemps [mm]	SoilGrids	1.1
Topographique	Reg_Été	Rayonnement global d'été [Wh / m2]	Dérivé de l'MNT (DEM)	1
Topographique	Alt	Altitude [m]	Dérivé de l'MNT (DEM)	0.8

Topographique	Reg_Printemps	Rayonnement global du printemps [Wh / m2]	Dérivé de l'MNT (DEM)	0.4
Édaphique	Na+_Échang	Na + échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids	0.4
Édaphique	Argile	Fraction de texture du sol: Argile [%]	SoilGrids	0.3
Édaphique	Porosité	Porosité [%]	SoilGrids	0.2
Topographique	Exp	Exposition	Dérivé de l'MNT (DEM)	0.2
Édaphique	K+_Échang	K + échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids	0.2
Édaphique	pH	Hydrogène potentiel	SoilGrids	0.1
Édaphique	CEC	Capacité d'échange cationique [cmolc / kg]	SoilGrids	0.1
Édaphique	Ca+_Échang	Ca ++ échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids	0.1
Climatique	Bio8	Température moyenne de trimestre le plus humide [°C]	WorldClim	0.1
Édaphique	C/N	Rapport carbone / azote (rapport C / N)	SoilGrids	0.1
Édaphique	Mg++_Échang	Mg ++ échangeable [cmol + / kg]	SoilGrids	0
Édaphique	Dens_app	Densité apparente du sol (terre fine) [kg / m3]	SoilGrids	0
Édaphique	S/T	Saturation en bases (%) = (bases échangeables totales [cmolc / kg] / CEC)	SoilGrids	0

(MNT : Modèle numérique de terrain (en anglais : DEM : Digital elevation model)) récupéré de ASTER GDEM version 2 (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem-wist.asp>). Génération & Distribution : METI/ERSDAC /NASA/USGS ; SoilGrids: <https://SoilGrids.org> ; WorldClim: <http://worldclim.org/version1> (Hijmans et al., 2005)

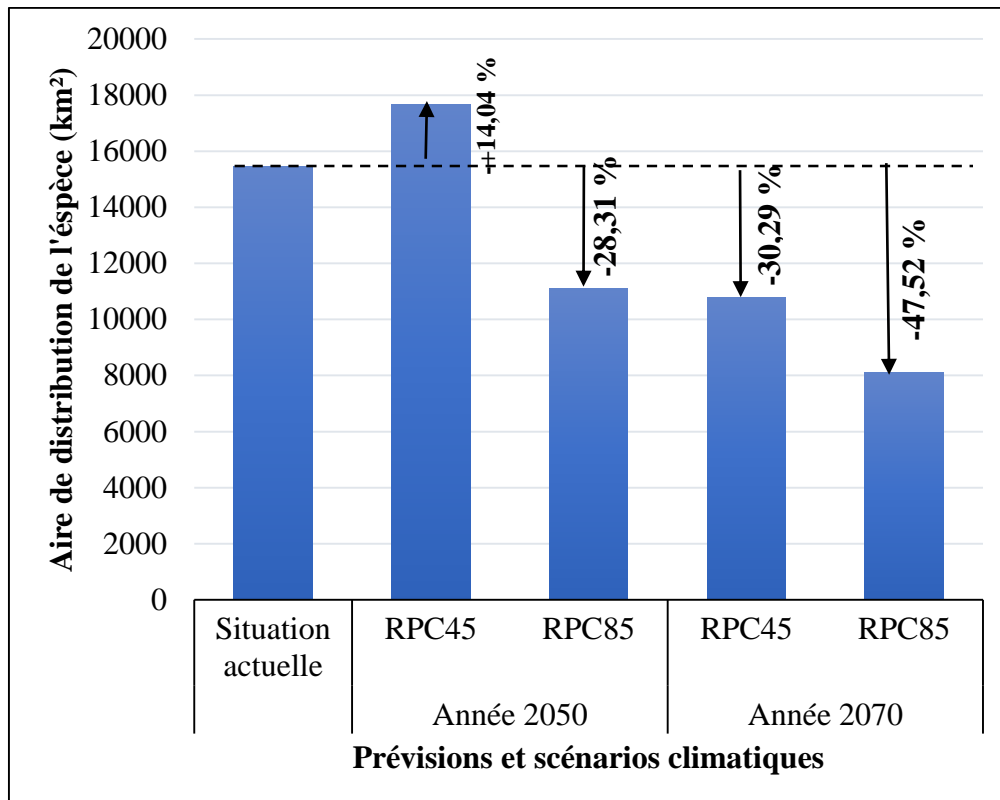
### 1-3-c- Distributions potentielles actuelles et futures

Les habitats appropriés prévus pour le Genévrier de phénicie en Algérie dans les conditions climatiques actuelles et les scénarios futurs projetés ont été cartographiés (Fig. 27). Les prévisions ont montré que la partie orientale de l'Algérie avait un potentiel d'occurrence de Genévrier de phénicie plus élevé que l'Ouest de l'Algérie (Fig. 27). Pour les prévisions de la période actuelle, SDM a montré que des habitats appropriés avec un potentiel d'occurrence élevé (AUC = 0,6–1) couvraient une superficie de 5 892 km<sup>2</sup> (1,21% de la zone d'étude totale), alors qu'environ 9 583 km<sup>2</sup> (1,96 % du total) ont un potentiel moyen (AUC = 0,4–0,6), tandis que les 472 982 km<sup>2</sup> restants (96,83%) de la zone d'étude ont moins de potentiel d'occurrence (AUC = 0–0,4). À l'exception de la taille de l'aire de répartition prévue en 2050 avec le scénario RPC4.5 qui a révélé une augmentation potentielle de la zone d'habitats appropriés, tous les autres scénarios climatiques futurs suggéraient que les environnements appropriés pour le Genévrier de phénicie devraient diminuer avec le rétrécissement de la taille de l'aire de distribution. Cette perte de distribution potentielle devrait être plus accentuée en 2070 qu'en 2050 (figure 28).

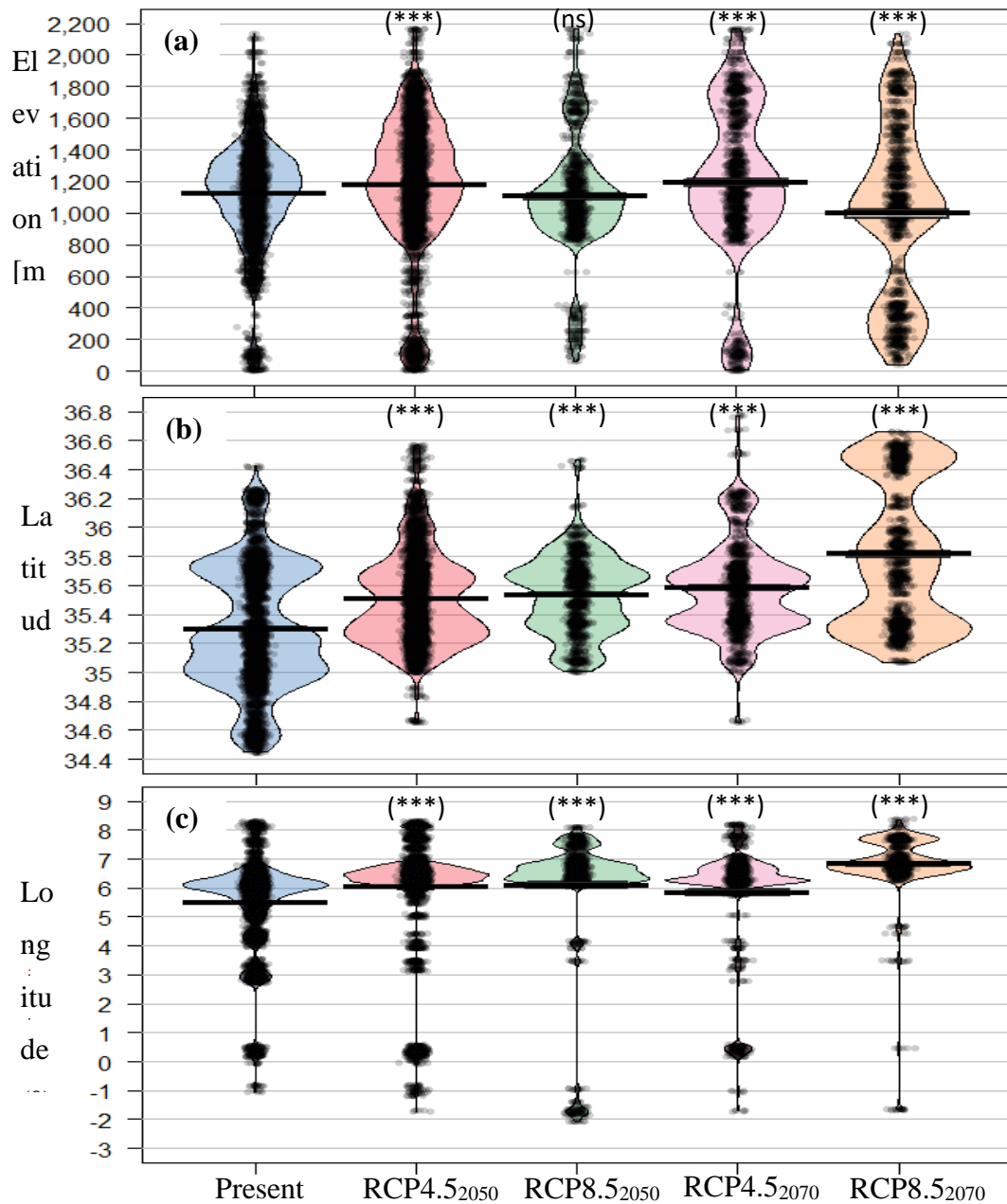


**Figure 27** : Cartes prédictives de la répartition potentielle du Genévrier de phénicie (*Juniperus phoenicea*) en Algérie sur la base des probabilités d'occurrence relative. Aire de distribution potentielle (a) pour la période actuelle, (b) dans le scénario RCP4.5 de l'année 2050, (c) dans le scénario RCP8.5 de l'année 2050, (d) dans le scénario RCP4.5 de l'année 2050, et (e) en 2070 basé sur le scénario RCP8.5. RCP : voie de concentration représentative.

Les prévisions futures dans tous les scénarios de changement climatique ont démontré que les conditions environnementales appropriées pour le Genévrier de phénicie vont changer d'une manière qui déclenche des changements spatiaux dans l'aire de répartition géographique des espèces. Ces déplacements devraient se produire latitudinalement vers le Nord et longitudinalement vers l'Est avec une amplitude plus prononcée en 2070 pour le scénario RCP8.5. Les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 prévoyaient des déplacements altitudinaux opposés, tandis que le RCP4.5 prévoyait un déplacement vers les hautes altitudes, le RCP8.5 prévoyait que l'aire de répartition de l'espèce descendrait à des altitudes plus basses (Fig.29).



**Figure 28** : Changement de taille de l'aire de répartition du Genévrier de phénicie (*Juniperus phoenicea*) en Algérie dans les scénarios climatiques futurs. RCP : voie de concentration représentative.



**Figure 29** : Diagrammes de pirate comparant les élévations (a), les latitudes (b) et les longitudes (c) de la distribution de *Juniperus phoenicea* (probabilité d'occurrence > 0,6) entre la gamme potentielle actuelle (présente) et chacune des gammes potentielles futures basées sur le futur scénario de changement climatique de la voie de concentration représentative (RCP4.5 et RCP8.5).

## 2- Discussion

### 2-1- Genévrier de Phénicie

La présente étude a rendu possible l'évaluation des changements de répartition de l'espèce Genévrier de Phénicie sous l'effets des changements climatiques, étant donné que l'Algérie est parmi les pays méditerranéens les plus touchés par les risques environnementaux (**Arar et Chenchouni, 2014, Mihi et al., 2019**), pour les conditions climatiques des deux périodes actuelle (1950-2000) et future (projections 2050 et 2070), les prédictions ont été conduite avec succès dans la zone Nord Algérienne.

En Algérie et ça pourrait être même au niveau de toutes les aires de répartition de cette espèce, la présente étude constitue l'une des études pionnières de prédictions de l'aire de répartition future sous l'effet des changements climatiques prévus par le GIEC en mettant en œuvre une approche de modélisation. Cette étude représente un support d'informations sur la vulnérabilité de l'espèce à l'extinction, ces informations ont rendu possible l'évaluation et l'identification des habitats favorables de l'espèce et leurs changements spatiotemporels, sachant que les prévisions futures constituent une source d'informations importantes pour la planification et l'établissement des stratégies de lutte contre les dégradations des forêts.

Malgré que les résultats du présent travail, , présentent la situation actuelle et le devenir de la biodiversité sous l'effet des divers changements spatiaux des facteurs environnementaux aux cours du temps, il est essentiel de prendre en considération que ces résultats sont obtenus en utilisant des données abiotiques, sans utilisation des données biotiques, Néanmoins, le niveau d'utilité de ces résultats est important pour connaître les réponses des espèces aux conditions changeantes de l'environnement (**Wilson et al., 2009 ; El-Gabbas et Dormann, 2018**).

Bien que nous ayons minimisé l'autocollinéarité entre les variables environnementales afin d'éviter toute dépendance élevée des paramètres du modèle, il est inévitable de rendre l'autocorrélation stable à 100 % dans l'espace (**Dormann et al., 2013**), certaines des variables utilisées dans SDM sont fortement corrélées (**Elith et al., 2010 ; Dormann et al., 2013**). En plus, les résultats du modèle restent dépendants de la qualité des données d'entrée et de la méthodologie utilisée dans SDM (**Wilson et al., 2009 ; El-Gabbas et Dormann, 2018**).

Les résultats obtenus confirment le fait que les zones de distribution potentielles prédites par la modélisation de l'entropie maximale semblent réalistes par rapport aux conditions environnementales actuelles et aux changements climatiques futurs. Les zones jugées propices

à la présence de *Juniperus phoenicea* dans cette étude mais non occupées par l'espèce sont très importantes à prendre en compte pour la propagation des espèces et la restauration de l'habitat. Dans ce contexte, le Genévrier de phénicie est considéré comme une espèce à certaine résistance au risque d'extinction (Lansdown, 2013), ayant une certaine tolérance à la sécheresse (Martínez-Ferri et al., 2000) ayant un fort pouvoir germinatif (Pausas, 1999), il est plus logique de le considérer comme une catégorie très appropriée pour les projets de lutte contre la désertification, en particulier dans les zones arides et semi-arides et subhumides, ces écosystèmes fragiles qui doivent être ciblés par des efforts de réhabilitation et de restauration à travers l'application du Genévrier de phénicie comme plante NURSE, pour certaines interventions possibles pour réaliser des plantations dans le cadre de la préservation des espèces contre l'extinction et déclencher une succession écologique progressive dans le cadre de la réhabilitation de ces écosystèmes. Ce type d'information est également crucial pour les espèces rares et menacées car cela conditionne le succès des programmes de restauration des espèces qui dépendent de l'adéquation de la région aux espèces / populations réintroduites ou plantées.

#### **2-1-a- Performance du modèle**

Une mesure de précision à un seuil indépendant a été effectuée à travers l'aire sous la courbe ROC (AUC) (Linden, 2006). Le résultat final de la performance du modèle qui consiste à la moyenne des 10 exécutions a été obtenu en atteignant un niveau "excellent" et "précis" avec une valeur AUC de 0,954. A travers l'AUC, la mesure de la capacité de discrimination du modèle est obtenue, en mesurant les divers types d'erreurs de prédictions, La courbe ROC de sensibilité par rapport à la spécificité pour Genévrier de Phénicie montre les résultats d'évaluation obtenus, la valeur  $AUC > 0.9$  correspond à la classe d'ajustement parfait, cela signifie que le modèle a une haute performance (Guisan et al., 2017).

#### **2-1-b- Analyse des contributions des variables environnementales**

Les résultats de l'SDM désignent que les paramètres dérivés des précipitations dominent la liste des paramètres les plus contribuant dans la construction du modèle, sachant que les deux paramètres « saisonnalité des précipitations (contributions = 10,3%) et les précipitations du mois le plus sec (contributions = 19,2%) » ont influencé le plus sur la distribution de l'espèce. De ce fait, les variations climatiques intra- saisonnières influencent fortement l'aire de répartition de *Juniperus phoenicea*.

Durant les mois de la saison chaude et sèche *Juniperus phoenicea* est exposé à un stress hydrique important à cause des quantités insuffisantes des précipitations au niveau des zones arides et semi-arides (Diaz Barradas et al., 1999). Pendant les mois les plus secs l'espèce est

particulièrement influencée par l'insuffisance des précipitations, ceci influence plus particulièrement les racines qui ont un faible développement et qui restent superficielles, au niveau des horizons superficiels la disponibilité d'eau est rapidement épuisée par évaporation directe ce qui affecte directement l'état hydrique de la plante, Cependant, les caractères de rusticité et la tolérance au stress du Genévrier de Phénicie lui confèrent une certaine résistance aux périodes de sécheresses sévère (**Martínez-Ferri et al., 2000 ; Baquedano et Castillo, 2007, Alteiri et al., 2015**).

Les effets des changements climatiques sur le cycle du carbone et leurs impacts sur les méthodes d'assimilation et le stockage du carbone par les plantes pour leur survie et leur croissance constituent un intérêt majeur chez de nombreux scientifiques tel que les biogéochimistes les physiologistes et les écologistes du fait que le carbone est l'unité de construction de toute vie (**Dietze et al., 2014**). Durant les saisons sèches et chaudes, les hautes températures combinaient aux forts rayonnements solaires globaux et au déficit hydrique (insuffisance de la teneur en eau disponible dans le sol) ont limité l'assimilation du carbone et donc affectent négativement et de façon directe la croissance du Genévrier de phénicie (**Alteiri et al., 2015**).

Les conditions de stress sévères tel que la sécheresse et/ou les chaleurs auxquelles la plante est soumise, sont à l'origine des perturbations physiologiques (**Allen et al., 2010**), ce qui bouleverse le fonctionnement des organes photosynthétiques et le processus de construction de la biomasse végétale, par conséquent, cela perturbe toute l'empreinte du carbone à l'intérieur de la plante (**Larcher, 2000 ; Arena et al., 2008**), ceci explique la gourmandise de cette espèce en carbone, a une dose de 4 g/kg du carbone du sol selon la courbe de réponse obtenue dans notre étude, une réponse immédiate et rapide par augmentation de la probabilité de présence de l'espèce est observée, atteignant un niveau de stabilité des besoins en carbone même a des doses supérieurs à 80 g/kg. Cependant, des réponses vis-à-vis les doses élevées du carbone par la plante peuvent se produire, qui se traduit par des modifications de la conductance des stomates et du métabolisme respiratoire ainsi que des modifications de la répartition de l'azote dans la plante (**Field et al., 1992 ; Curtis, 1996**).

Au niveau des zones du Nord de l'Afrique, généralement les écosystèmes soufferts de la faible fertilité des sols en raison des faibles taux de décompositions des litières (**Neffar et al., 2013**). Selon **Schimel et Bennett, (2004)** et **Delgado-Baquerizo et al., (2011)**, au niveau des écosystèmes méditerranéens a climats semi-arides, la faible disponibilité du carbone favorise la dominance de la nitrification dans les processus de transformation de l'azote du sol. Selon la courbe de réponse de notre étude, à partir des faibles doses représentées par 0.7g/kg de l'azote total du sol, une réponse immédiate et par augmentation rapide de la probabilité d'occurrence,

pour atteindre un maximum d'où se stabilise à environ 2.3 g/kg. La capacité des grands arbres à l'approvisionnement maximale de quantité élevée des nutriments et des composés carboniques et/ou le développement d'un système racinaire puissant et efficace afin d'atteindre des eaux plus profondes sont des facteurs qui expliquent la relation existante entre la taille, la croissance des plantes et leur résistance aux conditions sévères (Filella et Peñuelas, 2003).

Hormis que les conditions sévères de chaleur et de sécheresse, même à des conditions optimales de température et de disponibilité en eau, la distribution spatiale de *Juniperus phoenicea* semble être plus influencée par la topographie (El-Bana et al., 2010). Selon les courbes de réponses obtenues dans nos résultats, la contribution de la pente est d'ordre 11.1%, ceci est dû au fait que les zones en pente avec des expositions reçoivent des rayonnements solaires élevés constituent des habitats appropriés pour l'installation de *Juniperus phoenicea* afin de capter le maximum de radiations solaires, en raison de la taille réduite de ses feuilles ayant une faible capacité d'interception du rayonnement solaire (Denden et Lemeur, 2000).

### 2-1-c- Changement de l'aire de répartition en réponse au changement climatique

Les résultats obtenus pour la période actuelle (1950-2000) estiment que la superficie totale de distribution de *Juniperus phoenicea* est d'ordre 15475 km<sup>2</sup> (soit 3,16% de la superficie totale de la zone d'étude). Une réduction considérable de l'aire de répartition de l'espèce pour les scénarios futurs projetés (Hypothétiques) atteindra 52.5% d'ici 2070, pour occuper une superficie de 8121 km<sup>2</sup> (soit 1.66% de la superficie de la zone d'étude) (Fig. 27, 28).

Dans l'ensemble, les changements spatio-temporels des aires de répartition du Genévrier de Phénicie selon la cartographie des probabilités d'occurrence semblent logiques de points de vue écologique. Les forêts de Genévrier de Phénicie sont soumises au risque élevé de dépérissement depuis les années 1970 (Kabiell et al., 2016), cela en raison des effets de plusieurs facteurs conjugués et harmonieusement : (1) des crises de sécheresses périodiques caractérisées par de fortes variations de précipitation, (2) incapacité d'atteindre les eaux profondes due aux certains facteurs physiologiques tel que le faible développement d'un système racinaire qui reste superficiel, et (3) mauvaises caractéristiques du sol (horizons très peu profonds avec une faible capacité de rétention et faible (Bilan hydrique du sol).

Les résultats obtenus témoignent que les changements à long terme des conditions climatiques auxquelles s'ajoute le réchauffement climatique sont à l'origine du risque de dépérissement (Chenchouni, 2010), ce qui est en concordance avec les prédictions des changements climatiques prévus par le GIEC (Team et al., 2014). Ce qui devrait être pris en considération, c'est qu'à part les facteurs utilisés dans l'SDM dans la présente étude, d'autres facteurs tel que les perturbations humaines, peuvent être l'origine des perturbations de la distribution régionale

de *Juniperus phoenicea*, En effet, les pressions anthropiques excessives tel que l'utilisation de l'espèce a des fins d'exploitation comestibles ou médicinales (**Kabiel et al., 2016 ; El-Bana et al., 2010**) peuvent être à l'origine des graves modifications tel que la rétrogression dramatique de la taille de l'aire de répartition de l'espèce, l'affaiblissement de sa capacité de dispersion et sa capacité de régénération.

Nos résultats confirment sous divers scénarios climatiques que les habitats les plus favorables à l'installation et la pérennité de l'espèce se trouvent dans la partie Est du Nord Algérien par rapport à l'Ouest qui est moins adapté. Ceci est due principalement aux caractéristiques climatiques défavorables à l'Ouest du pays par rapport à l'Est, donc la réponse logique de l'espèce s'inscrit dans le déplacement longitudinal vers l'Est, ceci arrive en même temps qu'un déplacement vers le Nord a cause d'une accentuation de l'aridité le long d'un gradient Sud-Nord (**Benslimane et al., 2009**).

Ainsi, les habitats au niveau de l'Ouest de l'Algérie sont moins favorables à l'installation de Genévrier de Phénicie a cause de l'influence d'un ensemble de facteur qui agit de façon conjuguée, tel que le relief, la distance à la mer et des pressions anthropiques principalement le pâturage du bétail (**Touazi et Laborde, 2004 ; Rhanem, 2010 ; Arar et al., 2020**).

Lorsque les espèces sont soumises aux réchauffements climatiques, il est plus logique d'attendre leurs réponses biologiques et écologiques vis-à-vis de tels changements environnementaux, notamment les changements dans leurs aires de répartition (**Gégout et al 2005**), pour la végétation, c'est aux extrémités des aires de répartition que le changement climatique induit des changements tant dans l'altitude que la latitude (**Bénichou et Le Breton, 1987 ; Coudun et Gégout, 2006**).

Dans le bassin méditerranéen, selon **Médail et Quézel, (2003)** les changements globaux devraient être à l'origine des changements des limites des aires de répartition des espèces en induisant des déplacements vers les hautes altitudes, ceci est due principalement à l'augmentation des conditions d'aridité et de sécheresse, et comme ces derniers sont a l'origine d'une réduction de la capacité de régénération des espèces, la réponses logiques consiste écologiquement au déplacement à haute altitude d'où les conditions sont plus optimales d'humidité et de températures ambiantes afin d'assurer la régénération, la croissance, et la pérennité des populations (**Fyllas et Troumbis, 2009**),

Cela est en cohérence avec nos résultats, une exception selon le scénario 8.5 pour l'années 2070 décrit un élargissement de l'aire de distribution du Genévrier de Phénicie vers les basses altitudes, cela pourrait être attribué a l'influence des paramètres autres que les précipitations et températures moyennes, tel que les changements saisonniers comme la saisonnalité des

précipitations et l'augmentation du régime des précipitations et le bilan hydrique hivernal malgré la prédominance des sécheresses pendant le reste des saisons, affectant les limites de tolérance de l'espèce, ces zones sont donc classées comme convenables par le modèle (Zimmermann et al., 2009 ; Lenoir et al., 2010).

### 2-2- Cèdre de l'atlas

La présente étude nous a permis de présenter la distribution spatiale potentielle des forêts de Cèdre de l'atlas en Algérie à travers l'utilisation des techniques de modélisation de la distribution des espèces, en faisant connaissance des principales variables environnementales qui influencent sa distribution potentielle.

En fonction des prédictions des réchauffements climatiques projetées par le GIEC (IPCC, 2014), dans la présente étude nous avons pu prédire la répartition de la niche actuelle et future du Cèdre de l'Atlas. Ainsi, les résultats obtenus de l'SDM exécuté ont dévoilé la fragilité du Cèdre de l'Atlas vis-à-vis les changements futurs prévus des facteurs environnementaux dans ses habitats réels.

Les résultats obtenus révèlent que les zones à conditions sèches ou exposées potentiellement à des sécheresses prévues dans le futur, sont des habitats de risque d'extinction des populations de Cèdre de l'Atlas. De ce fait, les surfaces des habitats favorables de l'espèce devraient présenter des diminutions accompagnées des refuges vers les conditions les plus humides, dans notre cas vers les hautes altitudes et vers les zones du Nord jusqu'aux zones côtières.

L'SDM, tel que MaxEnt, est un outil vigoureux d'aide à la compréhension des exigences environnementales des espèces, et à la prédiction de l'évolution spatiotemporelle de leurs habitats propices à différentes échelles (Booth et al., 2014 ; Guisan et al., 2017 ; Graham et Kimble, 2019).

Le climat du bassin méditerranéen devient plus sévère au cours du temps, il est caractérisé par des périodes de sécheresses longues et intenses avec des températures élevées qui peuvent atteindre des degrés préjudiciables, ce qui peut perturber les processus physiologiques des arbres avec une possible dépérissement de ces derniers et la diminution aigüe des surfaces forestières (Allen et al., 2010 ; Choat et al., 2012).

Selon la courbe de réponse obtenue de l'espèce vis-à-vis la température de la saison la plus humide, le Cèdre de l'Atlas persiste jusqu'à +6°C, puis sa probabilité d'occurrence commence à chuter intensément jusqu'à sa disparition. Inversement, la courbe de réponse vis-à-vis les précipitations du mois le plus sec montre une augmentation de la probabilité d'occurrence de l'espèce simultanément avec l'augmentation de la disponibilité en eau. Nos résultats sont en

concordance avec des études antérieures révélant que le Cèdre de l'Atlas peut atteindre une quantité d'absorption de l'eau de 20 mm par mois (**Quézel, 1976 ; Aoubouazza, 2018**).

Vue sa vulnérabilité aux températures élevées, les régions humides à hivers froid constituent les zones favorables à l'installation de cèdre de l'atlas (**Quézel, 1976**). Ainsi, pour le succès de la régénération de cèdre de l'atlas le gel est le facteur le plus important pour le déclenchement et la désarticulation des cônes, ce qui influence le succès de la dispersion des graines. De ce fait, les températures hivernales élevées ont une influence négative sur la régénération et la survie des peuplements de Cèdre de l'Atlas (**Ezzahiri et Belghazi, 2000 ; Hansen et al., 2018**). La distribution spatiale des espèces est influencée par des facteurs déterminants qui sont la température et les précipitations, ces espèces se différencient chacune par son seuil de tolérance vis-à-vis les facteurs de climat. De ce fait, Plusieurs études ont mentionné que les pertes importantes des arbres et le dépérissement des forêts sont les conséquences des réchauffements du climat et l'épuisement des réserves en eau du sol (**Allen et al., 2010 ; Choat et al., 2012 ; Navarro-Cerrillo et al., 2019**). Sur le plan physiologique, l'émergence des semis et la croissance des plantes sont affectées directement par le taux de disponibilité en eau (**Khanfouci, 2005 ; Aoubouazza, 2018**).

L'augmentation des températures et la diminution des précipitations sont les points les plus pris en considérations dans les prévisions des changements climatiques en Afrique du Nord (**Zeroual et al., 2019**), ce qui pourrait être la cause d'une éventuelle diminution des aires de répartitions des espèces dans le futur accompagné des refuges vers les conditions les plus adéquates vers le Nord (**Malcolm et al., 2006 ; Gonzalez et al., 2010 ; Garcia et al., 2012 ; Tabet et al., 2018**).

La composition floristique, la structure et la répartition géographique des forêts pourraient être modifiées, sous l'influence des sécheresses intenses caractérisées par leurs longues durées, entraînant des mortalités importantes des arbres (**Gonzalez et al., 2010 ; Linares et al., 2011**). Les forêts de Cèdre de l'Atlas pourraient être sujettes à une extinction dans le futur, dans le cas du maintien de la même cadence des graves changements environnementaux selon des études récentes (**Arar et al., 2018 ; Bouahmed et al., 2019**).

Ce qui est réaliste c'est que la quasi-totalité des forêts de Cèdre de l'Atlas de l'Afrique du Nord sont en état inquiétant et nécessitent des interventions dans l'immédiat (**Chenchouni, 2010 ; Thomas, 2013 ; Cheddadi et al., 2009, 2017 ; Linares et al., 2011 ; Abel-Schaad et al., 2018 ; Navarro-Cerrillo et al., 2019**).

Les facteurs topographiques au niveau des paysages montagnards, tel que les pentes, l'exposition et les altitudes influencent la vulnérabilité des forêts vis-à-vis les changements

environnementaux le long des gradients écologiques à travers des zones montagnardes étroites (**Rhanem, 2010**).

Les forêts de Cèdre de l'Atlas des basses altitudes sont les plus sujettes au dépérissement, l'accentuation des conditions défavorables affecte les divers âges des arbres tant des jeunes plantules que des vieux arbres. Au niveau de ces mêmes zones, certains facteurs (tel que topographiques) favorisent et rendent plus facile la dispersion des graines, l'ensemencement et la régénération du Cèdre de l'Atlas par rapport aux hautes altitudes. Cependant, des mortalités importantes des jeunes plantules de Cèdre de l'Atlas se produisent, vu l'insuffisance de développement de leurs systèmes racinaires, auxquelles s'ajoutent certains facteurs moins favorables (tel que facteurs climatiques), ces facteurs peuvent être à l'origine d'un retard de la période végétative causé principalement par un stress hydrique sévère et prolongé (**Ezzahiri et Belghazi, 2000 ; Khanfouci, 2005; Navarro-Cerrillo et al., 2019**).

Parmi les facteurs du milieu qui aggravent le risque de dépérissement des forêts montagnardes de Cèdre de l'Atlas sont les pentes raides et les terrains accidentés, sachant que les habitats propices ont une pente < 40% selon la courbe de réponse du Cèdre de l'Atlas à la pente (Fig3). Les pentes abruptes sont à l'origine des risques d'érosion hydrique, ce dernier transporte à la fois avec les sols toute sorte de matériel de reproduction des arbres (graines, cônes), mettant en risque le processus de régénération. Le transport des particules du sol pourrait être la cause de toute dénudation des racines superficielles des jeunes plantes et leur exposition à la sécheresse puis leur mortalité (**Khanfouci, 2005**).

La nutrition des plantes pourrait être affectée à mesure que la fertilité du sol se dégrade, la faible profondeur du sol influencée par l'érosion hydrique dans les pentes raides, réduit le niveau de litière stockée ce qui interrompt le renouvellement du carbone et la matière organique du sol. En effet, l'un des indicateurs clés d'une bonne qualité du sol forestiers est la quantité suffisante de la matière organique (**Sequeira et Alle, 2011**). Ainsi, la dégradation des forêts a une forte relation avec la teneur et la dynamique du carbone et les nutriments dans le sol.

Des contributions élevées du carbone total et de l'azote total à la distribution spatiale du cèdre de l'Atlas ont été enregistrées en analysant les courbes de réponses obtenues, une augmentation exponentielle rapide des probabilités d'occurrence a été observée simultanément avec l'augmentation des concentrations de C et de N.

La disponibilité d'azote dans le sol influence de façon directe la croissance et la ramification du système racinaire. En effet, le développement des pousses et les racines sont affectés par la relation existante entre la distribution du carbone des plantes et l'absorption de l'azote, l'absorption abondante d'azote favorise le développement des pousses et les racines en

stimulant la production de la biomasse. Dans les conditions naturelles, l'azote constitue un facteur limitant pour les espèces ligneuses, en régulant l'établissement de ces derniers (**Boukcim et al., 2006 ; Wan et al., 2019**).

Les résultats obtenus se prévoient à une forte réduction de la superficie occupée par les peuplements de Cèdre de l'Atlas pour l'année 2070 (environ 71,6 à 80,6% de la taille actuelle de l'aire de répartition). Cela s'accorde avec des résultats réalisés antérieurement (**Bouahmed et al., 2019**). Selon **Boudy (1950)**, la couverture forestière des céderais en Algérie occupée d'environ 300 km<sup>2</sup>, tandis que **Quézel (1998)**, citait une superficie de 200 km<sup>2</sup>.

La modélisation de la distribution des aires propices des espèces peut aboutir à des mesures surestimées de la taille des aires de distribution comparées à des données de terrain. En effet, nos résultats figurent l'ensemble des pixels qui représentent les conditions favorables pour la présence de Cèdre de l'Atlas dans chaque pixel, par conséquent, chaque pixel avec une résolution de 1 km peut regrouper un nombre incertain des arbres de cèdre de l'atlas (au moins un), donc la couverture forestière est variable.

Cependant, le suivi de la dynamique de la végétation peut nous offrir des informations fiables en comparant des données de même type dans le temps ; ainsi, nos géostatistiques sont harmonieuses en termes de réduction de la superficie des forêts de Cèdres de l'Atlas au cours du temps. En comparant l'évolution des probabilités d'occurrence du Cèdre de l'Atlas et les cartes d'aridité pour les deux périodes actuelle et futur, nous avons pu constater la concordance des prévisions climatiques futurs pessimistes avec les rétrécissements de la distribution de cèdre de l'atlas dans le Nord Algérien.

Sous des conditions climatiques sèches et chaudes pour la période future, marqué par l'augmentation des températures, la forte diminution des précipitations et la l'augmentation de la durée et l'intensité des sécheresses (**Allen et al., 2010**) au niveau des limites inférieures de l'aire de distribution du Cèdre de l'Atlas seront les principales causes de son dépérissement. Avec des déplacements latitudinaux des habitats propices vers le Nord et leurs migrations aux hautes altitudes, les climats humides sont les plus recherchés par l'espèce sous les conditions arides et semi arides (**Quézel, 1998 ; Rhanem, 2010 ; Bouahmed et al., 2019**).

Pour les espèces à forte capacité de dispersion , des déplacements vers les hautes altitudes sont déclenchés par les conditions sévères comme la sécheresse pour rechercher des conditions favorables. Néanmoins, l'espèces a faible capacité de dispersion sont exposés aux éventuelles dégradations progressives de leurs aires de répartition pouvant aboutir à une disparition de l'espèce (**Rhanem, 2010 ; Abel-Schaad et al., 2018 ; Malcolm et al., 2006 ; Gonzalez et al., 2010**).

La zone confinée entre le désert du Sahara au Sud et la mer Méditerranée au Nord, l'intensification et l'avancé de l'aridité semble être la conséquence directe des déplacements latitudinales des forêts de l'Afrique du Nord vers le Nord (**Arar et al., 2009 ; Tabet et al., 2018 ; Zeroual et al., 2019**).

De plus, un net déplacement longitudinal de l'aire de répartition du Cèdre de l'Atlas de l'Ouest vers l'Est est attendu selon nos résultats. L'Est Algérien constitue une zone a potentiel de présence de l'espèce plus important que l'Ouest, ceci pourrait être a cause des conditions climatiques moins favorables a l'Ouest, cette distinction climatique est a l'origine des conditions d'aridité plus sévère a l'Ouest du pays par rapport a la partie Est, cette dernière, au niveau de laquelle le Cèdre de l'atlas a plus de chance de persister face à divers risques pour réussir la croissance, la régénération et la reproduction pour garantir la pérennité des peuplements.

# Conclusión

## Conclusion

Les SDM de *Juniperus phoenicea* et *Cedrus atlantica* nous ont aidé à savoir l'écologie des espèces en explorant les variables environnementales qui influencent la distribution de leurs habitats propices potentiels et en déterminant leurs aires de répartition potentiel et les habitats favorables en Algérie, a travers l'établissement des relations statistiques entre les occurrences des espèces et les facteurs environnementaux spatialisés.

Pour les projections futures prévus par le GIEC, les résultats obtenus montrent que les peuplements de *Cedrus atlantica* et *juniperus phoenicea* seraient influencés par des impacts élevés des changements climatiques. Des rétrécissements importants de l'aire de répartition spatiales des espèces auraient eu lieu d'ici 2070, en réponse aux facteurs provoquant ces changements, des déplacements de l'aire de répartition des espèces vers les latitudes Nord, les longitudes Est et les hautes altitudes peuvent se produire en réponses aux changements climatiques.

Selon les résultats de notre travail, il a été observé que les réchauffements climatiques constituent un obstacle contre la pérennité des habitats favorables potentiels des espèces, ce qui induit des déplacements des limites de ses populations à l'avenir vers les hautes altitudes et les latitude Nord comme refuges climatiques. La présente étude a contribué dans l'enrichissement des informations existantes sur la situation des forêts de l'Afrique du Nord et d'approfondir nos connaissances sur les effets des changements des conditions environnementales a grande échelle sur la répartition des forêts et leurs modes de réactions aux changements climatiques futurs prévus.

La prédiction et la cartographie des aires de distribution potentielles actuelles et futures des espèces forestières est un outil d'aide à la décision très fiable pour l'ensemble des planificateurs de la conservation et pour les décideurs. Les forêts Algérienne se trouvant en contact a leurs limites inferieurs avec le désert du Sahara sont exposées à un risque majeur de dépérissement et de dégradation. En conséquence, cela nécessite des interventions urgentes pour la planification des stratégies de préservation des écosystèmes en vue de réduire la dégradation des forêts situées dans les zones de risque et à haute sensibilité à la désertification et exposés à la sécheresse.

Les SDM peuvent guider nos enquêtes dans le but de découvrir les zones favorables à l'installation des especes où elles sont absentes et de prévenir les zones de vulnérabilité et de dégradations. Ceci nous aide à la prise de décision d'établir des programmes de reboisements

et de plantation protectrice et de faciliter d'établir des plans d'aménagements fiables et convenable a chaque zone.

Dans le but de la conservation de ces espèces endémiques, trois implications peuvent être envisagées : a) des études approfondies doivent être menées au niveau des zones où les populations sont prédites à disparaître et identifiées comme hautement vulnérables au changement climatique et/ou présentant actuellement des populations isolées b) De nouvelles zones protégées devraient être envisagées dans les zones identifiées comme refuges, ce qui pourrait permettre la survie et la protection des populations endémiques vulnérables aux changements climatiques et aux pressions anthropiques.

La présente étude donne une idée sur l'apport des outils d'aide à la décision tel que les SDM dans le renforcement des efforts des autorités du pays qui sont engagés dans le cadre d'un programme mondial à réaliser les ODD (les Objectifs de Développement Durable) tracés en intégrant des nouvelles préoccupations qui concernent la planète telle que les changements climatiques.

# Références bibliographiques

## Références bibliographiques

- Abbaye, H., des Chadefaud, M., & Ferre, Y. (1963). de Feldmann 3. Botanique, anatomie, cycles évolutifs, systématique. Ed.
- Abdessemed Kh. (1981). Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans les massifs de l'Aurès et du Belezma Etude phytosociologique, problèmes de conservation et d'aménagement. Thèse Doct. Ing. Univ. Aix-Marseille, p. 202.
- Abel-Schaad, D., Iriarte, E., López-Sáez, J. A., Pérez-Díaz, S., Sabariego Ruiz, S., Cheddadi, R., Alba-Sánchez, F. (2018), Are *Cedrus atlantica* forests in the Rif Mountains of Morocco heading towards local extinction? *The Holocene*. 28(6): 1023–1037. <https://doi.org/10.1177/0959683617752842>
- Abu-Darwish, M. S., Cabral, C., & Salgueiro, L. (2014). *Juniperus phoenicea* from Jordan. In *Medicinal and Aromatic Plants of the Middle-East* (pp. 241-252). Springer, Dordrecht.
- Achhal, A., Akabli, A., Barbero, M., Benabid, A., M'Hirit, O., Peyre, C., ... & Rivas-Martinez, S. (1979). A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecologia mediterranea*, 5(1), 211-249.
- Adams, R. P. (2014). *Junipers of the world: The genus Juniperus* (4th ed.). Bloomington, IN: Trafford Publ
- Adams, R. P., Altarejos, J., Arista, M., & Schwarzbach, A. E. (2014). Geographic variation in *J. phoenicea* var. *phoenicea* from throughout its range: analysis of nrDNA and the petN-PsbM cp region. *Phytologia*, 96, 247-251.
- Adams, R. P., Boratynski, A., Arista, M., Schwarzbach, A. E., Leschner, H., Liber, Z., ... & Manolis, A. (2013). Analysis of *Juniperus phoenicea* from throughout its range in the Mediterranean using DNA sequence data from nrDNA and petN-psbM: The case for the recognition of *J. turbinata* Guss. *Phytologia*, 95(2), 202-209.
- Adams, R. P., Pandey, N., Rezzi, S., & Casanova, J. (2002). Geographic variation in the Random Amplified Polymorphic DNAs (RAPDs) of *Juniperus phoenicea*, Jp var. *canariensis*, Jp subsp. *eu-mediterranea*, and Jp var. *turbinata*. *Biochemical systematics and ecology*, 30(3), 223-229.
- Adams, R. P., Schwarzbach, A. E. (2012). Taxonomy of *Juniperus* section *Juniperus*: Sequence analysis of nrDNA and five cpDNA regions. *Phytologia*. vol 94, N2. P. 280-297.
- Aidoud, A. (1989). Contribution à l'étude des écosystèmes pâturés des haute plaines Algéro-oranaises. Fonctionnement, évaluation, et évolution des ressources végétales (Doctoral dissertation, Thèse doct. USTHB, Alger, 240p).
- Agami, M. (1986). The effects of different soil water potentials, temperature and salinity on germination of seeds of the desert shrub *Zygophyllum dumosum*. *Physiologia Plantarum*, 67(2), 305-309.
- Alexandrian D. (1992). *Essences forestières: Guide pratique du forestier méditerranéen français* (2ème édition). CEMAGREF. Aix-en-Provence.
- Ali, M. El shatshat, S. (2015), Ecological study of *Juniperus phoenicea* L. EL-Gabal El-Akhdar area, Libya, *Euro. J. Exp. Bio.*, 5 (7), 71, 76.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., *et al.* (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. Vol 259, N4. P. 660-684. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>
- Allen, H. (2001). *Mediterranean Ecogeography*. 1st Edition. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315838526>.
- Allen, H. D. (2003). Response of past and present Mediterranean ecosystems to environmental change. *Progress in Physical Geography*, 27(3), 359-377.

- Altieri, S., Mereu, S., Cherubini, P., Castaldi, S., Sirignano, C., Lubritto, C., Battipaglia, G. (2015). Tree-ring carbon and oxygen isotopes indicate different water use strategies in three Mediterranean shrubs at Capo Caccia [Sardinia, Italy]. *Trees*. Vol 29, N5. P. 1593-1603. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1242-z>
- Amici, V., Marcantonio, M., La Porta, N., Rocchini, D. (2017), A multi-temporal approach in MaxEnt modelling: a new frontier for land use/land cover change detection. *Ecol. Inform.* 40 : 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.04.005>
- Aoubouazza, M. (2018), Estimation des besoins en eau du Cèdre à Ras El Ma et à Boutrouba (Moyen Atlas Central tabulaire). *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*. 6(1): 36–47.
- Arar, A., & Chenchouni, H. (2012). How could geomatics promote our knowledge for environmental management in eastern Algeria?. *Journal of Environmental Science and Technology*, 5(5), 291-305.
- Arar, A., & Chenchouni, H. (2014). A “simple” geomatics-based approach for assessing water erosion hazard at montane areas. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(1), 1-12.
- Arar, A., Chenchouni, H., Benabderrahmane, M.C. Climate change and desertification risks assessment in Aurès region [Eastern of Algeria] using geomatic data. Presentation at the Int. Joint Assembly of IAMAS–IAPSO–IACS “MOCA–2009”, Montreal, Canada. 2009.
- Arar, A., Nouidjem, Y., Bounar, R., Tabet, S., & Kouba, Y. (2020). Modeling of the current and future potential distribution of Atlas cedar (*Cedrus atlantica*) forests revealed shifts in the latitudinal, longitudinal and altitudinal range towards more humid conditions. *Ecological Questions*, 31(3), 1-22.
- Arar, A., Tabet, S., Nouidjem, Y., Bounar, R., & Chenchouni, H. (2018, November). Projected small-scale range reductions of *Cedrus atlantica* forests due to climate change at the Belezma National Park (Algeria). In Conference of the Arabian Journal of Geosciences (pp. 15-19). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01683-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01683-8_4)
- Araújo, MB. (2005). Pearson RG, Thuiller W, Erhard M. Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biol*, 11, 1504-1513.
- Araújo, M.B. and Guisan, A. (2006) Five (or so) challenges for species distribution modelling. *J. Biogeogr.* 33, 1677–1688
- Arena, C., Vitale, L., & Virzo De Santo, A. (2008). Photosynthesis and photoprotective strategies in *Laurus nobilis* L. and *Quercus ilex* L. under summer drought and winter cold. *Plant Biosystems- An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 142(3), 472-479.
- Asmodé, J. F. (1989). Status and trends of the juniper woodland in the Taif Area. In Proceedings of Workshop I on the Ecological Imperatives for Sustainable Development in the Kingdom of Saudi Arabia.
- Askri, H., Belmecheri, A., Benrabah, B., Boudjema, A., Boumendjel, K., Daoudi, M., ... & Ghomari, A. (1995). Géologie de l'Algérie. Boumerdès, Algeria, Schlumberger and Sonatrach, 1-93.
- Aussenac, G. (1984). Le cèdre, essai d'interprétation bioclimatique et écophysiological. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 131(2-4), 385-398.
- Bahn, V., & McGill, B. J. (2013). Testing the predictive performance of distribution models. *Oikos*, 122(3), 321-331. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2012.00299.x>
- Baquedano, F. J., & Castillo, F. J. (2007). Drought tolerance in the Mediterranean species *Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, and *Juniperus phoenicea*. *Photosynthetica*, 45(2), 229.. <https://doi.org/10.1007/s11099-007-0037-x>
- Barbero, M., Bonin, G., Loisel, R., & Quézel, P. (1990). Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the Mediterranean basin. *Vegetatio*, 87(2), 151-173. <https://doi.org/10.1007/bf00042952>
- Barbero M., Quézel P. & Loisel R. (1990). Les apports de la phytoécologie dans l'interprétation des changements et perturbations induits par l'homme sur les écosystèmes forestiers méditerranéens.

- Forêt Méditerranéenne, XII, 3: 194-216, Marseille.
- Barry, J. P., Celles, J. C., & Faurel, L. (1974). Carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques: feuille d'Alger au 1: 1,000,000 avec notice explicative. Editée par la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord.
- Batanouny, K. H., Aboutabl, E., Shabana, M., & Soliman, F. (1999). Wild medicinal plants in Egypt. Academy of scientific research and technology, Egypt. The World Conservation Union (IUCN), Switzerland, 166-167.
- Battisti A., Jactel H. (2010). Populations d'insectes ravageurs et changement climatique dans les forêts du bassin méditerranéen. Forêt Médit., T. XXXI, n°4: 377-383.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. Ecology letters, 15(4), 365-377. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x>
- Benabid A., Fennane M., 1999 : *Principales formations forestières au Maroc* in « *Le Grand Livre de la Forêt Marocaine* ». Mardaga éditeur. 26-144.
- Benchetrit, M. (1956). Les sols d'Algérie. Revue de géographie alpine, 44(4), 749-761.
- Bénichou P., Le Breton O. AURELHY : une méthode d'analyse utilisant le relief pour les besoins de l'hydrométéorologie. In : Deuxièmes journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. Paris : ORSTOM. P. 299-304. [Colloques et Séminaires]. Journées Hydrologiques de l'ORSTOM 1987/09/16-17 à Montpellier, 2., Montpellier [FRA] ; 1987.
- Benito Garzón, M., Sánchez de Dios, R., & Sáinz Ollero, H. (2007). Predictive modelling of tree species distributions on the Iberian Peninsula during the Last Glacial Maximum and Mid-Holocene. Ecology, 30(1), 120-134.
- Benslimane, M., Hamimed, A., Zerey, W. E., Khaldi, A., & Mederbal, K. (2009). Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord. VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement, 8(3). <https://doi.org/10.4000/vertigo.6782>.
- Bentouati, A., & Bariteau, M. (2006). Réflexions sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas des Aurès (Algérie). Forêt méditerranéenne, 27(2), 203-208..
- Booth, T. H., Nix, H. A., Busby, J. R., & Hutchinson, M. F. (2014). BIOCLIM: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies. Diversity and Distributions, 20(1), 1-9. <https://doi.org/10.1111/ddi.12144>
- Booth, T. H. (2017). Assessing species climatic requirements beyond the realized niche: some lessons mainly from tree species distribution modelling. Climatic Change, 145(3-4), 259-271. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2107-9>
- Borsali, A. H. & Zadi, F. Z. (2014). Ecological Restoration of Forest Soils Case of the Forest "Aïoun Branise" Saida Algeria. Open Journal of Forestry, 4(05), 527.
- Bouahmed, A., Vessella, F., Schirone, B., Krouchi, F., & Derridj, A. (2019). Modeling *Cedrus atlantica* potential distribution in North Africa across time : new putative glacial refugia and future range shifts under climate change. Regional Environmental Change, 19(6), 1667-1682.
- Bouaoune, D. (2015). Etude de la répartition altitudinale de la végétation forestière des montagnes de l'Algérie du Nord (Doctoral dissertation).
- Boudy, P. (1950). *Economie forestière Nord-Africaine, Tome 2 Monographie et traitement des essences forestières*, Fasc II. Ed. Larousse, Paris.
- Boudy, P. (1955). *Économie Nord-Africaine. T. IV, Description forestière de l'Algérie et la Tunisie*. Ed. Larousse, Paris, 481p.
- Boudy P., 1952. *Guide du forestier en Afrique du Nord*. Ed. La Maison Rustique. 505 p.
- Boukcim, H., Pagès, L., & Mousain, D. (2006). Local NO<sub>3</sub><sup>-</sup> or NH<sub>4</sub><sup>+</sup> supply modifies the root system architecture of *Cedrus atlantica* seedlings grown in a split-root device. Journal of plant physiology, 163(12), 1293-1304. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.08.011>
- Bouزيد, T. (2010). Les barrages et la politique hydraulique en Algérie: état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Thèse de doctorat, Université de Mentouri-Constantine.

- Broennimann, O., Treier, U. A., Müller-Schärer, H., Thuiller, W., Peterson, A. T., & Guisan, A. (2007). Evidence of climatic niche shift during biological invasion. *Ecology letters*, 10(8), 701-709.
- Brown, S., Mo, J., McPherson, J. K., & Bell, D. T. (1996). Decomposition of woody debris in Western Australian forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 26(6), 954-966.
- Bruneton, J. (2009). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales* (4e éd.) Lavoisier.
- Bruand, A., Fernandez, P.N., Duval, O., 2003. Use of class pedotransfer functions based on texture and bulk density of clods to generate water retention curves. *Soil Use and Management* 19, 232-242.
- Bruand, A., Duval, O., Gaillard, H., Darhout, R., & Jamagne, M. (1996). Variabilité des propriétés de rétention en eau des sols: importance de la densité apparente. *Etude et Gestion des sols*, 31, 1-27
- Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord. t.40 Alger p. 178
- Busby, J. (1991). BIOCLIM-a bioclimate analysis and prediction system. *Plant protection quarterly*, 61, 8-9.
- Calaciura, B., & Spinelli, O. (2008). Management of Natura 2000 habitats. 6210 Semi-natural dry grasslands and scrubland facies on calcareous substrates (Festuco-Brometalia)(\* important orchid sites). European Commission, 1-38..
- Camarero, J. J., Olano, J. M., & Parras, A. (2010). Plastic bimodal xylogenesis in conifers from continental Mediterranean climates. *New Phytologist*, 185(2), 471-480.
- Carpenter, G., Gillison, A. N., & Winter, J. (1993). DOMAIN: a flexible modelling procedure for mapping potential distributions of plants and animals. *Biodiversity & Conservation*, 2(6), 667-680.
- Caudullo, G., & de Rigo, D. (2016). *Juniperus phoenicea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species*, p 106.
- Cheddadi, R., Fady, B., François, L., Hajar, L., Suc, J. P., Huang, K., ... & Ortu, E. (2009). Putative glacial refugia of *Cedrus atlantica* deduced from Quaternary pollen records and modern genetic diversity. *Journal of Biogeography*, 36(7), 1361-1371. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.02063.x>
- Cheddadi, R., Henrot, A. J., François, L., Boyer, F., Bush, M., Carré, M., ... & Huang, K. (2017). Microrefugia, climate change, and conservation of *Cedrus atlantica* in the Rif Mountains, Morocco. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 114. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00114>
- Chen, F., Du, Y., Niu, S., & Zhao, J. (2015). Modeling forest lightning fire occurrence in the Daxinganling Mountains of Northeastern China with MAXENT. *Forests*, 6(5), 1422-1438. <https://doi.org/10.3390/f6051422>
- Chenchouni, H., Abdelkrim, S. B., & Athmane, B. (2008, August). The deterioration of the Atlas Cedar (*Cedrus atlantica*) in Algeria. In Book of Abstracts of the International Conference “Adaptation of Forests and Forest Management to Changing Climate with Emphasis on Forest Health: A Review of Science, Policies, and Practices”, FAO/IUFRO, Umeå, Sweden (p. 51).
- Chenchouni, H. (2010, August). Drought-induced mass mortality of Atlas cedar forest (*Cedrus atlantica*) in Algeria. In The International Forestry Review, 33th IUFRO World Congress (pp. 23-28).
- Chenchouni, H. (2017). Edaphic factors controlling the distribution of inland halophytes in an ephemeral salt lake “Sabkha ecosystem” at North African semi-arid lands. *Science of the total environment*, 575, 660-671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.071>
- Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T. J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R., ... & Jacobsen, A. L. (2012). Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, 491(7426), 752-755. <https://doi.org/10.1038/nature11688>

- Coudun, C., & Gégout, J. C. (2006). The derivation of species response curves with Gaussian logistic regression is sensitive to sampling intensity and curve characteristics. *Ecological modelling*, 199(2), 164-175. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.024>
- Curtis, P. S. (1996). A meta-analysis of leaf gas exchange and nitrogen in trees grown under elevated carbon dioxide. *Plant, Cell & Environment*, 19(2), 127-137. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1996.tb00234.x>
- Dajoz R (1971) *Précis d'Ecologie*. Dunod, Paris. 334p.
- Daly, E., Porporato, A., & Rodriguez-Iturbe, I. (2004). Coupled dynamics of photosynthesis, transpiration, and soil water balance. Part I: Upscaling from hourly to daily level. *Journal of Hydrometeorology*, 5(3), 546-558.
- De'ath, G., & Fabricius, K. E. (2000). Classification and regression trees: a powerful yet simple technique for ecological data analysis. *Ecology*, 81(11), 3178-3192.
- Delgado-Baquerizo, M., Covelo, F., & Gallardo, A. (2011). Dissolved organic nitrogen in Mediterranean ecosystems. *Pedosphere*, 21(3), 309-318. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\[11\]60131-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160[11]60131-8)
- Denden, M., & Lemeur, R. (2000). Modelling stomatal resistance relative to stomata morphological and anatomical features, sunlight and water potential. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 11(1), 29-36.
- Derridj, A. (1990). Étude des populations de *Cedrus atlantica* M. en Algérie (Thèse de doctorat, Université Toulouse 3).
- Djellouli, Y. (1990). Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques de la répartition des plantes. Thèse Doct. Etat, Univ. Sci. Technol., Alger.
- Djenba, S. (2015). Influence des paramètres géologique, géomorphologique et hydrogéologique sur le comportement mécanique des sols de la wilaya de Sétif. Algérie (Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Díaz Barradas, M. C., Zunzunegui, M., Tirado, R., Ain-Lhout, F., & García Novo, F. (1999). Plant functional types and ecosystem function in Mediterranean shrubland. *Journal of Vegetation Science*, 10(5), 709-716. <https://doi.org/10.2307/3237085>
- Dietze, M. C., Sala, A., Carbone, M. S., Czimeczik, C. I., Mantooth, J. A., Richardson, A. D., & Vargas, R. (2014). Nonstructural carbon in woody plants. *Annual review of plant biology*, 65, 667-687.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., ... & Münkemüller, T. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27-46.
- Dripps, W. R., & Bradbury, K. R. (2007). A simple daily soil–water balance model for estimating the spatial and temporal distribution of groundwater recharge in temperate humid areas. *Hydrogeology Journal*, 15(3), 433-444.
- Dubois, M. A. (2009). Modelling nature: A physicist's viewpoint. *SCIENCEASIA*, 35(1), 1-7.
- Ducrey M., (1981): Action des basses températures hivernales sur la photosynthèse du cèdre et du Douglas (*Cedrus atlantica*, *Pseudotsuga menziesii*). *Ann. Scien. Forest.* 38(3), 317-329.
- El-Bana, M., Shaltout, K., Khalafallah, A., & Mosallam, H. (2010). Ecological status of the Mediterranean *Juniperus phoenicea* L. relicts in the desert mountains of North Sinai, Egypt. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(3), 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2009.04.004>
- El-Gabbas, A., & Dormann, C. F. (2018). Wrong, but useful: regional species distribution models may not be improved by range-wide data under biased sampling. *Ecology and Evolution*, 8(4), 2196-2206. <https://doi.org/10.1002/ece3.3834>
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. Overton, J., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberoñ, J., Williams, S., Wisz, M.S.,

- Zimmermann, N.E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151.
- Elith, J., Kearney, M., & Phillips, S. (2010). The art of modelling range-shifting species. *Methods in ecology and evolution*, 1(4), 330-342. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00036.x>
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 40, 677-697. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Emberger, L. (1938). Contribution à la connaissance des Cèdres et en particulier du Deodar et du Cèdre de l'Atlas. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 18(198), 77-92.
- Emberger, L. (1939). Aperçu général sur la végétation du Maroc: commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1: 1.500. 000. Berne: H. Huber.
- Emberger L., 1960. —*Les végétaux vasculaires*. In « M. Chadeaud et L. Emberger: *Traité de Botanique systématique*», II (1), Masson éd., Paris.
- Evidente, A., Masi, M., Linaldeddu, B. T., Franceschini, A., Scanu, B., Cimmino, A., ... & Maddau, L. (2012). Afritoxinones A and B, dihydrofuropyran-2-ones produced by *Diplodia africana* the causal agent of branch dieback on *Juniperus phoenicea*. *Phytochemistry*, 77, 245-250.
- Ewers, R. M., Didham, R. K., Wratten, S. D., & Tylianakis, J. M. (2005). Remotely sensed landscape heterogeneity as a rapid tool for assessing local biodiversity value in a highly modified New Zealand landscape. *Biodiversity & Conservation*, 14(6), 1469-1485.
- Ezzahiri, M., & Belghazi, B. (2000). Synthèse de quelques résultats sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas au Moyen Atlas (Maroc). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 11(2), 79-84.
- Fakhech, A., Ouahmane, L., & Hafidi, M. (2019). Seasonality of mycorrhizal attributes, soil phosphorus and nitrogen of *Juniperus phoenicea* and *Retama monosperma* boiss. in an Atlantic sand dunes forest. *Journal of Sustainable Forestry*, 38(1), 1-17.
- Farjon, A. (2005). A monograph of Cupressaceae and Sciadopitys Kew: Royal Botanic Gardens.
- Farjon, A. (2010). *A handbook of the world's conifers* (Vol. 2). Leiden, the Netherlands: Brill.
- Farjon, A., & Filer, D. (2013). *An atlas of the world's conifers: an analysis of their distribution, biogeography, diversity and conservation status*. Brill.
- Faurel, L. (1947, May). Note sur la cédraie de l'Atlas de Blida (Algérie), ses sols et ses associations végétales. In CR Conf. Pédol. Médit (Vol. 1, p. 20).
- Faurel, L., & Laffite, R. (1949). Facteurs de répartition des Cédraies dans les Massifs de l'Aurès et du Bélezma. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du nord*, 40(5-6), 178-186.
- Field, C. B., Chapin III, F. S., Matson, P. A., & Mooney, H. A. (1992). Responses of terrestrial ecosystems to the changing atmosphere: a resource-based approach. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 23(1), 201-235. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.23.110192.001221>
- Filella, I., & Peñuelas, J. (2003). Partitioning of water and nitrogen in co-occurring Mediterranean woody shrub species of different evolutionary history. *Oecologia*, 137(1), 51-61. <https://doi.org/10.1007/s00442-003-1333-1>
- Fitzpatrick, M. C., Weltzin, J. F., Sanders, N. J., & Dunn, R. R. (2007). The biogeography of prediction error: why does the introduced range of the fire ant over-predict its native range?. *Global Ecology and Biogeography*, 16(1), 24-33.
- Floret, C., Pontanier, R., & Rambal, S. (1982). Measurement and modelling of primary production and water use in a south Tunisian steppe. *Journal of Arid Environments*, 5(1), 77-90.
- Franklin, J. (1995). Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in physical geography*, 19(4), 474-499.
- Fois, M., Cuenca-Lombrana, A., Fenu, G., Cogoni, D., & Bacchetta, G. (2016). The reliability of

- conservation status assessments at regional level: past, present and future perspectives on *Gentiana lutea* L. ssp. *lutea* in Sardinia. *Journal for Nature Conservation*, 33, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2016.06.001>
- Fyllas, N. M., & Troumbis, A. Y. (2009). Simulating vegetation shifts in north-eastern Mediterranean mountain forests under climatic change scenarios. *Global Ecology and Biogeography*, 18(1), 64-77. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00419.x>
- Garcia, R. A., Burgess, N. D., Cabeza, M., Rahbek, C., & Araújo, M. B. (2012). Exploring consensus in 21st century projections of climatically suitable areas for African vertebrates. *Global Change Biology*, 18(4), 1253-1269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02605.x>
- Gardner, A. S., & Fisher, M. (1996). The distribution and status of the montane juniper woodlands of Oman. *Journal of Biogeography*, 23(6), 791-803.
- Gausson, H. (1982). *Précis de botanique*, tome 2, 2<sup>ème</sup> édition Paris.
- Gause GF (1937) Experimental populations of microscopic organisms. *Ecology* 18: 173-179.
- Gazol, A., Sangüesa-Barreda, G., Granda, E., & Camarero, J. J. (2017). Tracking the impact of drought on functionally different woody plants in a Mediterranean scrubland ecosystem. *Plant Ecology*, 218(8), 1009-1020
- Gbesso, F. H. G., Tente, B. H. A., Gouwakinnou, G. N., & Sinsin, B. A. (2013). Influence des changements climatiques sur la distribution géographique de *Chrysophyllum albidum* G. Don (Sapotaceae) au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(5), 2007-2018.
- Gégout, J. C., Coudun, C., Bailly, G., & Jabiol, B. (2005). EcoPlant: a forest site database linking floristic data with soil and climate variables. *Journal of Vegetation Science*, 16(2), 257-260.
- Goldstein, Simonetti, Watschinger, Alberi d'Europa (A. Mondadori, 1995).
- Gonzalez, P., Neilson, R. P., Lenihan, J. M., & Drapek, R. J. (2010). Global patterns in the vulnerability of ecosystems to vegetation shifts due to climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 19(6), 755-768. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00558.x>
- Graham, J., & Kimble, M. (2019). Visualizing uncertainty in habitat suitability models with the hyper-envelope modeling interface, version 2. *Ecology and Evolution*, 9(1), 251-264. <https://doi.org/10.1002/ece3.4720>
- Grinnell, J. (1904). The origin and distribution of the chest-nut-backed chickadee. *The Auk*, 21(3), 364-382.
- Guisan, A., Edwards Jr, T. C., & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological modelling*, 157(2-3), 89-100.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, 135(2-3), 147-186. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9).
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology letters*, 8(9), 993-1009.
- Guisan, A., Thuiller, W., & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat suitability and distribution models: with applications in R*. Cambridge University Press.
- Halitim, S. (2006). Contribution à l'étude de la réserve utile en eau des sols de cédraines dans les Aures: influence des facteurs édaphiques. Thèse de magister, université de Batna (Algérie).
- Halitim A., 1988. Sols des régions arides d'Algérie. Edit. OPU, Alger, 384 p.
- Hamdani, A. (2012). Évolution géomorphologique et morphodynamique du bassin versant de Oued Agrioun à l'amont du Barrage de Ighil Emda (Région de Kherrata). Mémoire de magistère, USTHB, Algérie, 121p.
- Hamel, T. (2013). Contribution à l'étude de l'endémisme chez les végétaux vasculaires dans la péninsule de l'Edough (Nord-Est algérien). Annaba, Algeria: University of Annaba (Doctoral dissertation, Doctoral Thesis).
- Hamel, T., & Boulemtafes, A. (2017). Découverte d'une endémique tyrrhénienne *Soleirolia*

- soleirolii (Urticaceae) en Algérie (Afrique du Nord). *Flora mediterranea*, 27, 185-193.
- Hansen, W. D., Braziunas, K. H., Rammer, W., Seidl, R., & Turner, M. G. (2018). It takes a few to tango: changing climate and fire regimes can cause regeneration failure of two subalpine conifers. *Ecology*, 99(4), 966-977. <https://doi.org/10.1002/ecy.2181>
- Harfouche, A., Nedjahi, A., Ellatifi, M., & Daly-hassen, H. (2005). Les Ressources génétiques forestières nord-africaines et leur conservation. *Revue forestière française*. pp 15-32.
- Hastie, T., & Tibshirani, R. (1995). Generalized additive models for medical research. *Statistical methods in medical research*, 4(3), 187-196.
- 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: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 25(15), 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- Hijmans, R. J., & Graham, C. H. (2006). The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global change biology*, 12(12), 2272-2281.
- Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X., Zhang, T., & Pegion, P. (2012). On the increased frequency of Mediterranean drought. *Journal of climate*, 25(6), 2146-2161.
- Hufkens, K., Scheunders, P., & Ceulemans, R. (2009). Ecotones in vegetation ecology: methodologies and definitions revisited. *Ecological Research*, 24(5), 977-986.
- Hu, J., & Jiang, Z. (2010). Predicting the potential distribution of the endangered Przewalski's gazelle. *Journal of Zoology*, 282(1), 54-63.
- Huntley, B. (1991). How plants respond to climate change: migration rates, individualism and the consequences for plant communities. *Annals of Botany*, 15-22.
- Hutchinson, G. E. (1991). Population studies: Animal ecology and demography. *Bulletin of Mathematical Biology*, 53(1-2), 193-213.
- Hutchinson, G.E., 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symp. Quantitative Biol.* 22, 415–427
- IPCC, (2014). In: Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A. (2014). (Eds.), *Climate Change, Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 151.
- Jiménez-Valverde, A., Peterson, A. T., Soberón, J., Overton, J. M., Aragón, P., & Lobo, J. M. (2011). Use of niche models in invasive species risk assessments. *Biological invasions*, 13(12), 2785-2797.
- Kabiel, H. F., Hegazy, A. K., Lovett-Doust, L., Al-Rowaily, S. L., & Al Borki, A. E. N. S. (2016). Ecological assessment of populations of *Juniperus phoenicea* L. in the Al-Akhdar mountainous landscape of Libya. *Arid Land Research and Management*, 30(3), 269-289. <https://doi.org/10.1080/15324982.2015.1090499>
- Kadik, B. (1986). Aperçu sur les sols et la végétation des pineraies d'Eghti (Sidi Bel Abbès). *Ann. Rech. Forest. en Algérie*, 7-22.
- Khanfouci, M. S. (2005). Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le massif de Bélezma. Mémoire de Magister en Sciences Forestières, Batna.
- Körner, C., Asshoff, R., Bignucolo, O., Hättenschwiler, S., Keel, S. G., Peláez-Riedl, S., ... & Zotz, G. (2005). Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO<sub>2</sub>. *Science*, 309(5739), 1360-1362.
- Kouba, Y., Alados, C. L., & Bueno, C. G. (2011). Effects of abiotic and anthropogenic factors on the spatial distribution of *Quercus faginea* in the Spanish Central Pyrenees. *Plant Ecology*, 212(6), 999-1007. <https://doi.org/10.1007/s11258-010-9880-0>
- Ladjal, M., Deloche, N., Huc, R., & Ducrey, M. (2007). Effects of soil and air drought on growth, plant water status and leaf gas exchange in three Mediterranean cedar species: *Cedrus atlantica*, *C. brevifolia* and *C. libani*. *Trees*, 21(2), 201-213.

- Laffitte, R. (1939). Etudes géologique de l'Aurès, Publi. Serv. Carte Geol. Alger. Nouv. Ser, 46(2).
- Lansdown, R. V., Knees, S. G., & Patzelt, A. (2013). *Bacopa monnieri*. The IUCN Red list of Threatened Species 2013: e. T164168A17722668. DOI: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T164168A17722668.en>
- Larcher, W. (2000). Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. *Plant biosystems*, 134(3), 279-295. <https://doi.org/10.1080/11263500012331350455>
- Lavergne, S., Mouquet, N., Thuiller, W., & Ronce, O. (2010). Biodiversity and climate change: integrating evolutionary and ecological responses of species and communities. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 41, 321-350.
- Lebreton, P., & Pérez de Paz, P. L. (2001). Définition du Genévrier de Phénicie (*Juniperus agr. phoenicea*), reconsidéré à ses limites biogéographiques: Méditerranée orientale (Crète et Chypre) et Atlantique (Iles Canaries). *Publications de la Société Linnéenne de Lyon*, 70(4), 73-92.
- Lebreton, P., & Rivera, D. (1989). Analyse du taxon *Juniperus phoenicea* L. sur des bases biochimiques et biométriques. *Nat MosnpeL, Ser Bot*, 53, 17-41.
- Lebreton, P., & Rivera, D. (1989). Analyse du taxon *Juniperus phoenicea* L. sur des bases biochimiques et biométriques. *Nat MosnpeL, Ser Bot*, 53, 17-41.
- Lebreton, P., & Pérez de Paz, P. L. (2001). Définition du Genévrier de Phénicie (*Juniperus agr. phoenicea*), reconsidéré à ses limites biogéographiques: Méditerranée orientale (Crète et Chypre) et Atlantique (Iles Canaries). *Publications de la Société Linnéenne de Lyon*, 70(4), 73-92.
- Lebreton, P., & Thivend, S. (1981). Sur une sus-espèce du Genévrier de Phénicie *Juniperus phoenicea* L., définie à partir de critères biochimiques. *Naturalia Monspeliensia, Serie botanique*, 47, 1-12.
- Lecompte, M. (1969). La végétation du Moyen-Atlas Central. *trav. Inst. Sc. Chérifien, Fac. Sci. Bot. et Biol. Végé*, 3(1), 16.
- Lefebvre H. (1900). *Les forêts de l'Algérie*. Univ of California Library, p434.
- Lefèvre, F., Courbet, F., Ripert, C., Ricodeau, N., Collin, E., & Pierangelo, A. (2016). Cèdre de l'Atlas. 6 p. hal-02795429.
- Legendre, P., and L. Legendre. (1998). *Numerical ecology*. Second English edition. Elsevier Science BV, Amsterdam, The Netherlands.
- Legendre, P., & Fortin, M. J. (1989). Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, 80(2), 107-138. <https://doi.org/10.1007/BF00048036>
- Lenoir, J., Gégout, J. C., Guisan, A., Vittoz, P., Wohlgemuth, T., Zimmermann, N. E., ... & Svenning, J. C. (2010). Going against the flow: potential mechanisms for unexpected downslope range shifts in a warming climate. *Ecography*, 33(2), 295-303. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06279.x>
- Lepoutre, B. (1964). Premier essai de synthèse sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le Moyen-Atlas marocain. *Ann. Rech. For. Maroc*, 7, 57-163.
- Liang, Z., Chen, S., Yang, Y., Zhou, Y., & Shi, Z. (2019). High-resolution three-dimensional mapping of soil organic carbon in China: Effects of SoilGrids products on national modeling. *Science of The Total Environment*, 685, 480-489.
- Linaldeddu, B. T., Scanu, B., Maddau, L., & Franceschini, A. (2011). *Diplodia africana* causing dieback on *Juniperus phoenicea*: a new host and first report in the northern hemisphere. *Phytopathologia Mediterranea*, 50(3), 473-477.
- Linares, J. C., Taïqui, L., & Camarero, J. J. (2011). Increasing drought sensitivity and decline of Atlas cedar (*Cedrus atlantica*) in the Moroccan Middle Atlas forests. *Forests*, 2(3), 777-796. <https://doi.org/10.3390/f2030777>
- Linden, A. (2006). Measuring diagnostic and predictive accuracy in disease management: an introduction to receiver operating characteristic (ROC) analysis. *Journal of evaluation in clinical practice*, 12(2), 132-139. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2753.2005.00598.x>
- Lobry, C., Sari, T. La modélisation de la persistance en écologie. Colloque à la mémoire d'Emmanuel

- Isambert, Université de Paris 7, Dec 2007, Paris, France. pp.163 - 184. hal-00824769
- Madoui, A. (2002). Les incendies de forêt en Algérie. Historique, bilan et analyse. Forêt méditerranéenne.
- Maire, V., Wright, I. J., Prentice, I. C., Batjes, N. H., Bhaskar, R., van Bodegom, P. M., ... & Reich, P. B. (2015). Global effects of soil and climate on leaf photosynthetic traits and rates. *Global Ecology and Biogeography*, 24(6), 706-717.
- Makino, A., Klein, C. J., Possingham, H. P., Yamano, H., Yara, Y., Ariga, T., ... & Beger, M. (2015). The effect of applying alternate IPCC climate scenarios to marine reserve design for range changing species. *Conservation Letters*, 8(5), 320-328. <https://doi.org/10.1111/conl.12147>
- Malcolm, J. R., Liu, C., Neilson, R. P., Hansen, L., & Hannah, L. E. E. (2006). Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conservation biology*, 20(2), 538-548. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00364.x>
- Maria, A. (1997, December). Introduction to modeling and simulation. In *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation* (pp. 7-13).
- Martínez-Ferri, E., Balaguer, L., Valladares, F., Chico, J. M., & Manrique, E. (2000). Energy dissipation in drought-avoiding and drought-tolerant tree species at midday during the Mediterranean summer. *Tree Physiology*, 20(2), 131-138. <https://doi.org/10.1093/treephys/20.2.131>
- Martínez, I., Carreño, F., Escudero, A., & Rubio, A. (2006). Are threatened lichen species well-protected in Spain? Effectiveness of a protected areas network. *Biological Conservation*, 133(4), 500-511.
- Martínez-Meyer, E., Townsend Peterson, A., & Hargrove, W. W. (2004). Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, 13(4), 305-314.
- Martínez-Meyer, E., Peterson, A. T., Servín, J. I., & Kiff, L. F. (2006). Ecological niche modelling and prioritizing areas for species reintroductions. *Oryx*, 40(4), 411-418.
- Mazur, M., Klajbor, K., Kielich, M., Sowinska, M., Romo, A., Montserrat, J. M., Boratynski, A. (2010). Intra-specific differentiation of *Juniperus phoenicea* in the western Mediterranean region revealed in morphological multivariate analysis. *Dendrobiology*. 63. 21–31.
- McDowell, N. G., & Allen, C. D. (2015). Darcy's law predicts widespread forest mortality under climate warming. *Nature Climate Change*, 5(7), 669-672. <https://doi.org/10.1038/nclimate2641>
- Médail, F., & Quézel, P. (2003). Conséquences écologiques possibles des changements climatiques sur la flore et la végétation du bassin méditerranéen. *Bocconea*, 16(1), 397-422.
- Meddi, H., & Meddi, M. (2007). Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie. *Géographia technica*, 2, 49-55.
- Meddour, R., Mellal, H., Meddour-Sahar, O., & Derridj, A. (2010). La flore médicinale et ses usages actuels en Kabylie (wilaya de Tizi Ouzou, Algérie): quelques résultats d'une étude ethnobotanique. *Rev. Régions Arides*, 181-201.
- Megdoud A., Messaoudene M., Dahmanimegrerouche M. (2012). Vulnérabilité des forêts de cèdre algériennes aux changements climatiques. *Inter. Conf. On Advances in Plant Sciences*. Nov. 14-18, Chiang Mai, Thaïlande. Poster.
- Messaoudene M., Tafer M., Abderrahmani, GUIBAL F. (2011). Le dépérissement du cèdre dans le Bélezma. Impact des changements climatiques. *Com. Séminaire Inter. Sur le cèdre*. Batna, 13-14 déc. 2011
- Mhirit O. (1982). *Etude écologique et forestière du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre*. *Ann. Rech. Forest. Maroc*. Tome 22. p. 502.
- Mhirit, O. (1999). Le cèdre de l'Atlas à travers le réseau "Silva mediterranea" cèdre". *Bilan et perspectives. Forêt méditerranéenne*. t. xx, n° 3. 91-100.

- Mhirit, O., & Benchekroun, F. (2006). Les écosystèmes forestiers et périforestiers: situation, enjeux et perspectives pour 2025. Rapport général, 50, 395-468.
- Mihi, A., Benarfa, N., & Arar, A. (2020). Assessing and mapping water erosion-prone areas in northeastern Algeria using analytic hierarchy process, USLE/RUSLE equation, GIS, and remote sensing. *Applied Geomatics*, 12(2), 179-191. <https://doi.org/10.1007/s12518-019-00289-0>
- Miller, J. (2010). Species distribution modeling. *Geography Compass*, 4(6), 490-509.
- Mittermeier, R. A., Gil, P. R., Hoffmann, M., Pilgrim, J., T BROOKS, C. M., Lamoreux, J., & Da Fonseca, G. A. B. (2004). Hotspots Revisited: Earth's Biologically Wealthiest and most Threatened Ecosystems. CEMEX, México DF, 99-103.
- Moore, N. W., & Hooper, M. D. (1975). On the number of bird species in British woods. *Biological Conservation*, 8(4), 239-250.
- Moustafa, A., Zaghoul, M., El-Wahab, A., Alsharkawy, D., Ismail, M., & Salman, A. (2016). Ecological Prominence of *Juniperus phoenicea* L. Growing in Gebel Halal, North Sinai, Egypt. *Catrina: The International Journal of Environmental Sciences*, 15(1), 11-23.
- Mücher, C. A., Hennekens, S. M., Bunce, R. G., Schaminée, J. H., & Schaepman, M. E. (2009). Modelling the spatial distribution of Natura 2000 habitats across Europe. *Landscape and urban planning*, 92(2), 148-159.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Naimi, B., & Araújo, M. B. (2016). sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography*, 39(4), 368-375.
- Navarro-Cerrillo, R. M., Sarmoum, M., Gazol, A., Abdoun, F., & Camarero, J. J. (2019). The decline of Algerian *Cedrus atlantica* forests is driven by a climate shift towards drier conditions. *Dendrochronologia*, 55, 60-70. <https://doi.org/10.1177/0959683617752842>.
- Nedjahi A. (1994). Etude de la croissance radiale des provenances du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en Algérie. *Ann. Rech. For.*, T (27): 451-462.
- Neffar, S., Chenchouni, H., Beddiar, A., Redjel, N. (2013). Rehabilitation of degraded rangeland in drylands by Prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) plantations: effect on soil and spontaneous vegetation. *Ecologia Balkanica* 5: 63–83.
- Niederlender, L., & Badeau, V. (2010). Arboretum et dendroécologie: dépérissement du cèdre. *Collection EDYTEM. Cahiers de géographie*, 11(1), 47-54.
- Nouschi, A. (1959, November). Notes sur la vie traditionnelle des populations forestières algériennes. In *Annales de géographie* (Vol. 68, No. 370, pp. 525-535). Armand Colin
- Oggier, P. A. (1980). Niche écologique et défense du territoire chez les oiseaux de proie en Valais. *Bulletin de la Murithienne*, (97), 25-42
- Parnesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37, 637-669.
- Parnesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37-42.
- Pearman, P. B., Guisan, A., Broennimann, O., & Randin, C. F. (2008). Niche dynamics in space and time. *Trends in ecology & evolution*, 23(3), 149-158.
- Pearson, R. G., Dawson, T. P., Berry, P. M., & Harrison, P. A. (2002). SPECIES: a spatial evaluation of climate impact on the envelope of species. *Ecological modelling*, 154(3), 289-300.
- Peñuelas J., Gracia C., Alistair Jump I.L., Carnicer J., Coll M., Lloret F., Yuste J.C., Estiarte M., Rutishauser T., Ogaya R., Llsia J., Sargans J. (2010). Intégration des effets du changement climatique sur les forêts méditerranéennes: observation, expérimentation, modélisation et gestion. *Forêt méditerranéenne t. XXXI, n°4*: 351-356.
- Patil, I., Powell, C., 2018, ggstatsplot: 'ggplot2' based plots with statistical details. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2074621>, <https://CRAN.R-project.org/package=ggstatsplot>.

- Pausas, J. G. (1999). Mediterranean vegetation dynamics: modelling problems and functional types. *Plant Ecology*, 140(1), 27-39. DOI: 10.1023/A:1009752403216
- PeyRe, C. (1979). Recherches sur l'étagement de la végétation sur le massif de Bou-iblane (Moyen Atlas oriental) (Thèse de Doctorat de 3ème Cycle. Université Aix Marseille).
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, 190(3-4), 231-259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S. J., Dudík, M., Elith, J., Graham, C. H., Lehmann, A., Leathwick, J., & Ferrier, S. (2009). Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological applications*, 19(1), 181-197.
- Piotto B, Di Noi A. (2003). *Seed propagation of Mediterranean trees and shrubs*. Agency for the Protection of the Environment and for Technical Services (APAT), Roma, Italy.
- Pocheville, A. (2010). La niche écologique: concepts, modèles, applications (these de doctorat, Ecole Normale Supérieure de Paris - ENS Paris).
- Poggio, L., Simonetti, E., & Gimona, A. (2018). Enhancing the WorldClim data set for national and regional applications. *Science of the Total Environment*, 625, 1628-1643.
- Pradal, F. (1979). Variabilité génétique et écophysiological du cèdre. MEM, ENITEF, Nogent sur Vernisson. France. 87p.
- Pugnaire, F. (Ed.). (2010). Positive plant interactions and community dynamics. CRC Press
- Quézel P. (1976). Les forêts du pourtour méditerranéen. In : Forêts et maquis méditerranéens : Écologie, Conservation et Aménagement. Notes techniques du MAB. Presse de l'Unesco, pp. 9–33.
- Quézel, P., & Pesson, P. (1980). Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. *Actualités d'écologie forestière*. Gauthier-Villars, Paris, 205-255.
- Quézel P. (1998). Cèdres et cédraies du pourtour méditerranéen : signification bioclimatique et phytogéographique. *Forêt méditerranéenne*. 19 : 234–260.
- Quézel, P., Gast, M. (1998). Genévrier. *Encyclopédie berbère*. 20. 3016-3023.
- Quézel, P. (2004). Large-Scale Post-Glacial Distribution of Vegetation Structures in the Mediterranean Region. *Recent Dynamics of the Mediterranean Vegetation and Landscape*, 1-12.
- Quézel, P., Médail, F. (2003). *Écologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier Masson, Paris, France.
- Quézel, P. et Santa, S. (1962). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. Édition du Centre de la Recherche Scientifique, Paris, 565p.
- Qin, A., Liu, B., Guo, Q., Bussmann, R. W., Ma, F., Jian, Z., ... & Pei, S. (2017). Maxent modeling for predicting impacts of climate change on the potential distribution of *Thuja sutchuenensis* Franch., an extremely endangered conifer from southwestern China. *Global Ecology and Conservation*, 10, 139-146.
- Ramdani, M., Lograda, T., Silini, H., Zeraib, A., Chalard, P., Figueredo, G., ... & Zerrar, S. (2013). Antibacterial activity of essential oils of *Juniperus phoenicea* from Eastern Algeria. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(11), 22.
- Raup, D. M., & Sepkoski, J. J. (1982). Mass extinctions in the marine fossil record. *Science*, 215(4539), 1501-1503.
- Rawls, W. J., Brakensiek, D. L., & Saxton, K. E. (1982). Estimation of soil water properties. *Transactions of the ASAE*, 25(5), 1316-1320.
- Redon, M. (2012). Synthèse bibliographique sur les expériences de modélisation de la végétation en Europe et en France (Thèse de doctorat, irstea).
- Rhanem, M. (2010). Esquisse d'une typologie géomorphologiques de quelques cédraies à *Cedrus atlantica* Man. dans le Haut Atlas oriental de Midelt (Maroc). Menaces et perspectives de conservation, de gestion et de restauration. *Quad. Bot. Amb. Appl*, 21, 141-159.

- Rhanem, M. (2011). Aridification du climat régional et remontée de la limite inférieure du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) aux confins de la plaine de Midelt (Maroc). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, (Volume 5), 143-165.
- Rothenberg, J., Widman, L. E., Loparo, K. A., & Nielsen, N. R. (1989). The nature of modeling. in *Artificial Intelligence, Simulation and Modeling*. pp 75-92.
- Ruiz De La Torre J., 1956: *La vegetacion natural del Norte de Marruecos, y la selección de especies para su reprobacion forestal*. Servicio De Montes. Larache, Maroc, p. 97.
- Safaei, M., Tarkesh, M., Bashari, H., & Bassiri, M. (2018). Modeling potential habitat of *Astragalus verus* Olivier for conservation decisions: a comparison of three correlative models. *Flora*, 242, 61-69. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.03.001>
- Schimel, J. P., & Bennett, J. (2004). Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. *Ecology*, 85(3), 591-602. <https://doi.org/10.1890/03-8002>
- Schmidt-Lainé, C., & Pavé, A. (2002). Environnement: modélisation et modèles pour comprendre, agir ou décider dans un contexte interdisciplinaire. *Natures Sciences Sociétés*, 10, 5s-25s.
- Sequeira, C. H., & Alley, M. M. (2011). Soil organic matter fractions as indices of soil quality changes. *Soil Science Society of America Journal*, 75(5), 1766-1773.. doi:10.2136/sssaj2011.0067.
- Sinclair, S. J., White, M. D., & Newell, G. R. (2010). How useful are species distribution models for managing biodiversity under future climates?. *Ecology and Society*, 15(1).
- Singh, B. R., & Singh, O. (2012). Global trends of fossil fuel reserves and climate change in the 21st century (Vol. 8). chapter.
- Solomon, S., Plattner, G. K., Knutti, R., & Friedlingstein, P. (2009). Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(6), 1704-1709.
- Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M. M. B.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P. M. (2013). *Climate change 2013: the physical science basis*. Intergovernmental panel on climate change, working group I contribution to the IPCC fifth assessment report [AR5]. New York. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Stockwell, D. R., & Noble, I. R. (1992). Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. *Mathematics and computers in simulation*, 33(5-6), 385-390.
- Tabet, S., Arar, A., Merdas, S., Chenchouni, H. (2019). Soil available water capacity in Algeria: mapping and modeling current conditions and projected changes under future IPCC global climate change scenarios. (In press).
- Tabet, S., Belhemra, M., Francois, L., & Arar, A. (2018). Evaluation by prediction of the natural range shrinkage of *Quercus ilex* L in eastern Algeria/Dogul Cezayir'i de *Quercus ilex* L.'nin dogal yayilis alaninda azalmanin ongorulmesinin degerlendirilmesi. *Forestist*, 68(1), 7-16. <https://doi.org/10.5152/forestist.2018.002>
- Täckholm, V. (1974). *Students' Flora of Egypt*. Published by Cairo University. Printed by Cooperative Printing Company Beirut. 887p.
- Taibi, S., Meddi, M. D., Souag, D., & Mahé, G. (2013). Évolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009). *Climate and land surface changes in hydrology*, IAHS Publ, 359, 191-197.
- Team, C. W., Pachauri, R. K., Meyer, L. A. (2014). IPCC, 2014: climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the intergovernmental panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland. 151p.
- Tela Botanica 2011. *Projet de numérisation de la flore de L'Abbé Coste par le réseau Tela Botanica*.
- Thomas, P., 2013, *Cedrus atlantica*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.t42303a2970716. <http://dx.doi.org/10.2305/iucn.uk.2013-1.rlts.t42303a2970716.en>.

- Thuiller, W., Albert, C., Araujo, M. B., Berry, P. M., Cabeza, M., Guisan, A., ... & Sykes, M. T. (2008). Predicting global change impacts on plant species' distributions: future challenges. *Perspectives in plant ecology, evolution and systematics*, 9(3-4), 137-152.
- Toth J., (1970). *Plus que centenaire et plein d'avenir / le cèdre en France R.F.F XXI*. Tunisie, T. IV : 483. La rose édit., Paris.
- Toth J., 1972. Historique du Cèdre sur le Mont Ventoux. *Bulletin de la Société d'études des sciences naturelles de Vaucluse*, pp 51-75.
- Toth, J. (1980). Le cèdre dans quelques pays du pourtour méditerranéen et dans deux autres pays à grande importance forestière. *Forêt méditerranéenne*, 2(1).
- Toth, J. (1978). *Contribution al'étude de la fructification et de la régénération du cedre de l'Atlas (Cedrus atlantica M.) dans le sud de la France*. Thèse. Doc. Ing. Fac. St. Jérôme, Marseille, France.
- Toth J., 2005. *Le cèdre de France - Etude approfondie de l'espèce*. Ed. L'harmattan. Paris 207P.
- Touazi, M., & Laborde, J. (2004). Modélisation pluie-débit à l'échelle annuelle en Algérie du nord. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 17(4), 503-516. <https://doi.org/10.7202/705546ar>
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... & Masui, T. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109(1-2), 5.
- Vessella, F., López-Tirado, J., Simeone, M. C., Schirone, B., & Hidalgo, P. J. (2017). A tree species range in the face of climate change: cork oak as a study case for the Mediterranean biome. *European Journal of Forest Research*, 136(3), 555-569.
- Vieira, M. T., Meireles, A. C., de Oliveira, C. W., & do Nascimento, M. T. (2017). Koppen-Geiger and Thornthwaite climatic classification for the metropolitan region of the Cariri, Ceará. *Revista Geama*, 3(3), 136-143.
- Vignal, M., & Andrieu, J. (2016). Modélisation de l'impact du changement climatique sur trois aires de distribution végétales dans le Mercantour. *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies*, 93(93-3), 257-269.
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., ... & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416(6879), 389-395. <https://doi.org/10.1038/416389a>
- Walther, G. R. (2010). Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1549), 2019-2024.
- Wan, J. Z., Yu, J. H., Yin, G. J., Song, Z. M., Wei, D. X., & Wang, C. J. (2019). Effects of soil properties on the spatial distribution of forest vegetation across China. *Global Ecology and Conservation*, 18, e00635. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00635>
- West, A. M., Kumar, S., Brown, C. S., Stohlgren, T. J., & Bromberg, J. (2016). Field validation of an invasive species Maxent model. *Ecological Informatics*, 36, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2016.11.001>
- Williams, K. J., Belbin, L., Austin, M. P., Stein, J. L., & Ferrier, S. (2012). Which environmental variables should I use in my biodiversity model?. *International Journal of Geographical Information Science*, 26(11), 2009-2047. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658816.2012.698015>
- Wilson, K. A., Westphal, M. I., Possingham, H. P., & Elith, J. (2005). Sensitivity of conservation planning to different approaches to using predicted species distribution data. *Biological Conservation*, 122(1), 99-112.
- Wilson, P. D., Downey, P. O., Leishman, M., Gallagher, R., Hughes, L., & O'Donnell, J. (2009). Weeds in a warmer world: predicting the impact of climate change on Australia's alien plant species using MaxEnt. *Plant Protection Quarterly*, 24(3), 84.
- Yahi, N., Djellouli, Y., & de Foucault, B. (2008). Diversités floristique et biogéographique des cédraies d'Algérie. *Acta Botanica Gallica*, 155(3), 389-402.

- Zaremski, A., Bakkali-Yakhlef, S., Chaintreuil, C., Abbas, Y., Prin, Y., Abourouh, M., ... & Baudasse, C. (2007). Caractérisation moléculaire du M'jej, agent de dépérissement des cédraies marocaines. *BOIS & FORETS DES TROPIQUES*, 291, 67-73.
- Zeroual, A., Assani, A. A., Meddi, M., & Alkama, R. (2019). Assessment of climate change in Algeria from 1951 to 2098 using the Köppen–Geiger climate classification scheme. *Climate Dynamics*, 52(1-2), 227-243. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4128-0>
- Zhang, Z., Xu, S., Capinha, C., Weterings, R., & Gao, T. (2019). Using species distribution model to predict the impact of climate change on the potential distribution of Japanese whiting *Sillago japonica*. *Ecological Indicators*, 104, 333-340. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.05.023>.
- ZIAT, M. (1968). Ecologie, productivité et modèles de croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif du Bou Iblane Moyen-Atlas oriental (Doctoral dissertation, Thèse 3ème cycle, Inst. Agron. et vétér. Hassan II, Rabat, Maroc).
- Zimmermann, N. E., Yoccoz, N. G., Edwards, T. C., Meier, E. S., Thuiller, W., Guisan, A., ... & Pearman, P. B. (2009). Climatic extremes improve predictions of spatial patterns of tree species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(Supplement 2), 19723-19728. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901643106>.
- Zine El Abidine A. (2003). Le dépérissement des forêts au Maroc: analyse des causes et stratégie de lutte. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 14(4), 209-218.

## ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على تأثير تغير المناخ على ديناميكيات التوزيع المكاني للعرعر الفينيقي (*Juniperus phoenicea*) وأرز أطلس (*Cedrus atlantica*) في الجزائر. تعتبر هذه الأنواع نادرة ومهددة وذات توزيع مفكك. تم إجراء تحليل توزيع المواطن المواتية للأنواع باستخدام (SDM نموذج توزيع الأنواع)، وهي تقنية تهدف إلى فهم وتوقع احتمالية وجود الأنواع بناءً على علاقاتها الإحصائية مع المعلومات البيئية للمواطن للفترة الحالية والتنبؤ بالمنطقة المناسبة للأنواع في المستقبل في ظل الظروف المناخية التي تنبأت بها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ للسيناريوهين 4.5 و 8.5 من الإسقاطين 2050 و 2070. تتكون المعلمات البيئية المستخدمة في هذا العمل من ثلاثة أنواع، العوامل المناخية الحالية والمستقبلية للإسقاطين 2050 و 2070، وعوامل التربة والعوامل المتعلقة بالطوبوغرافيا. تظهر النتائج أن النموذج مناسب ويعمل بشكل أفضل من العشوائي مع قيمة (AUC المنطقة تحت المنحنى) حوالي 0.966. تظهر منحنيات استجابة الأنواع لعوامل بيئية مختلفة مساهمة أكثر أهمية للعوامل المناخية، مقارنة بقيمها في توزيع الأنواع. تظهر الاحتمالية المتوقعة لخرايط الحدوث للفترة الحالية والمستقبلية استجابات الأنواع للتغيرات في العوامل المناخية مع الانكماش الكبير في منطقة المواطن المواتية. جعلت نتائج هذه الدراسة من الممكن التنبؤ وتقييم احتمالات بقاء الأنواع في مواجهة سيناريوهات تغير المناخ. هذه مساعدة حاسمة وأداة صنع القرار لتخطيط تدخلات فعالة للتخفيف من تعرض أنواع الغابات للتغير المناخي العالمي.

**الكلمات المفتاحية:** العرعر الفينيقي، أرز الأطلس، تغير المناخ، النمذجة البيئية، SDMs، الجزائر AUC، المواطن الملائمة.

## Résumé

L'objectif de cette étude est la mise en évidence de l'influence des changements climatiques sur la dynamique de la distribution spatiale du genévrier de phénicie (*Juniperus phoenicea*) et Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*) en Algérie. Les espèces y est considérées rare, menacées, et a distribution disjointe.

L'analyse de la distribution des habitats favorables des espèces a été réalisé à l'aide d'une modélisation SDM (species distribution model), une technique qui vise à comprendre et prédire la probabilité de présence des espèces en fonction de leurs relations statistiques avec les paramètres environnementaux de l'habitat pour la période actuelle et de prédire l'aire propice de l'espèce au future sous les conditions climatiques prévues par le GIEC pour les deux scénarios 4.5 et 8.5 des deux projections 2050 et 2070.

Les paramètres environnementaux utilisés dans ce travail sont de trois types, les facteurs climatiques actuels et futurs pour les deux projections 2050 et 2070, les facteurs édaphiques et les facteurs liés à la topographie.

Les résultats montrent que le model est adéquat et performe mieux qu'aléatoire avec une valeur d'AUC (Area Under Curve) d'ordre de 0.966. Les courbes de réponse de l'espèce vis-à-vis les divers facteurs environnementaux montrent une contribution plus significative des facteurs climatiques, par rapport aux restes des facteurs dans la distribution des espèces. Les cartes des probabilités d'occurrence prédite pour la période actuelle et future montrent des réponses des espèces vis-à-vis les changements des facteurs climatiques avec des rétrécissements significatifs de l'aire des habitats favorables. Les résultats de cette étude ont permis de prévoir et d'évaluer les probabilités de survie des espèces face aux scénarios de changements climatiques. Ce qui représente un outil crucial d'aide et de décision pour planifier des interventions efficaces en vue de mitiger la vulnérabilité des essences forestières face aux changements climatiques globaux.

**Mots-clés :** Genévrier de phénicie, Cèdre de l'Atlas, changements climatiques, modélisation écologique, SDMs, Algérie, AUC, habitats favorables.

## Abstract

This study aims to highlight the influence of climate change on spatial distribution dynamics of the phénician Juniper (*Juniperus phoenicea*) and Atlas Cedar (*Cedrus atlantica*) in Algeria. These species are considered rares, endangered, and have a limited distribution in Algeria. The spatiotemporal distribution of species suitable habitats was analyzed using Maximum Entropy 'MaxEnt', which is a species distribution model (SDM). This technique aims to understand and predict spatial occurrences of the specie based on their statistical relationships with environmental parameters of their habitat for the current period and to predict the future suitable range of the species under future climate conditions for the projections 2050 and 2070 using the two scenarios 4.5 and 8.5 of IPCC. The environmental parameters used included (i) current and future climatic parameters for 2050 and 2070 projections, (ii) edaphic factors, and (iii) topography-related factors. Results showed that the model is adequate and performed better than random with an Area Under Curve (AUC) value of 0.966. Species response curves to various environmental factors revealed that contributions of climatic factors in defining species distributional range were significantly higher compared to other environmental parameters. Maps of predicted species occurrences probabilities for present and future periods showed species responses to climate changes with significant shrinkage of suitable habitat areas. This study predicted and evaluated survival odds of *J. phoenicea* and *C. atlantica* under future climate change scenarios. These findings represent a crucial decision-making tool for planning effective actions to mitigate vulnerabilities of north African forest species to global warming.

**Keywords:** *Juniperus phoenicea*, *Cedrus atlantica*, climate change, ecological modeling, SDMs, Algeria, AUC, suitable habitats.