

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*  
**Université Abderrahmane MIR-Bejaia**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**  
**Département de Sciences Biologiques de l'Environnement**  
**Filière: Sciences Biologiques**  
**Option: BCDD**



**Réf.....**

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER**

*Thème*

**Analyse bioclimatique et spatiale des niches  
écologiques occupées par les deux espèces  
d'Urodèles *Salamandra algira* et *Pleurodeles  
nebulosus* à l'échelle régionale**

Présenté par:

**M. HASSANI Yassine & Melle. TOUAHRI Sonia**

Soutenu le : jour **21 Juin 2017**

Devant le jury composé de :

	<b>Grade</b>	
<b>M. AHMIM Mourad</b>	<b>Maître de Conférences B</b>	<b>Président</b>
<b>M. DAHMANA Abdelhak</b>	<b>Maître Assistant A</b>	<b>Encadreur</b>
<b>M<sup>me</sup>.KHERBOUCHE DJedjiga</b>	<b>Maître de Conférences B</b>	<b>Examinatrice</b>

**Année universitaire: 2016/2017**

# Remerciements

Tout d'abord, on remercie Dieu, le Généreux qui nous a donné la force d'accomplir ce modeste travail.

On tient à remercier en premier lieu notre promoteur M. DAHMANA pour avoir accepté de nous encadrer et M. KARAR notre Co encadreur pour sa présence, son aide et sa patience.

On exprime aussi nos remerciements à tous les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

On tient à remercier également tous les gens qui nous ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.

Sans oublier les ingénieurs et les doctorants qui travaillent au niveau de laboratoire d'écologie.

***MERCI***

## Dédicaces

.... Je dédie ce travail à toute ma famille et mes amis sans exception, Youyou, Khoya moh, Niche, Massi, Karim Popopoj, Chirak, Fatah le bos, Allaouche, Hossam, Malek, Ghani, Omar moussous, 3valache ...

HASSANI YASSINE

# Dédicaces

JE dédie ce travail à

Mes parents à qui je souhaite une guérison rapide

Mes frères et sœurs

Mes chers neveux Mathis et Léa

A mon binôme Yacine

A toutes les personnes qui m'ont apporté leur soutien.

**Sonia**

# Sommaire

Introduction .....	1
<b>Chapitre1 : Synthèse Bibliographique</b>	
Partie 1 : Généralités sur les amphibiens.....	3
1. Généralités.....	3
2. Systématique .....	3
2.1. Ordre des Urodèles .....	4
2.2. Ordre des Anoures.....	4
2.3. Ordre des Cécilies .....	4
3. La reproduction .....	4
3.1. Chez les anoures.....	5
3.2. Chez les tritons .....	5
3.3. Chez la salamandre.....	5
4. Historique des Amphibiens en Algérie.....	5
5. Les Salamandridés (Amphibien urodèles).....	6
5.1. Salamandra algira.....	7
5.1.1. Classification .....	7
5.1.2. Description .....	8
5.1.3. Statut de conservation.....	9
5.1.4. Habitat .....	9
5.2. Pleurodeles nebulosus .....	9
5.2.1. Classification .....	10
5.2.2. Description .....	10
5.2.3. Statut de conservation : .....	10
5.2.4. Habitat .....	10
Partie 2 : Généralités sur la Macroécologie et le principe de niche .....	11
1. La macroécologie et la biogéographie.....	11
1.1. Analyse biogéographique .....	11
1.2. La distribution géographique.....	12
2. Concept de la niche écologique.....	12
2.1. Niche grinellienne et eltonienne.....	12
2.2. La niche écologique selon Hutchison.....	13
2.3. Vision moderne de la niche écologique.....	14
3. Principe de modélisation de niche écologique .....	15
3.1 Origine de la modélisation de niche écologique.....	15
3.2. Modèles de niche écologique .....	16
3.2.1. Modèles corrélatifs .....	17

3.2.2. Modèles mécanistiques.....	18
4. Limites de modélisation de niche écologique .....	18

## **Chapitre2 : Matériel et Méthodes**

1. Présentation de la zone d'étude :.....	19
1.1. Climagramme d'Emberger .....	19
2. Origine des données d'occurrences : .....	21
3. Les données climatiques.....	22
4. Analyse et traitement des données utilisées .....	23
4.1. Explorer la corrélation entre les variables bioclimatique sous arcGIS:.....	23
4.2. Mise en conformité des rasters environnementaux .....	24
4.3. Densité au noyau .....	25
5. Modélisation de la niche écologique .....	26
5.1. L'approche de la maximum entropie (Maxent) :.....	26
5.2. Maxent.....	27
6. Modélisation de la distribution potentielle des deux espèces.....	28
7. Evaluation du modèle.....	29
7.1. L'AUC.....	29
7.2. Jackknife.....	30
7.3. Analyse des niches bioclimatiques de <i>S.algira</i> et <i>P.nebulosus</i> avec Niche Analyst.....	31

## **Chapitre3 : Résultats et Discussions**

1. Validation du modèle .....	32
1.1. Sélection des variables climatique.....	32
1.2. Robustesse des modèles .....	33
2. Contribution des variables environnementales aux modèles.....	34
3. Courbe de réponse .....	35
3.1. Cas de <i>Salamandra algira</i> .....	35
3.2. Cas de <i>Pleurodeles nebulosus</i> .....	36
4. Analyse de la distribution potentielle prédite : .....	37
4.1. La distribution potentielle prédite pour l'espèce <i>Salamandra algira</i> .....	38
4.2. La distribution potentielle de <i>Pleurodeles nebulosus</i> .....	40
5. Analyse de chevauchement des distributions et des niches bioclimatiques .....	41
5.1. Chevauchement géographique.....	41
5.2. Chevauchement des niches bioclimatiques .....	42
5.3. Intérêt pour la conservation des deux espaces.....	43

<b>Conclusion générale et perspectives</b> .....	44
--------------------------------------------------	----

Liste bibliographique

Annexes

## Liste des figures

<b>Figure.1.1:</b> <i>Salamandra algira</i> (Karar. M, 2014).....	8
<b>Figure.1.2:</b> <i>Pleurodèlesnebulosus</i> (UICN, 2012) .....	10
<b>Figure.1.3:</b> Diagramme BAM (Sillero, N. (2011)).....	15
<b>Figure.1.4.</b> : Modélisation de niche par approche corrélative. Exemple de la construction d'une niche a trois démontions environnementales et sa projection géographique (Antunes, 2015) .....	17
<b>Figure.2.1:</b> Zone d'étude (Landsat 2017) .....	19
<b>Figure.2.2:</b> Situations de 21 stations projetées sur le diagramme d'Emberger.....	20
<b>Figure.2.3</b> : Carte de localisations des sites d'occurrence de l'espèce <i>S. algira</i> utilisées.....	21
<b>Figure.2.4:</b> Carte de localisation des sites d'occurrences utilisés de <i>P. nebulosus</i> .....	21
<b>Figure.2.5:</b> Matrice des corrélations des variables bioclimatiques retenues pour la modélisation.....	24
<b>Figure.2.6:</b> Avant et après la réduction de l'autocorrélation spatiale pour ( <i>P. nebulosus</i> )....	25
<b>Figure.2.7:</b> Schéma récapitulatifs de principe des modèles de distribution d'espèce .....	27
<b>Figure.2.8:</b> Interface principale de Maxent .....	28
<b>Figure.2.9:</b> Interprétation de la courbe ROC (Decoute, 2007) .....	30
<b>Figure.2.10:</b> Résultat du test jackknife sur la contribution des variables.....	30
<b>Figure.2.11:</b> Interface de NicheA 3.0.....	31
<b>Figure.3.1:</b> Résultats de l'analyse du Jackknife permettant de connaitre les variables bioclimatiques contribuant le plus au modèle pour les deux espèces étudiée. .....	32
<b>Figure.3.2:</b> Valeur de l'AUC pour <i>P.nebulosus</i> et <i>S.algira</i> .....	33
<b>Figure.3.3</b> : courbe de réponse <i>Salamandra algira</i> a BIO2 et BIO13.....	36
<b>Figure.3.4.</b> Courbes de réponse <i>pleurodeles nebulosus</i> à BIO15 et BIO13.....	37

<b>Figure.3.5:</b> Carte de distribution potentielle prédite du <i>Salamandra algira</i> .....	38
<b>Figure.3.6:</b> Contexte bioclimatique de l'Algérie tellienne selon Stewart (1974) .....	39
<b>Figure.3.7:</b> Distribution des populations de <i>Salamandra algira</i> en Algérie, données IUCN 2012.....	39
<b>Figure.3.8:</b> Carte de distribution potentielle prédite pour l'espèce <i>P. nebulosus</i> .....	40
<b>Figure.3.9:</b> Carte de chevauchement des distributions potentielles des deux espèces d'Urodèles.....	42
<b>Figure.3.10:</b> Représentation des niches Bioclimatiques de <i>S.algira</i> et <i>P.nebulosus</i> . X: Bio13, Y: Bio3, Z: Bio15.....	42

### Liste des tableaux

<b>Tableau 1-2:</b> Composition taxonomique de la faune d'amphibiens d'Algérie (Mateo et al., 2014) .....	6
<b>Tableau.2.1:</b> les 19 variables bioclimatiques utilisés ( <a href="http://worldclim.org/">http://worldclim.org/</a> ) .....	22
<b>Tableau.3.1:</b> Contribution et importance des variables retenues pour le modèle <i>S. algira</i> .....	34
<b>Tableau.3.2:</b> Contribution et importance des variables retenues pour le modèle <i>P. nebulosus</i> .....	34



# Introduction

## Introduction

L'étude de la biodiversité sous toutes ses formes constitue l'axe majeur de la politique scientifique mondiale, vue la crise importante qu'elle connaît et le rythme accéléré d'extinction et de perte des espèces, la communauté scientifique à penser qu'une sixième extinction de masse s'installe au cours des derniers siècles et millénaires (Bellard et al., 2012).

A l'heure actuelle, environ une espèce d'amphibien sur trois est menacée d'extinction dans le monde, soit plus de 2000 espèces sur les 6020 connues à ce jour. Parmi les menaces qui pèsent sur ces espèces, on peut citer ; la pollution, les incendies, l'introduction d'espèces invasives, le commerce ou encore l'émergence de maladie. Toutefois, la menace principale réside dans la perte d'habitat, qui est principalement due aux activités humaines (Andreone & Randriamahazo, 2008 ; Vieites & al, 2009).

Selon l'UICN Sur les 6 260 espèces d'amphibiens évaluées, près d'un tiers des espèces (32,4%) sont globalement menacées ou éteintes. Les extinctions sont souvent difficiles à confirmer. En utilisant l'approche la plus conservatrice pour documenter les extinctions, on sait que 38 amphibiens sont devenus éteints depuis l'année 1500. Cependant, les nombreux amphibiens qui manquent et qui ne peuvent plus être trouvés sont encore plus préoccupants. Jusqu'à ce que des enquêtes exhaustives sondant leur disparition puissent être effectuées, ces espèces ne peuvent pas être classées dans la catégorie de l'extinction de la Liste rouge de l'UICN, mais sont plutôt désignées comme « éventuellement éteintes » dans la catégorie En danger critique d'extinction.

Les amphibiens comprennent trois grands groupes, ou des ordres taxonomiques : Anura (grenouilles et crapauds), Caudata (salamandres et tritons), et Gymnophiona (caeciliens). Des différences significatives existent entre ces groupes tant dans le nombre d'espèces que dans le statut menacé (Arnold & Ovenden, 2004). Par exemple, il y a de grenouilles et de crapauds que de salamandres et de tritons, et encore moins de caeciliens sont connus. Les grenouilles et les crapauds, avec 5 532 espèces, dirigent largement le niveau moyen de menace pour les amphibiens dans leur ensemble, avec 31,6% (1 749 espèces) menacées ou éteintes. Cependant, les salamandres et les tritons présentent des niveaux de menace nettement plus élevés, avec 49,8% (275 espèces) de leurs espèces menacées ou éteintes.

En Algérie les premières études concernant l'herpétofaune remontent à la fin du 19<sup>ième</sup> siècle, avec les notes de Gervais (1835) ; où il donna une liste de vingt-sept reptiles de la région d'Alger et de Bône (Annaba) Dans son ouvrage « Exploration de l'Algérie », Guichenet (1850) cite 35 espèces de Reptiles et d'Amphibiens. En 1891, Boulenger publia son catalogue sur les Reptiles et les Amphibiens de la Kabylie (qu'il appelait : Barbarie). Ensuite, l'apparition du travail de Doumergue (1901) sur les Reptiles de l'Oranie. En 1930, Seurat publia son ouvrage intitulé « Exploration zoologique de l'Algérie de 1830 à 1930», dans lequel il cite 32 Reptiles et 10 Amphibiens. Par la suite, Vernet (1977) publia son étude sur l'écologie du varan du désert (*Varanus griseus*) dans les écosystèmes intitulés sableux du Sahara Nord occidental. Un peu plus tard, Sura (1983) publia son article: Preliminary results of a collecting trip of *Algeria amphibians* and reptile. En comparaison avec nos voisins et les autres pays de l'Afrique du Nord, nous avons peu de données concernant la faune herpétologique d'Algérie.

Notre étude est justifiée par ce manque de données sur les amphibiens d'Algérie en général, mais tout particulièrement par l'état de conservation des deux Urodèles de Kabylie qui devient de plus en plus préoccupant en vue de toutes les pressions anthropiques que ces espèces subissent d'une part, ainsi que les effets néfastes du changement climatique (Merabet et al., 2016). Ainsi, notre travail aura comme principaux objectifs d'étudier le chevauchement des distributions potentielles de *Salamandra algira* et *Pleurodeles nebulosus* et de leurs niches bioclimatiques respectives à l'échelle régionale, en essayant de mettre en évidence les zones de chevauchement les plus importantes, et d'en expliquer les raisons.

La présente étude est composée de trois chapitres structurés comme suit : le premier chapitre est consacré à la présentation des généralités sur les amphibiens, l'historique et les travaux en Algérie ainsi que la présentation des 2 espèces citées *Salamandra algira* et *Pleurodeles nebulosus*, et la technique de modélisation utilisée pour l'étude de la niche écologique occupée par les 2 espèces au niveau local .Le second chapitre renferme la zone d'étude choisie et d'autre part les techniques employées et les moyens mis en œuvres pour l'exploitation des données et les traiter .Le troisième chapitre rassemble les résultats obtenus (répartition spatiale des espèces et l'amplitude de leurs niches spatiales).

# Chapitre 1

## Synthèse Bibliographique

# Synthèse Bibliographique

## Partie 1 : Généralités sur les amphibiens

### 1. Généralités

Les Amphibiens sont des vertébrés présentant généralement un cycle de vie biphasique : une phase aquatique et une phase terrestre (amphibien vient du grec « amphi » double et « bios » vie) (Berroneau et al., 2010). Le mot amphibien décrit l'aptitude essentielle de ces animaux à vivre dans deux mondes, aquatique, terrestre.

La conquête du milieu terrestre a débuté avec les Amphibiens, il y a environ 380 millions d'années (Morand, 2001 in Challal, 2006). Ils ont dominé les animaux terrestres durant plus de 80 millions d'années. On estime aujourd'hui à plus de 8000 le nombre d'espèces dans le monde. Ils sont des Vertébrés Tétrapodes à peau nue (sans écailles) et humide. Ce sont des animaux poïkilothermes - leur température interne dépend de celle du milieu - présentent la majeure partie de l'hiver un stade de vie ralentie, se traduisant par une immobilité complète. Ils s'abritent sous la terre, sous une souche ou une pierre, voire au fond de l'eau dans la vase (Grosselet et al., 2001). Les Amphibiens illustrent l'architecture des vertébrés en transition entre le milieu aquatique et le milieu terrestre. C'est chez les Amphibiens qu'on voit apparaître les caractéristiques importantes des vertébrés terrestres : l'architecture tétrapode, les modifications au squelette axial, et le développement des poumons et d'un double système circulatoire. Les adaptations à la vie en milieu terrestre ne sont cependant pas complétées chez les Amphibiens, comme le démontre leur besoin de retourner à l'environnement aquatique pour se reproduire.

La classe des Amphibiens est apparue avant les Mammifères et les Oiseaux. Elle diffère de ces dernières par l'absence de poils et de plumes mais aussi par une stratégie énergétique totalement propre (Arnold & Oviden, 2004).

### 2. Systématique

L'herpétofaune englobe environ 11000 espèces actuelles (O'Shea & Halliday, 2001). Actuellement la classe des Amphibiens contient 8000 espèces réparties en 3 grands groupes : les Urodèles (Tritons et Salamandres), les Anoures (Grenouilles et Crapaud) et les Cécilies (Apodes).

### 2.1. Ordre des Urodèles

Les Urodèles sont des Amphibiens qui possèdent une queue à l'âge adulte (Urodèle provient du grec « oyra » : queue et « dêlos » visible). Les 400 espèces décrites dans le monde se rencontrent quasi-exclusivement dans l'hémisphère nord (Berroneau et al., 2010). Ce groupe comprend 5 familles regroupant 450 espèces de tritons et de salamandres qui gardent leur queue après le stade larvaire (O'Shea & Halliday, 2001).

### 2.2. Ordre des Anoures

Les Anoures regroupent l'ensemble des Amphibiens sans queue à l'âge adulte (Anoure provient du grec « a » : sans et « oyra » : queue). Cet ordre regroupe plus de 5000 espèces présentes sur l'ensemble du globe (Berroneau et al., 2010). Actuellement on dénombre plus de 4100 espèces de grenouilles et de crapauds (O'Shea & Haliday, 2001) dont la queue régresse lors de la métamorphose et ils sont remarquables par leur adaptation au saut.

### 2.3. Ordre des Cécilies

Ce sont des créatures dépourvues de pattes et ressemblent à des vers de terre, ils ont une longueur de 30 cm, mais ils peuvent atteindre 1,3 m de long. Ils ont de très petits yeux et sont souvent aveugles (Raven et al., 2007). Les espèces de ce groupe n'ont pas été signalées en Afrique du nord. Les 5 familles appartenant à cet Ordre regroupent 165 espèces (O'Shea & Halliday, 2001).

## 3. La reproduction

Les Amphibiens possèdent un cycle de reproduction très fascinant. La plupart des espèces pondent des œufs dans l'eau ou à proximité, desquels s'extirpent des larves aquatiques munies de branchies externes (Urodèles) ou internes (Anoures). Ces larves aquatiques (têtards) passent beaucoup de temps à se nourrir et se transforment ensuite rapidement en des adultes miniatures (métamorphose). Certains Urodèles donnent directement naissance à des larves ou des jeunes déjà métamorphosés, ou pondent des œufs d'où sortiront directement, à l'éclosion, des jeunes métamorphosés (Arnold & Ovenden, 2004). Les Urodèles et les Anoures ont développé des comportements reproducteurs originaux et caractéristiques, adaptés à leur vie amphibie. Ils s'expriment par des signaux soit visuels (Urodèles) soit acoustiques (Anoures) (Grosselet et al., 2001).

### 3.1. Chez les Anoures

La rencontre des mâles et femelles est facilitée par la disposition qu'ont les premiers à chanter. Ces manifestations sonores exercent un pouvoir de séduction ; elles précèdent l'accouplement qui a pratiquement toujours lieu dans l'eau. Les œufs, fécondés par le mâle à la sortie de l'utérus, sont déposés dans l'eau ; la ponte, en amas ou en cordon, tombe au fond de l'eau, flotte ou est fixée à un végétal.

### 3.2. Chez les tritons

Le mâle, particulièrement coloré à cette période, parade au fond de l'eau devant la femelle et dépose ensuite un spermatophore sur le substrat. La femelle s'avance et prélève ce spermatophore avec son cloaque. La fécondation est donc interne et enfin, la femelle fixe les œufs un par un sur des feuilles de végétaux aquatiques qu'elle replie ensuite.

### 3.3. Chez la salamandre

L'accouplement est terrestre. Le développement des œufs se déroule dans le ventre de la femelle et les larves seront déposées plus tard dans une eau peu profonde. On dit qu'elle est ovovivipare.

## 4. Historique des Amphibiens en Algérie

En Algérie, les recherches herpétologiques ne sont pas en grande ampleur, contrairement à nos voisins tunisiens et marocains. Le Maroc est désormais doté de son premier Atlas des Reptiles et des Amphibiens (Bons et Geniez 1996).

Les premiers éléments de la connaissance de la faune Herpétologique d'Algérie se manifestent à la fin de la première moitié du XIX siècle avec l'apparition des premières notes de Shaw (1738), Gervais (1836, 1857), Guichenot (1850), Tristram (1859, notes on the reptiles of the Sahara), Günther (1859), Strauch (1862). En 1867, Lallement publia le premier catalogue sur les Reptiles et les Batraciens d'Algérie, et un autre catalogue a été conçu par Boulenger (1891) concernant les Reptiles et les Amphibiens de ce qu'il appelait la "Barbarie" (La région de la Kabylie en Algérie), et de nombreux autres travaux on citera : Lataste (1880, sur les Reptiles d'Algérie), Boulenger (1918-1919) sur les serpents et quelques genres d'ordre Sauria, Camerano (1882) Recherche sur la variation de la Rana esculenta et du Bufo viridis dans le bassin méditerranéen), Böethger (1885), Et les recherches continuent dans ce domaine à travers le travail d'Anderson (1892), Olivier (1894),

## Chapitre 1 : Synthèse Bibliographique

et un autre catalogue sous le titre Herpétologie Algérienne ou catalogue raisonné des reptiles et des batraciens observés jusqu'à ce jour en Algérie, et Werner (1892-1894- 1914-1937) à travers plusieurs études sur les Reptiles d'Algérie. Au début du XXe siècle (1901), Doumergue publia un ouvrage très important intitulé " essai sur la faune herpétologiste de l'Oranie" qui reste une référence en la matière pour beaucoup d'espèces, et dans lequel figurent plusieurs notes sur l'ensemble de l'Algérie. La plupart des études ont été effectuées sur les ophiidiens, les crapauds et les lézards, en particulier ceux situés dans les profondeurs du désert (Wargla, Hoggar, Tassili) : (Pelligrin, 1927). (Loyer, 1929). (Gouthier, 1934, 1956, 1966, 1967,1968). (Grenot, 1968). (Mermod, 1970) et d'autres.

Le nombre des chercheurs algériens reste restreint par rapport à la superficie et la richesse de la diversité de l'environnement et des écosystèmes en Algérie. Parmi ces quelques chercheurs : les travaux effectués par Djirar (1990, 2007) au mont des Babor et Sahara dans la région de Ghardaïa, l'Inventaire et écologie des reptiles du Parc national d'El Kala – Algérie par (Rouag et Benyacoub, 2006) et sur les anoures de la région de Tiaret dans le nord-ouest du pays réalisés par (Ait Hammou et Dahmani, 2009).

Tableau 1-2 : Composition taxonomique de la faune d'amphibiens d'Algérie (Mateo et al., 2013)

Famille	Genre et espèce
<i>Salamandridae</i>	<i>Salamandra algira</i>
	<i>Pleurodeles poireti</i>
	<i>Pleurodeles nebulocus</i>
<i>Ranidae</i>	<i>Pelophylax saharicus</i>
<i>Alytidae</i>	<i>Discoglossus pictus</i>
	<i>Discoglossus scovazii</i>
	<i>Alytes maurus</i>
<i>Bufo</i> <i>nidae</i>	<i>Sclerophrys mauritanica</i>
	<i>Amietophrynus xerox</i>
	<i>Bufotes boulengeri</i>
	<i>Barbarophryne brongersmai</i>
	<i>Bufo spinosus</i>



<i>Hylidae</i>	<i>Hyla meridionalis</i>
<i>Dicroglossidae</i>	<i>Hapobatrachus occipitalis</i>
6 familles	12 Genres et 14 espèces

## 5. Les Salamandridés (Amphibien urodèles)

### 5.1. *Salamandra algira*

La salamandre algire est arrivée en Afrique du nord il y a 12 million d'années à la fin de la crise de salinité messénienne via le détroit de Gibraltar (Beukema et al., 2010). Elle a une distribution non homogène dans les forêts humides et subhumides d'Algérie et du Maroc (Donaire-Barroso et Bogaerts, 2003)

En se basant sur les caractères morphologiques et comportementaux, Donaire fut le premier en 1972 à proposer un statut pour *salamandra algira* (Donaire-Barroso & Bogaerts, 2003)

Boulenger (1889) fut le premier à signaler la présence du genre *Salamandra* on se basant sur le matériel collecté par Henry Vaucher près de Tanger (Beukema et al., 2013). Trois sous espèces sont définies actuellement au Maroc : *Salamandra algira tingitana* au nord (Donaire-Barroso & Bogaerts, 2003), *Salamandra algira spelaea* au niveau de l'Atlas (massif de Beni Snassen) (Escoriza et al., 2006), *Salamandra algira splendens* près des frontières avec l'Algérie (Beukema et al., 2013). Selon des révisions taxonomiques basées sur des caractères génétiques et morphologiques (Bogaerts et al., 2007), la Salamandre présente en Algérie est considérée comme étant *Salamandra algira algira* et elle est classée comme sous espèce (Donaire-Barroso & Bogaerts, 2003). Définie comme étant présente sur les régions du nord (Annaba, Kabylie, le massif Blidéen et en Oranie), peu d'études sont menées sur la Salamandre en Algérie

Gasser (1978) a signalé que *Salamandra algira* provenant de la région de Blida et de Kabylie avait des caractères génétiques absents dans le reste des populations. A présent les données sur l'écologie, la coloration, la reproduction ainsi que les caractères morphologiques manquent sur cette espèce surtout en Kabylie particulièrement (Donaire-Barroso & Bogaerts, 2003; Escoriza et al., 2006)

#### 5.1.1. Classification

*Salamandra algira* (Bedriaga, 1883) du genre *Salamandra* famille des *Salamandridae* ordres des Urodèles classe des Amphibiens

### 5.1.2. Description

*Salamandra algira* se caractérise par un corps fin et une queue relativement plus longue qui fait en moyenne 20-23 cm de long à l'âge adulte, ses pattes antérieure sont plus longues et ses orteils sont plus plats .Elle est plus fine et plus svelte que sa cousine *Salamandra salamandra* d'Europe (Linnaeus,1758).Elle est pourvue de motifs jaunes et noirs et parfois entaché de rouge sur la face dorsale, la coloration jaune est absente sur la face ventrale des cas rares de salamandres entièrement noirs ont été retrouvées (Donaire-Barroso et Bogaerts,2003 ; Schleich et al., 1996).Se déplaçant lentement et avec une démarche pataude la Salamandre a un pouvoir de régénérer ses parties blessées ou perdues très rapidement ;se défendant par la sécrétion d'une neurotoxine (samandarine) qui est sécrétée par des glandes parotides situées juste derrière les yeux, elle est pourvue aussi des rangées de glandes dorsales qui peuvent excréter une sécrétion empoisonnée en cas de stress important face au danger ou aux ennemis elle peut décharger le poison jusqu'à un mètre de distance (Vences et al., 2014) L'influence des facteurs écologiques prédominants affectent l'intensité de coloration des salamandres ,sur des sous-sols foncé est très sombre avec un jaune intense, les couleurs se ternissent sous l'influence de la chaleur et la sècheresse et la peau apparait fragile et plissée cela affecte le rôle respiratoire chez les salamandres adultes contrairement à un environnement humide .La salamandre peut respectivement inspirer et expirer en soulevant et en abaissant le fond de la bouche en coordonnant simultanément la fermeture et l'ouverture des narines (principe respiratoire de la pompe refoulante commun chez les batraciens et les poissons à poumon (Roux,2002)



**Figure.1.1:** *Salamandra algira* (Karar. M, 2014)

### 5.1.3. Statut de conservation

Selon la liste rouge de l'UICN *Salamandra algira* est classée espèce vulnérable (Donaire-Barroso et al., 2006), c'est ainsi le cas pour toutes les sous espèces, les populations de salamandre sont très fragmentées que ce soit en Algérie ou au Maroc. La répartition de *Salamandra algira* est très réduite cela nécessite une révision urgente de son statut et aussi des travaux et études pour mieux connaître sa distribution et les mesures à prendre pour sa conservation.

### 5.1.4. Habitat

La distribution de *Salamandra algira* est concentrée dans des régions à fortes précipitations, elle est répartie sur le nord-ouest africain, au nord du Maroc (les montagnes du Rif, l'Atlas et la région frontalière avec l'Algérie) et en Algérie avec des populations fragmentées au niveau des chaînes montagneuses du nord. En effet, sa distribution suit les étages bioclimatiques humides et subhumides où elle trouve les conditions favorables pour sa survie (Escoriza et al., 2006).

## 5.2. *Pleurodeles nebulosus*

Poiret (1789) fut le premier à signaler la présence du *Pleurodeles poireti* en Afrique du nord dans son « Voyage en Barbarie », il a donné pendant ses travaux une brève description de l'espèce sous le nom de *Lacerta palustris*. En 2004 Ccranza a indiqué que le genre *Pleurodeles* a atterri en Afrique du nord probablement pendant la crise de salinité messénienne (5.6-5.3 d'années) et suggéré que le genre *Pleurodeles* Michaelles, 1830 s'est séparé de son taxon cousin *Tylotriton andersoni* 1871 d'origine eurasienne il y a 8.3-10 millions d'années tandis que le *Pleurodeles poireti* (Gervais 1835) s'est isolé dans le mont de l'EDOUGH à Annaba au nord est Algérien après que celle-ci est devenue une île fossile (Suc et al., 1994).

### 5.2.1. Classification

Le *Pleurodeles nebulosus* appartient à l'ordre des urodèles Dumeril 1806, famille des salamandridés Goldfuss 1820, classe des amphibiens Linnaeus 1758. Se différenciant de *Pleurodeles poireti* Gervais 1835, par plusieurs caractères morphologiques et morphométriques distinctifs : forme des dents, la taille et la forme générale du crâne du museau et des mâchoires

### 5.2.2. Description

Le *Pleurodeles nebulosus* a un corps légèrement aplati avec des côtes qui ne transpercent pas la peau, tête fortement déprimée, museau court et arrondi, peau très

granuleuse. Les membres supérieurs du corps et ses parties supérieures sont en vert militaire avec des taches foncées irrégulières noirâtres, plus au moins denses. Flancs et parties inférieures vert jaunâtre avec des taches plus espacées sur les flancs. Queue fortement comprimée latéralement. Plus longue que le reste du corps, le bord supérieur de la queue est de même couleur que la partie supérieure du corps avec des petites taches moins denses



**Figure.1.2:** *Pleurodeles nebulosus* (UICN, 2012)

### 5.2.3. Statut de conservation :

L'espèce est classée par l'UICN comme espèce vulnérable (Donaire-Barroso et al., 2006), sa répartition est très fragmentée non seulement ses populations sont à faibles densités, mais son aire de distribution est très réduite « 65225 Km<sup>2</sup> » de superficie (Donaire-Barroso et al., 2006), la fragmentation des habitats naturels, la déforestation et la raréfaction des sites de reproduction accélèrent le déclin de cette espèce (Ben Hassine et al., 2012)

### 5.2.4. Habitat

L'habitat préférentiel du pleurodèle d'Algérie (triton endémique à l'Algérie et la Tunisie) est les plans d'eau peu profonds, il est caractérisé par une distribution fragmentée tout au long du nord algérien et tunisien (Ben Hassine & Escoriza, 2014 ; Ben Hassine et al., 2013 ; Donaire-Barroso et al., 2006) Le triton d'Algérie est retrouvé principalement dans les régions de Theniet el Had dans la wilaya de Tissemsilt, Alger , Bejaia et en Numidie (Annaba, Eltaref, et Constantine).

## Partie 2 : Généralités sur la Macroécologie et le principe de niche

### 1. La macroécologie et la biogéographie

La biogéographie dépend largement des observations et les concepts de ses sujets de parent :

Bio : être vivants dans leur relation fonctionnelle et dynamiques

Géo : prise en compte de toutes dimensions et toutes les échelles de répartition des êtres vivants à la surface de globe en considérant les lieux, les distance, les territoires, les flux les réseaux et toutes les modes d'organisation spatiale

Graphie : intègre toutes les formes d'expression, perception et de représentation, actuelles et passés, des faits biologiques et géographiques (Arnould P., 1994).

La macroécologie : décrire et comprendre la distribution et l'abondance des espèces et étudie les relations entre les organismes et leur environnement à large échelle spatiale et /ou temporelle et identifie les facteurs responsables de leur distribution (Brown, 1995). La base de la macroécologie est la biogéographie qui permet l'étude des relations géographique et l'historique entre et au sein des groupes d'organismes (Kaiser et al., 2005).

Elle s'appuie sur l'identification et la caractérisation des regroupements géographiques des espèces et des conditions environnementales (contexte physique, chimique et biologique) qui les différencient. De nombreux outils analytiques sont à la disposition de ces disciplines pour contribuer à la description, à la mesure et à la modélisation de ces patrons (Pierrat, 2011).

#### 1.1. Étude de la répartition géographique des espèces vivantes

Le but des analyses biogéographique est de permettre une régionalisation de la zone étudiée, c'est-à-dire rendre compte des patrons de distribution des espèces induit par les facteurs environnementaux ou les paramètres géographiques physiques selon Pierrat (2011) il existe trois approches possibles :

- La première approche permet de définir les régions en fonction de leurs facteurs abiotiques (paramètres environnementaux, la température etc.) et géographique.

-La deuxième approche la régionalisation basée sur l'assemblage spatial des espèces. Elle permet de définir les patrons spatiaux à l'aide d'une combinaison d'échantillons récoltés sur une vaste aire de répartition. Les régions ainsi définies sont appelées des « biorégions ».

-La troisième approche combine les deux précédentes, c'est-à-dire qu'elle permet de définir des « écorégions » en analysant les relations entre données d'occurrence et données environnementales.

### 1.2. La distribution géographique

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

Dans certains cas, cette donnée peut être couplée avec la densité. L'aire représente un ensemble des régions où il est probable de rencontrer l'espèce. On peut alors décrire cette étendue géographique verbalement en dressant, une liste de localité, ou encore visuellement en traçant sur une carte un polygone, etc. Il existe d'autres approches qui consistent à évaluer la répartition selon les relevés de fréquences, de présence ou à modéliser la distribution de l'espèce. Ce deuxième cas est nommé SDM (species distribution modeling). (Antunes, 2015).

Les notions de distribution admettent différents degrés de finesse selon la précision des relevés d'occurrences. En effet la présence de l'espèce peut être signalée en lieu très précis (coordonnées géographiques) ou selon un découpage administratif ; une commune, un pays ou un continent (à différentes échelles). La précision augmente à mesure que l'échelle est réduite. L'aire géographique est généralement estimée selon l'éloignement géographique des occurrences de l'espèce sans tenir compte de son écologie. Elle inclut des zones où l'espèce ne peut pas accéder. D'un autre côté, la distribution géographique d'une espèce dépend fortement de sa mobilité et de son histoire. (Antunes, 2015).

## 2. Concept de la niche écologique

### 2.1. Niche grinellienne et eltonienne

La première utilisation du mot « niche » dans le sens d'un lieu occupé par une espèce dans l'environnement est probablement due à Roswell Johnson (1910). Mais c'est Joseph Grinnell (1913) qui est le premier ayant inséré le concept dans un programme d'investigation. Selon la définition (Grinnell, 1917) la niche écologique correspond à un milieu pour lequel l'ensemble des paramètres environnementaux permettent la survie de l'espèce. Ces paramètres peuvent être d'ordre abiotique (comme la température, les précipitations, humidité, précipitation ou l'altitude etc.) ou biotique (compétition, prédation, présence de la nourriture, commensales etc.). Ainsi, pour expliquer la répartition et les

propriétés des espèces, Grinnelle s'intéresse à l'influence de l'environnement sur la distribution des populations et leurs évolutions.

Charles Elton (1927), perçu comme l'autre père du concept de niche, se focalise aussi sur les équivalents écologiques, mais au sein d'un programme de recherche différent.

Elton recherche les invariances des structures des communautés via quatre axes d'étude qui mettent l'accent sur les relations trophiques : la relation entre la taille d'un organisme et la taille de sa nourriture, les chaînes trophiques, la niche d'organisme, et la « pyramide des nombres »

Donc la représentation géographique de la niche grinellienne est l'ensemble de tous les lieux qui présentent les conditions environnementales favorables à l'espèce. Cette niche permet de positionner une espèce dans son milieu de vie par facteurs environnementaux.

Whittaker et al., (1973) opposent la niche grinellienne à la niche éltonienne car la deuxième renvoie au rôle joué par l'espèces dans son environnement et à la place qu'elle occupe dans le réseau trophique. La niche grinellienne et eltonienne positionnent en un lieu et fonction l'espèce dans son environnement biotique.

Selon Whittaker et al., (1973) et Hutchinson, (1957) on peut distinguer deux types de niches grinelliennes : la niche fondamentale et la niche réalisée.

La niche écologique fondamentale c'est l'ensemble des conditions environnementales abiotiques nécessaires à la survie de l'espèce.

La niche écologique réalisée est décrite par le même ensemble de conditions environnementales favorables à l'espèce, et elle prend en considération l'aire qui lui est accessible ainsi que la présence d'autres espèces.

### **2.2. La niche écologique selon Hutchison**

Hutchinson, (1957) définit une niche écologique comme étant un hypervolume (volume écologique multidimensionnelle) où chaque dimension de l'espèce représente une ressource (matériaux, spatiale, substrats etc.) ou une condition (température, précipitation, humidité, acidité etc.) de l'environnement. La qualité de ressources varie dans l'espace et dans le temps en fonction de l'activité de l'espèce, les conditions et les ressources sont les conditions limitantes qu'on peut hiérarchiser pour étudier la vulnérabilité de l'espèce dans l'environnement. La niche réellement occupée par l'espèce, restreinte aux régions de la niche fondamentale où l'espèce n'est pas exclue par ces compétiteurs, est quant à elle nommée réalisée. À l'inverse de la niche fondamentale, la niche réalisée est contingente à un ensemble de compétiteurs donné.

Tandis que Grinnell et Elton mettaient l'accent sur la similarité des niches occupées par des équivalents écologiques dans des zones géographiques différentes, Hutchinson met l'accent sur la similarité de niches des espèces dans une même localité, et sur la façon dont elles entrent en compétition, quoique d'autres facteurs soient considérés, comme la prédation et la variabilité environnementales.

Pour Hutchinson, la compétition (pour des ressources) peut modifier la niche d'une espèce dans le sens d'une réduction de la similarité (Pierrat, 2011). et assez d'auteurs (Araujo et Guisan, 2006 ; Kearney, 2006). ils s'appuient tous sur la définition de la niche écologique d'Hutchinson (1957) les avis de divergence concernant la partie de la niche réellement modélisée (Araujo et Guisan, 2006). Hutchinson définit la niche d'une manière qui inspirera et sera fondement des modélisations de niche écologiques l'ENM (Ecological Niche Modelling) (Antunes, 2015).

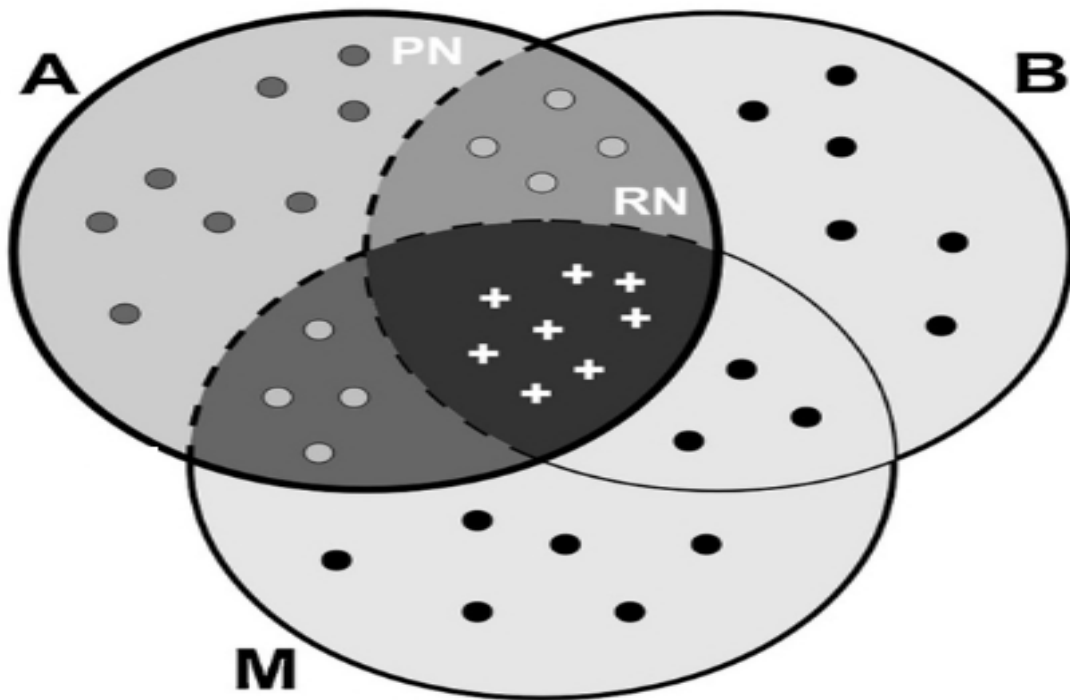
### 2.3. Vision moderne de la niche écologique

Du fait de la découverte antérieure des interactions biotiques négatives de type compétition et prédation, la théorie des niches est principalement axée sur ces dernières. Elle vise à mesurer en appliquant les principes de Lotka –Volterra le degré de compétition entre les espèces pour connaître leurs abondances et estimer la densité des individus (Antunes, 2015).

Pulliam, (2000) aborde le concept de niche de façon moins dynamique, donnant moins de poids à la compétition et intégrant les processus stochastiques dus aux interactions avec toutes les espèces de la communauté. Ce concept accorde également de l'importance à la mobilité de l'espèce (Araujo et al., 2005; Guisan et Thuiller, 2005; Peterson, 2006; Pulliam, 2000; Soberon et Peterson, 2005; Svenning et Skov, 2004), à sa démographie, histoire (Brown, 1995; Soberon et Peterson, 2005), aux espèces constructrices de leur environnement et aussi à la dynamique source-puits. Plus récemment, Chasen et Leibold (2003) ont mis à jour la définition de la niche écologique comme étant un espace regroupant les conditions nécessaires permettant à l'espèce d'avoir un taux de croissance positif (taux de natalité supérieur au taux de mortalité).

Cette représentation (figure.1.3) permet de mettre en évidence les classes de facteurs qui conditionnent la présence d'une espèce :





**Figure.1.3:** Diagramme BAM (Sillero, N. (2011))

- les facteurs abiotiques « A » (climats, géologie etc.)
- les facteurs biotique « B » rendent compte des relations avec les autres espèces (compétitions, prédation, maladie etc.)
- les facteurs de mobilité « M » déterminant la possibilité pour l'espèce de rejoindre des régions géographiques.

### **3. Principe de modélisation de niche écologique**

#### **3.1 Origine de la modélisation de niche écologique**

Profitant d'une large variété de techniques statistiques non paramétriques, mathématiques et conception d'algorithmes en conjugaison avec les systèmes d'informatique géographique et de télédétection, les modèles de niche écologique ou de distribution d'espèces sont souvent utilisés dans des études concernant l'écologie de conservation et de biogéographie (Elith et al., 2011).

Ils estiment la relation entre la présence d'une espèce dans une localité et les conditions environnementales qui y règnent (Fanklin, 2009).

Selon Sampoux Bardeau, (2011), il consiste à construire une fonction de paramètres environnementaux qui prédit la probabilité de présence de l'espèce à partir d'un jeu de données de calibration comprenant des données de présence/absence ou d'abondance géoréférencés (localisation d'un lieu échantillonné par des coordonnées de longitude et latitude) de l'espèce et des valeurs de paramètres environnementaux aux sites d'observation. En d'autres termes, ils identifient et qualifient les facteurs qui contrôlent la distribution d'une espèce et d'une communauté et analysent les relations entre données d'occurrence et les données environnementales abiotiques en produisant des cartes de environnement ou l'habitats préférentiels ou favorable à la présence et développement optimal d'une espèce ou d'une population d'espèces (Guisan et Wilfried, 2005; Elith et al., 2006; Urbina-cardona et Nicolàs, 2010 ).

### **3.2. Modèles de niche écologique**

Ils sont souvent utilisés dans le cadre d'études en écologie de la conservation ou en biogéographie (Elith et al., 2011). Plusieurs méthodes ont été proposées pour réaliser des modèles de niche écologique (Guisan et Zimmerman, 2000). Ces méthodes sont des outils fiable pour une évaluation précise des distribution potentielles (Pearson et al., 2006). Ces habitats sont alors définis comme une approximation de la niche écologique théorique de l'espèce (ou groupe d'espèces ).

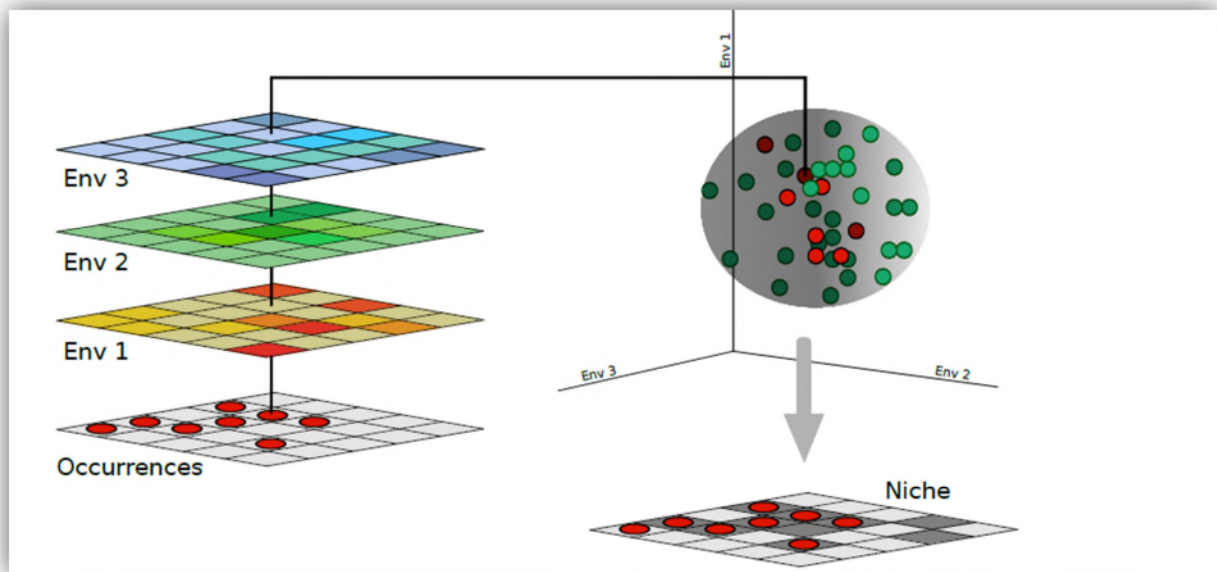
Cependant, la performance de ces méthodes est toujours discutée et nombreux articles ont pour l'objectif de les comparer (Elith et al., 2006; Araujo et New, 2007 ; Marmion et al., 2009).

Le choix du modèle de niche se fait également en fonction du type de données à traiter (données de« présence seule », données de présence /absence ou données ou d'abondance) (pierrat, 2011).

Il existe ainsi deux grands types de modélisation, les modèles mécanistiques qui incorporent quant à eux des traits écophysiologicals et/ou démographiques (morphologie, physiologie, comportement) et stratégies de survie (développement, croissance, reproduction, dispersion) (Kearney et Porter, 2004; Buckley, 2008). Les modèles corrélatifs se basent sur des relations mathématiques entre les observations de terrain (occurrences) et les variables environnementales (Guisan et Thuiller., 2005).

### 3.2.1. Modèles corrélatifs

Les méthodes corrélatives mesurent la relation entre les données environnementales abiotiques et les données d'occurrence pour quantifier les processus limitant la distribution des espèces, il est nécessaire d'avoir des données sur la répartition de l'espèce et des données spatialisées des variables environnementales (Figure.1.4). Ils sont moins exigeant et plus utilisés, ils nécessitent des données de présence seule ou présence/absence, abondance. (Lauzeral, 2012).



**Figure.1.4:** Modélisation de niche par approche corrélative. Exemple de la construction d'une niche a trois dimensions environnementales et sa projection géographique (Antunes, 2015)

-Les points rouges représentent les occurrences

-chacune des couches de données environnementales (Env1, Env2 et Env3) possède une valeur numérique de la variable qu'elle représente en tout point de grille.

Le volume en gris symbolise l'ensemble des occurrences possible, soit la niche modélisée.

Enfin la niche est projetée sur une carte ou les prédictions de présence sont représentées par les cases grisées.

Une bonne connaissance de l'écologie de l'espèce est nécessaire avant la modélisation de niche écologique afin d'utiliser les paramètres environnementaux adéquats et de sélectionner les occurrences correctes. Dans certain cas ces choix n'étant pas intuitifs (Liu et al., 2005; Peterson et al., 2007).

### 3.2.2. Modèles mécanistiques

Les modèles mécanistique demandent une connaissance approfondie de la physiologie des espèces et qu'ils possèdent souvent un pouvoir prédictif plus réduit sur la distribution réelle des espèces que les modèles corrélatifs. Cette approche propose un pouvoir explicatif bien plus important sur les facteurs limitant la distribution des organismes (Kearney et Porter 2004 ; Buckley, 2010), elle permet aussi à comprendre les situations où si l'espèce n'est pas en équilibre avec son environnement (Kearney et al., 2008). Les modèles mécanistiques peuvent être plus complexes (Guillon, 2006).

## 4. Limites de modélisation de niche écologique

Il faut tout de même signaler que la modélisation de la niche écologique a des limites (Soberon et Peterson, 2005), qu'il faut prendre en considération pour une utilisation optimale et des interprétations justes :

- Les modèles ne prennent pas en compte ni la plasticité de la niche écologique, ni l'adaptation possible d'une espèce aux changements environnementaux.
- les modèles ignorent la compétition inter et intra-spécifique, la prédation et le contexte historique de la distribution de l'espèce.
- ils supposent que l'espèce est en équilibre avec son environnement.

# Chapitre 2

## Matériel et Méthodes

## 1. Présentation de la zone d'étude :

Notre zone d'étude englobe le nord algérien et tunisien (figure.2.1). Le climat est de type méditerranéen, sur toute la frange nord qui comprend le littoral et l'atlas tellien (les massifs montagneux) caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux, humides et frais. Les bordures Nord centre et Est reçoivent en moyenne des quantités annuelles de précipitations variant entre 600 et 1150mm. Elles sont de ce fait plus arrosées que le reste du pays (ONMA, 2014). Le nord tunisien est caractérisé par une pluviométrie annuelle variant de 350mm à 700mm (Bensalem et al., 1995).

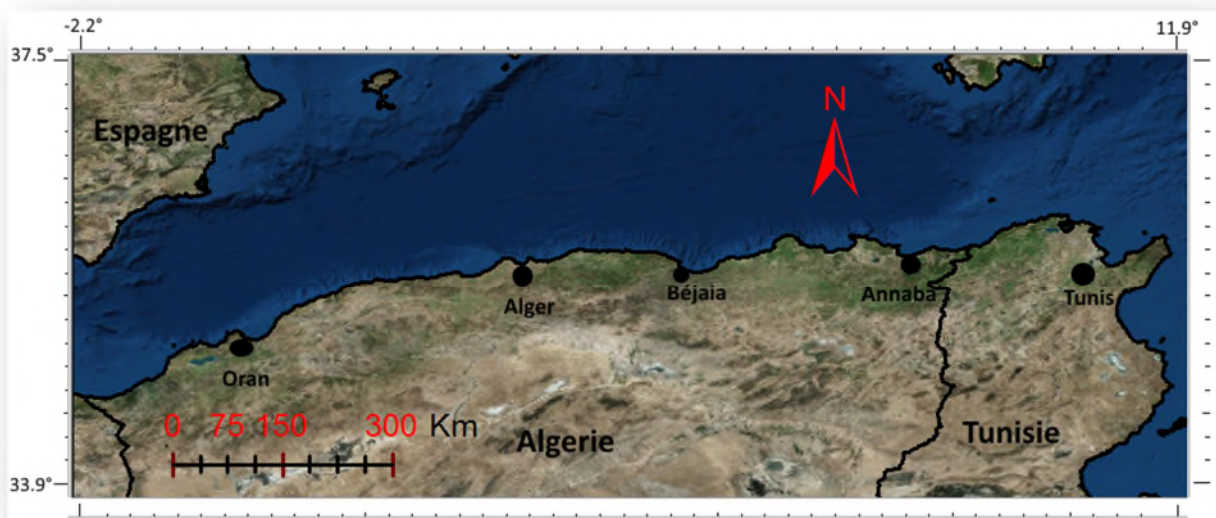


Figure.2.1: Carte de la zone d'étude réalisée sous Landsat 2017

### 1.1. Climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger (Emberger, 1955) permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée à partir de la formule suivante:

$$Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$$

**P:** Pluviométrie annuelle moyenne en mm

**M:** moyenne des maxima du mois le plus chaud en degrés Kelvin

**m :** moyenne des minima du mois le plus froid en degrés Kelvin

Après avoir sélectionné quelques stations représentatives, allant de l'Est vers l'ouest et du Nord vers le Sud de notre zone d'étude et calculer les valeurs de (Q2) pour chaque station, en se servant des données bioclimatiques tirées de la base de données Worldclim (Hijmans et al., 2005, voir annexes). Chaque valeur a été projetée sur le climagramme d'Emberger (Figure.2.2). On remarque que la majorité des stations projetées se situent dans l'étage bioclimatique humide et semi-aride, la plupart d'entre elles sont caractérisées par des hivers doux (Farnana1, Nzfa, Brihanne, Tabarka...), celle d'EL Kala et Bizerte sud caractérisées par un hiver chaud et Tamazguida par des hivers frais. Les saltations de l'étage semi-aride sont toutes caractérisées par des hivers doux. Puis vient l'étage humide avec deux stations aux hivers frais (Chemini et Gardiman), deux autres avec des hivers doux (Azazga et Zekri) et une station avec des hivers chauds. Termine est la seule station identifiée dans l'étage aride avec un hiver doux. Notre zone d'étude est principalement représentée par les deux étages bioclimatiques subhumide et semiaride.

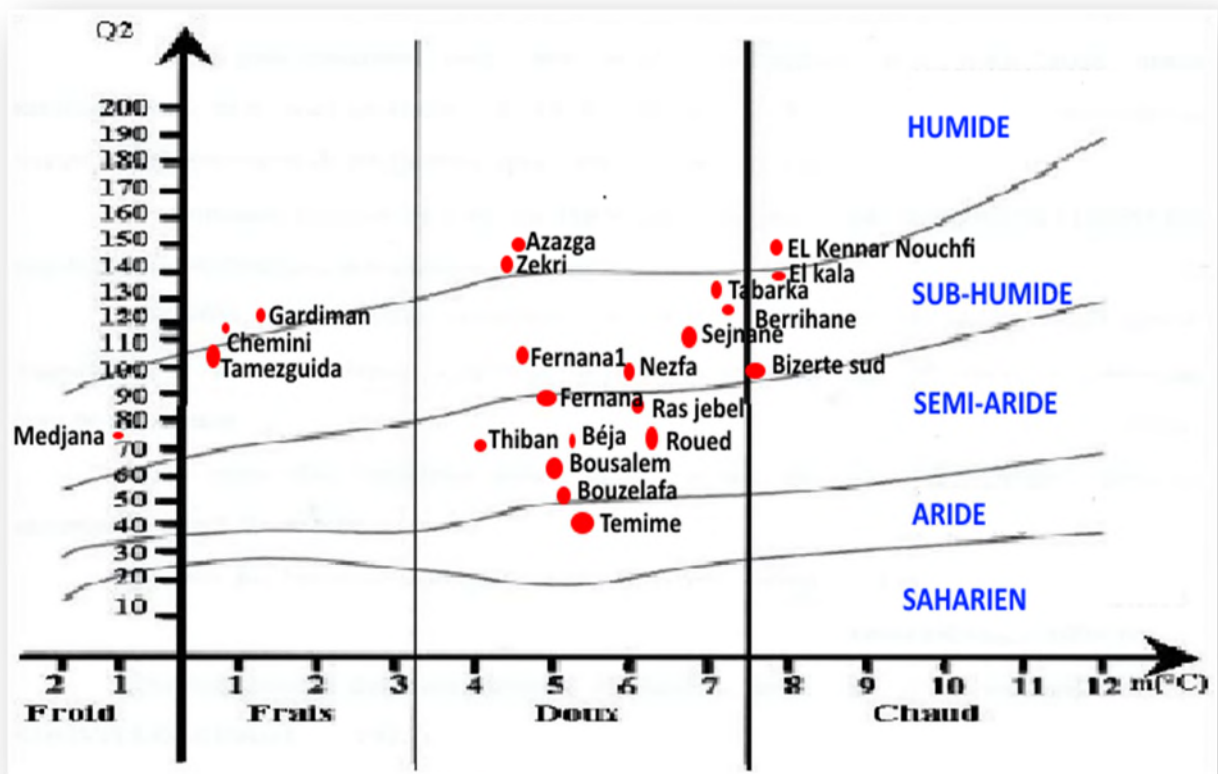
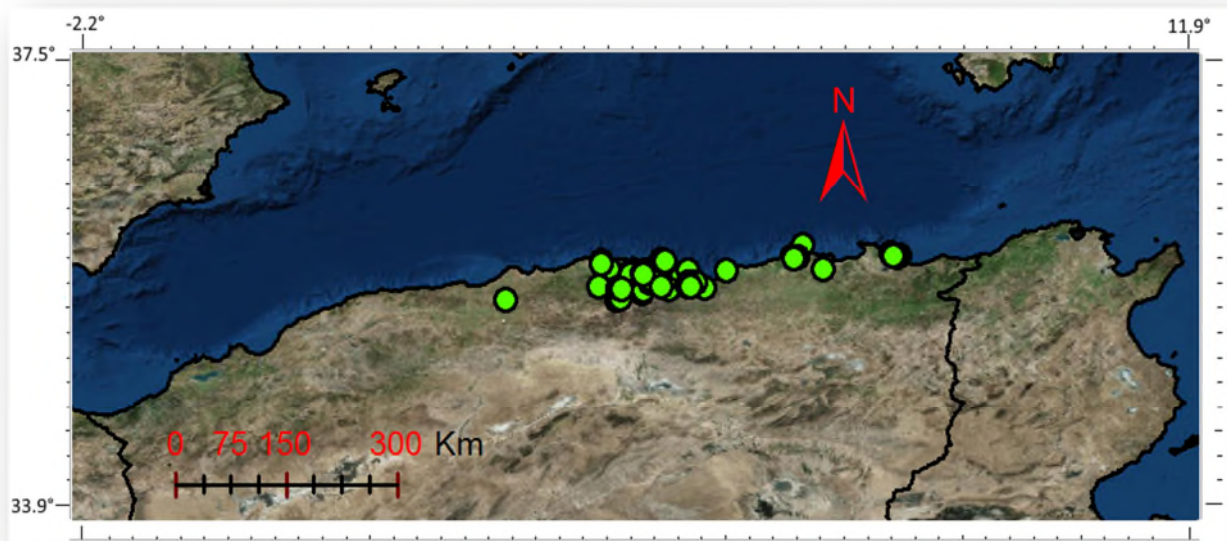


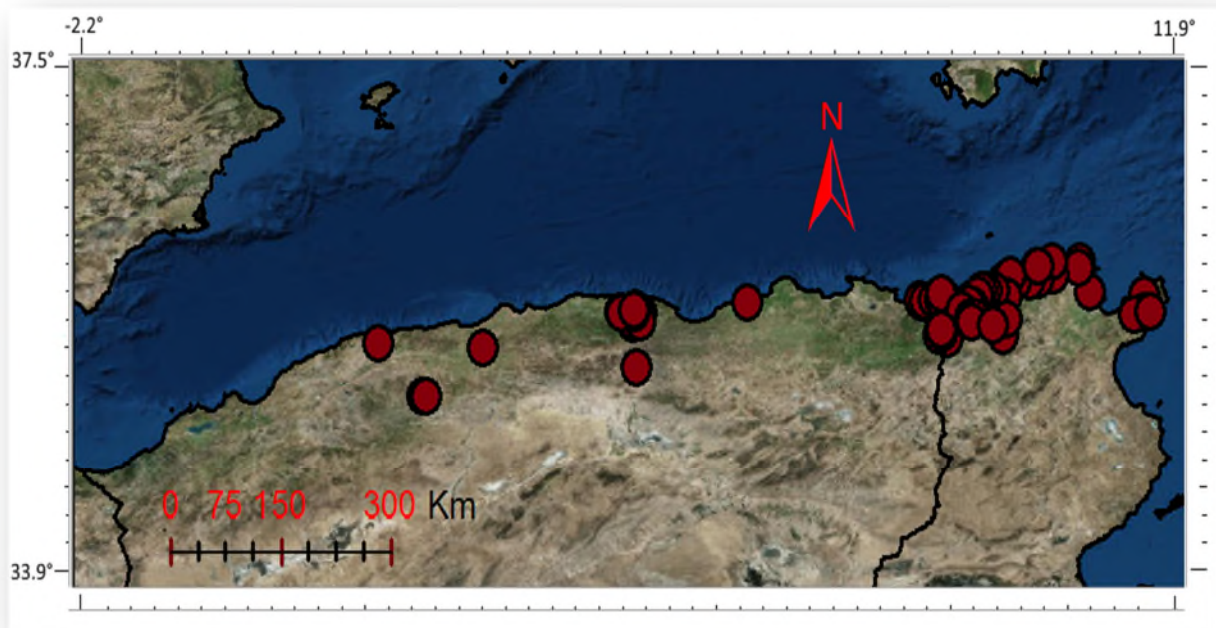
Figure.3.2: Situations de 21 stations projetées sur le diagramme d'Emberger

## 2. Origine des données d'occurrences :

Pour modéliser la niche écologique d'une espèce, il est nécessaire de disposer d'un jeu de données de calibration associant des données d'occurrence de l'espèce à des valeurs de paramètres environnementaux sur la zone d'étude. On est arrivé à construire une base de données contenant 76 points d'occurrences pour l'espèce *Pleurodeles nebulosus* (figure.2.4) et 51 points d'occurrences pour l'espèce *Salamandra algira* ont été utilisées pour la modélisation (figure.2.3). Les sites d'occurrence sont issus de plusieurs sources tirées en partie des travaux de Merabet et al., (2016), Samraoui et al., (2012), Ben Hassine et al., (2012). Une partie des sites d'occurrence est issue des travaux en cours de M. Dahmana, M. Merabet et M. Karar.



**Figure.2.3 :** Carte de localisations des sites d'occurrence de l'espèce *S. algira* utilisées



**Figure.2.4:** Carte de localisation des sites d'occurrences utilisés de *P. nebulosus*



### 3. Les données climatiques

On a utilisé 19 variables dites bioclimatiques du fait de leur importance pour les êtres vivants. Elles sont générées avec l’outil SIG (système d’information géographique) à partir de trois variables climatiques initiales (téléchargés de WorldClim Database: <http://www.worldclim.org/> sous format ascii). Les variables climatiques initiales sont : les moyennes de températures maximales mensuelles et les moyennes de températures minimales mensuelles, entre la période de 1950 - 2000 et téléchargées sous formes de fichiers contenant les synthèses relatives. Elles sont produites en utilisant les données de 87026 stations climatiques réparties dans le monde (Hijmans et al., 2005) voire les annexes.

Les 19 variables bioclimatiques (Tab.2.1) sont massivement utilisées dans plusieurs domaines de recherche notamment dans l’agriculture et les sciences biologiques comme la biogéographie et la macroécologie, par exemple les travaux de (Beukema et al., 2010; Bogaerts et al., 2013; Escoriza et Ben Hassine, 2014, 2015) qui se sont consacrés aux amphibiens en Afrique du nord.

**Tableau 3.1:** les 19 variables bioclimatiques utilisé (<http://worldclim.org/>)

ID	Variable
Bio01	Moyenne annuelle des températures (°C)
Bio02	Moyenne mensuelle de l’amplitude diurne de la température (moyenne (période max-min)) (°C)
Bio03	Isothermalité (Bio02 ÷ Bio07) *100
Bio04	Saisonnalité des températures (C de V)
Bio05	Températures maximales du mois le plus chaud (°C)
Bio06	Températures maximales du mois le plus froid (°C)
Bio07	Ecart annuel des températures (Bio05-Bio06) (°C)
Bio08	Moyenne des températures du trimestre le plus humide (°C)
Bio09	Moyenne des températures du trimestre le plus sec (°C)
Bio10	Moyenne des températures du trimestre le plus chaud (°C)
Bio11	Moyenne des températures du trimestre le plus froid (°C)
Bio12	Précipitations annuelles (mm)
Bio13	Précipitations du mois le plus humide (mm)
Bio14	Précipitations du mois le plus sec (mm)
Bio15	La saisonnalité des précipitations (C de V)
Bio16	Précipitations du trimestre le plus humide (mm)
Bio17	Précipitations du trimestre le plus sec (mm)
Bio18	Précipitations du trimestre le plus chaud (mm)
Bio19	Précipitations du trimestre le plus froid (mm)

### 4. Analyse et traitement des données utilisées

Lors d'une phase préliminaire, les données brutes sont traitées de manière à être significatives et valides, on a utilisé. Le logiciel arcGis 10.2 est utilisé pour analyser et traiter les données environnementales utilisées et de construire une base de données valable et prête à la modélisation. Ce logiciel (Système d'Information Géographiques) est un outil informatique qui permet d'intégrer, de localiser, d'analyser, et de représenter des données, ses principales fonctions sont :

- la saisie, le stockage et la gestion des données,
- le traitement, l'analyse, la sélection et affichage de données,
- la production de cartes, de rapports et autres synthèse d'informations.

#### 4.1. Explorer la corrélation entre les variables bioclimatique sous arcGIS:

Les variables bioclimatiques peuvent être corrélées entre elles (deux à deux) soient positivement ou négativement (la relation est proportionnelle), un rapport de causalité existé entre les variables (les valeurs d'une variables augmente, les valeurs d'une autres variable augmente au même temps au contrairement diminue) exemple de l'altitude et précipitation positivement corrélée et les températures et l'altitude sont négativement corrélée.

19 variables bioclimatiques ont été soumises à un test de de corrélation de Pearson ( $r > 0,70$ ) (figure.2.5) pour sélectionner les moins corrélées et garder les variables environnementales d'intérêt pour l'espèce qui fait l'objet du modèle compte tenu des biais que les corrélations ont sur les prédictions (Philips et al., 2006; Beukema et al., 2010).

Layer	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9
BIO1	1,00000	0,15457	-0,05987	0,27440	0,77864	0,76950	0,24259	0,68500	0,92193
BIO2		1,00000	0,66116	0,56918	0,65139	-0,40738	0,86098	0,33140	0,32873
BIO3			1,00000	-0,22594	0,09043	-0,17049	0,19085	0,08744	-0,15229
BIO4				1,00000	0,74700	-0,33429	0,90416	0,33232	0,60559
BIO5					1,00000	0,22086	0,79197	0,66712	0,91602
BIO6						1,00000	-0,42057	0,39325	0,50464
BIO7							1,00000	0,37440	0,53620
BIO8								1,00000	0,66256
BIO9									1,00000
BIO10									
BIO11									
BIO12									
BIO13									
BIO14									
BIO15									
BIO16									
BIO17									
BIO18									
BIO19									

BIO10	BIO11	BIO12	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19
0,93905	0,91127	-0,48604	-0,33960	-0,78850	0,37497	-0,33637	-0,85330	-0,76618	-0,32056
0,30955	-0,11223	-0,52714	-0,56657	0,19200	-0,58149	-0,57404	0,05934	-0,13488	-0,56277
0,15566	-0,00294	-0,12621	-0,15168	0,24404	-0,27178	-0,17598	0,17022	0,19004	-0,16063
0,58434	-0,13950	-0,54466	-0,56217	-0,03880	-0,43944	-0,54804	-0,12420	-0,38522	-0,54727
0,91411	0,47776	-0,66414	-0,59701	-0,42700	-0,14060	-0,58967	-0,53698	-0,64831	-0,57634
0,53889	0,94527	-0,01696	0,13711	-0,76608	0,71335	0,13817	-0,73437	-0,47336	0,14975
0,51298	-0,14732	-0,60718	-0,64120	0,08238	-0,57736	-0,63503	-0,03979	-0,30675	-0,62987
0,69990	0,56283	-0,61741	-0,51841	-0,48264	-0,13427	-0,52644	-0,55384	-0,55781	-0,54073
0,99048	0,69244	-0,60424	-0,49405	-0,65839	0,14277	-0,48509	-0,75378	-0,79090	-0,47084
1,00000	0,72158	-0,59280	-0,47422	-0,68924	0,16776	-0,46593	-0,76819	-0,78417	-0,45306
	1,00000	-0,25586		-0,80837	0,58185	-0,09893	-0,83135	-0,62776	-0,08333
		1,00000	0,97688	0,34796	0,42280	0,98052	0,51777	0,71495	0,97710
			1,00000	0,18892	0,55797	0,99710	0,36287	0,59852	0,99233
				1,00000	-0,56329	0,18315	0,93279	0,79592	0,16373
					1,00000	0,55802	-0,49175	-0,20306	0,56960
						1,00000	0,36124	0,59398	0,99640
							1,00000	0,89207	0,34445
								1,00000	0,58200
									1,00000

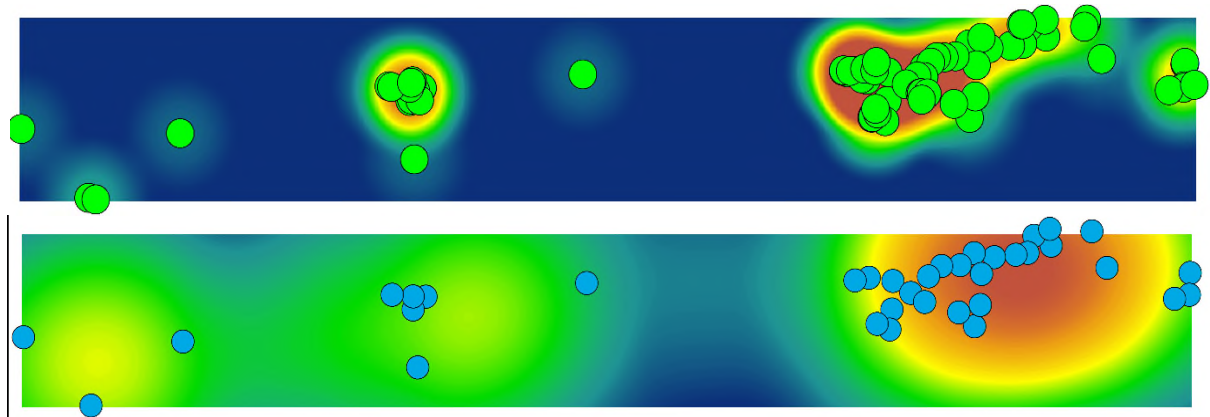
Figure.2.5: Matrice des corrélations des variables bioclimatiques retenues pour la modélisation

#### 4.2. Mise en conformité des rasters environnementaux

C'est une étape primordiale avant la modélisation qui consiste à transformer tous les rasters environnementaux pour qu'ils aient un étendue géographique similaire, la même résolution (taille du pixel), le même format de fichier à l'aide d'un logiciel de conversion DIVA GIS et le même système de projection. Pour avoir un résultat pareil, puis projeter les données sur le système de projection WORLD GEGRAPHIQUE WGS84.

### 4.3. Densité au noyau

Ce test est effectué grâce à la boîte à outils (SDM Toolbox V1.1, *Arcgis10.2*) qui fournit un puissant ensemble d'outils utilisés pour traiter, manipuler et effectuer diverses opérations, dans l'objectif de visualiser et d'avoir une idée sur l'autocorrélation spatiale et de la réduire. L'autocorrélation spatiale positive se traduit par une tendance à la concentration dans l'espace de valeur faible ou élevées d'une variable aléatoire. En revanche, l'autocorrélation spatiale négative signifie que chaque localisation tend à être entourée par des localisations voisines pour les quelle la variable prends des valeurs différentes et leur absence indique que la répartition spatiale des valeurs de la variable est aléatoire. Ceci, afin de limiter le sur échantillonnage (biais d'échantillonnages), souvent un biais pouvant influencer la qualité du modèle prédictif (Philips et al., 2006), on élimine tous les points d'observation d' une distance inférieure à 10 km (réduire la résolution initiale de 1 km à 10 km) cette distance correspond à la résolution appropriée pour réduire l'autocorrélation spatiale et garder un nombre de points suffisant pour calibrer et tester le modèle(Figure.2.6), un nouveau jeu de données a été générer par le logiciel arcGis 10.2 sous la forme des fichiers format *ascii* qu'ils sont prêt a utilisé pour la modélisation.



**Figure.2.6:** Avant et après la réduction de l'autocorrélation spatiale pour (*P. nebulosus*)

- les couleurs plus intenses correspondent à une autocorrélation plus élevée (couleur chaude)
- les couleurs les moins intenses correspondent à une faible autocorrélation

Les mêmes procédures ont été suivies pour la réduction de l'autocorrélation spatiale et de la résolution des rasters pour l'espèce *Salamandra algira*.

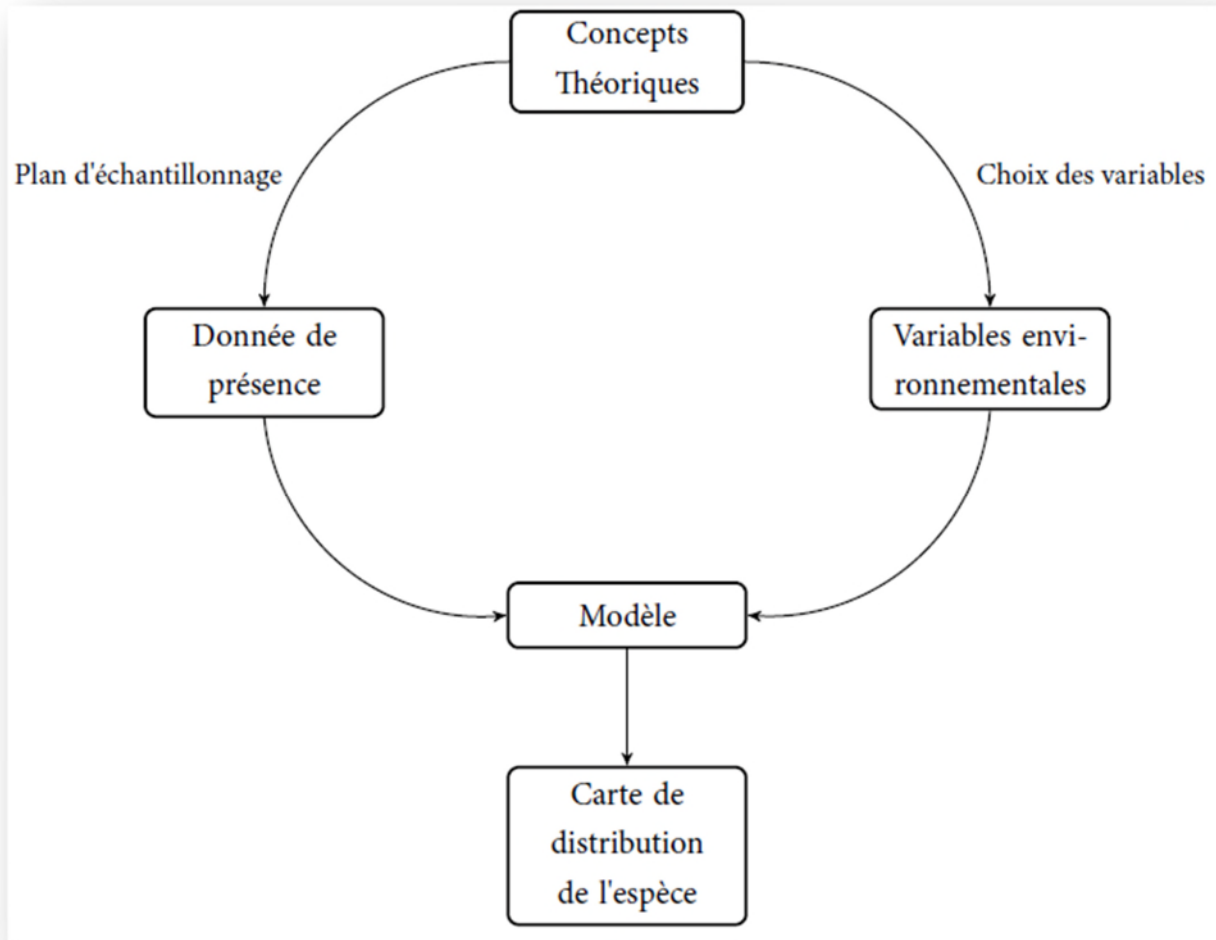
### 5. Modélisation de la niche écologique

#### 5.1. L'approche de la maximum entropie (Maxent) :

L'approche du maximum d'entropie est une méthode de prédiction spatiale de l'occurrence d'une espèce animale ou végétale qui repose sur le concept de niche écologique et sur l'utilisation de données de présence (Phillips et al., 2006) (figure.2.7). Un des principaux avantages de cette méthode est qu'elle permet de calibrer des modèles sans données d'absence d'une espèce, qui sont souvent difficiles à obtenir dans la mesure où la non-observation d'une espèce à une localité donnée peut être due à un défaut d'observation (espèce rare, nocturne, etc.), (Guisan et al., 2005; Pearce et Boyce, 2006). De nombreuses études comparatives montrent que la méthode Maxent est une des plus performantes à ce jour pour la modélisation spatialisée de l'occurrence d'espèces à partir de données de présence (Elith et al., 2006; Hernandez et al., 2006, 2008; Wang et al., 2007).

Cette approche consiste à réaliser une approximation de la niche écologique utilisée par l'espèce en fonction des variables environnementales choisies (Baldwin, 2009). Un algorithme permet d'estimer la distribution la plus probable de l'espèce en se basant sur le principe que la meilleure estimation d'une distribution inconnue est celle qui est la moins contraignante (avec le maximum d'entropie) pour l'espèce. Les « contraintes » sont définies en comparant la distribution des valeurs des variables environnementales aux points d'observation avec leur distribution pour des points pris au hasard sur la zone d'étude (absence ou présence de l'espèce possible) (Suárez-Seoane et al., 2008; Baldwin, 2009). Plus les valeurs des variables environnementales en un point donné dans la zone d'étude sont proches des conditions aux points d'observation par rapport aux conditions au niveau des points aléatoires, plus la probabilité d'occurrence prédite pour l'espèce est élevée (Phillips et al., 2006).

Une application en libre accès a été développée pour faciliter l'utilisation de la méthode (Phillips et al., 2005). Elle comprend une interface relativement accessible qui permet d'intégrer différents types de variables environnementales. La mise en œuvre de la méthode aboutit à plusieurs résultats comprenant des statistiques et des informations qui permettent de juger de la pertinence des prédictions, ainsi qu'une représentation spatialisée des prédictions qui peut être exportée dans le logiciel ArcGIS 10.2 pour être analysée.



**Figure.2.7:** Schéma récapitulatifs de principe des modèles de distribution d'espèce

## 5.2. Maxent

Maxent version 3.3 2K (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>) est un algorithme d'apprentissage qui cherche à définir une probabilité d'occurrences pour l'espèce étudiée en chaque pixel de la zone d'étude en portant la solution la plus optimale expliquant un phénomène inconnu est celle qui maximise l'entropie c'est-à-dire celle qui fournit la distribution des probabilités de présence la plus parcimonieuse (Peterson et al., 2008) (figure.2.8). Nous avons utilisé Maxent pour construire les modèles de niche écologique basés sur la méthode du maximum d'entropie. Ils sont réalisés en utilisant des « features » (caractères) automatiquement calculés à partir des variables environnementales qui permettent de paramétrer l'algorithme utilisé pour contraindre les probabilités de distribution. Ils sont sélectionnés en fonction du nombre de données de présence disponibles. Le modèle se complexifie en sélectionnant de plus en plus de caractères à condition d'avoir une base d'occurrence conséquente.

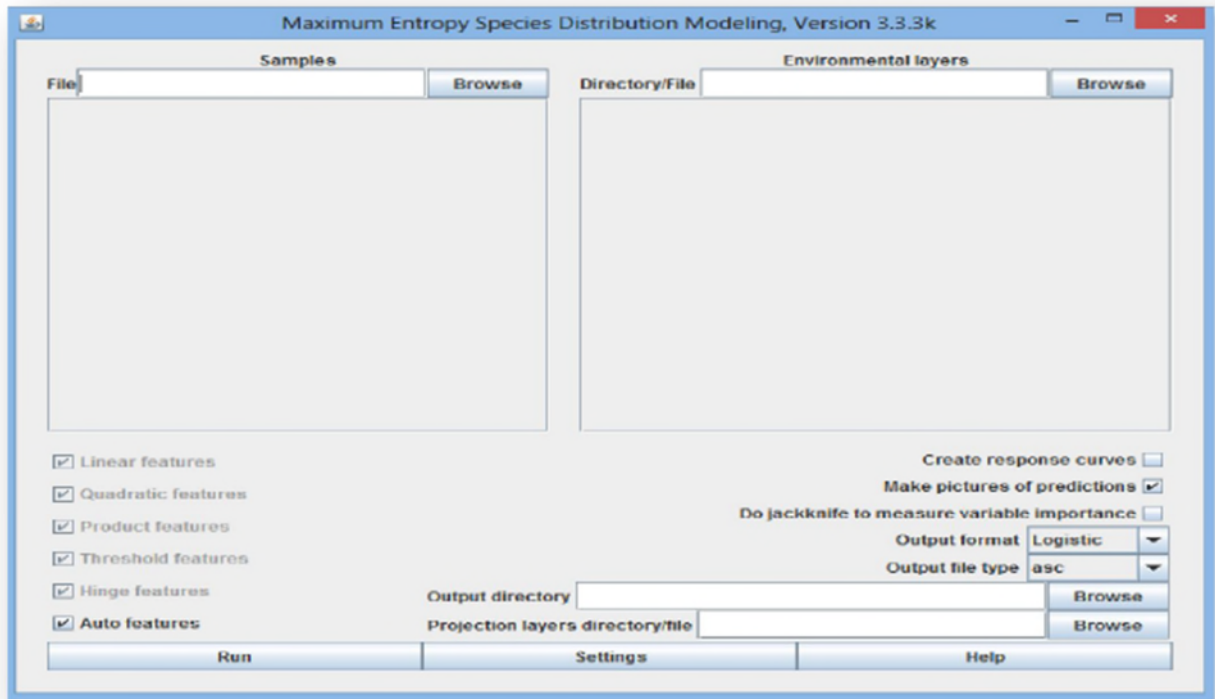


Figure2.8: Interface principale de Maxent

## 6. Modélisation de la distribution potentielle des deux espèces

Deux matrices d'entrée ont été construites, la première contenait 51 sites d'occurrence géoréférencés de l'espèce *Salamandra algira* et l'autre contenait 76 sites d'occurrences pour l'espèce *Pleurodeles nebulosus* issus de la littérature (Merabete et al., 20016; Ben Hassen et al., 2012; ferrer et al., 2016; Samraoui et al., 2012) indiqué dans les (figure.2.3), (figure.2.4).

Les sites d'occurrences ont été couplés à un jeu de données bioclimatiques: BIO13, BIO15, BIO2, BIO3, BIO8 obtenue après le test de corrélation (réalisé à l'aide de logiciel arcGIS 10.2). Les deux matrices ont été utilisées séparément par Maxent pour générer des cartes de distribution potentielle pour les deux espèces en considérant les caractères linéaire, quadratique et dépendant du logiciel Maxent (Philips et al., 2006), en générant 100 répliquats (modèles) avec la méthode « sous-échantillonnage » fixant le nombre d'interactions pour chaque modèle à maximum de 2000. Le programme de calcul a partitionné la base d'occurrence en base d'apprentissage (75% de la base totale) et de test (25% de la base totale), technique qui a prouvé une grande capacité de prédiction (Beukema et al., 2010; Philips et Dudík, 2008), laissant les autres paramètres au réglage par défaut. L'aire modélisée s'étend sur la Tunisie et

l'Algérie entre les latitudes « 33.9°N à 37.9°N », et longitudes « 2.2°W à 11.9°E ». Les données générées par Maxent sont injectées dans le logiciel arcGis 10.2 afin de les visualiser et les analyser.

### 7. Evaluation du modèle

Plusieurs analyses sont produites au cours du calcul du modèle afin d'évaluer sa pertinence. Parmi eux, les plus significatifs sont l'AUC et le jackknife.

#### 7.1. L'AUC

La robustesse du modèle est testée par la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic), l'AUC (Area Under Curve) correspond à l'aire en dessous de la courbe exprimant le rapport entre la sensibilité et la spécificité du modèle (ROC). Plus cette aire, comprise entre 0 et 1, La valeur d'AUC pour un modèle aléatoire est de 0,5 (figure.2.9), la sensibilité correspond au nombre de pixels « présents » dans la réalité qui sont aussi prédits comme « présents » par le modèle. La spécificité est le nombre de pixels « absents » dans la réalité et prédits par le modèle. Des valeurs d'AUC comprises entre 0,5 et 0,7 correspondent à des modèles mauvais à médiocre, entre 0,7 et 0,8 à des modèles corrects, et respectivement entre 0,8 et 0,9 puis 0,9 et 1 à de bons puis très bons modèles (Phillips et al., 2004; Phillips et al., 2006; Phillips et Dudi'k, 2008).



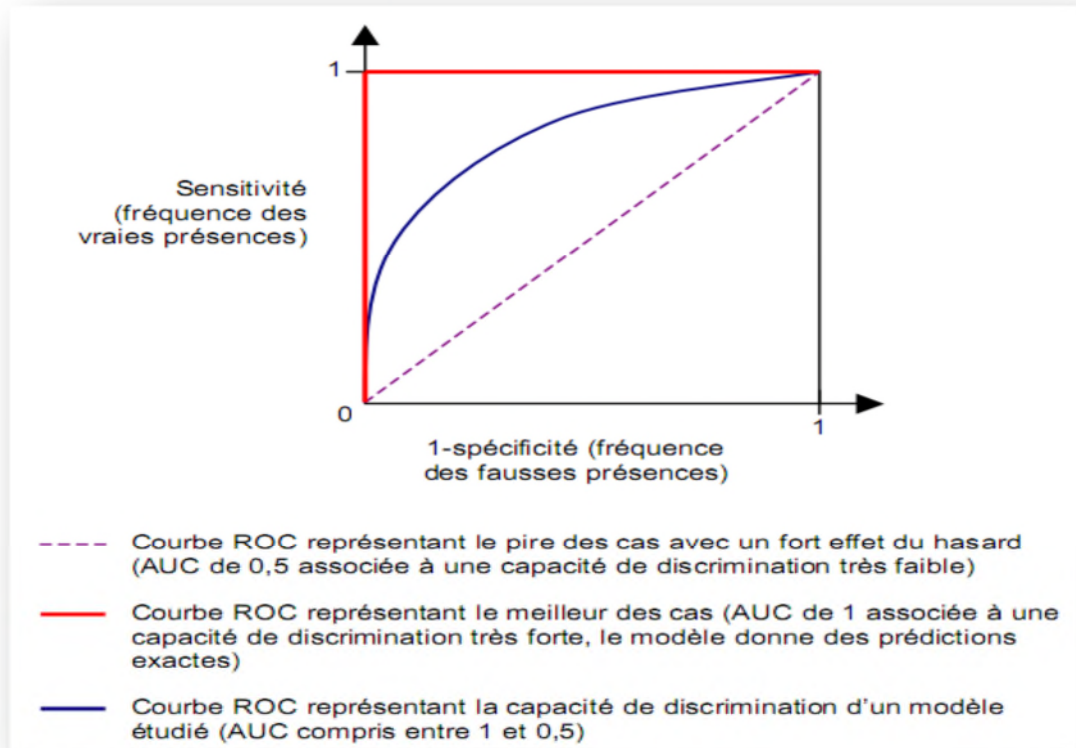


Figure.2.9: Interprétation de la courbe ROC (Decoute, 2007)

## 7.2. Jackknife

Le jackknife consiste en une évaluation, pour chaque variable, de son rapport au modèle. Ainsi, en plus du modèle général établi en tenant compte de tous les critères, ainsi que pour le modèle qui l'exclut. Cet outil permet donc d'obtenir une vision claire de l'apport de chaque variable au modèle (figure.2.10).

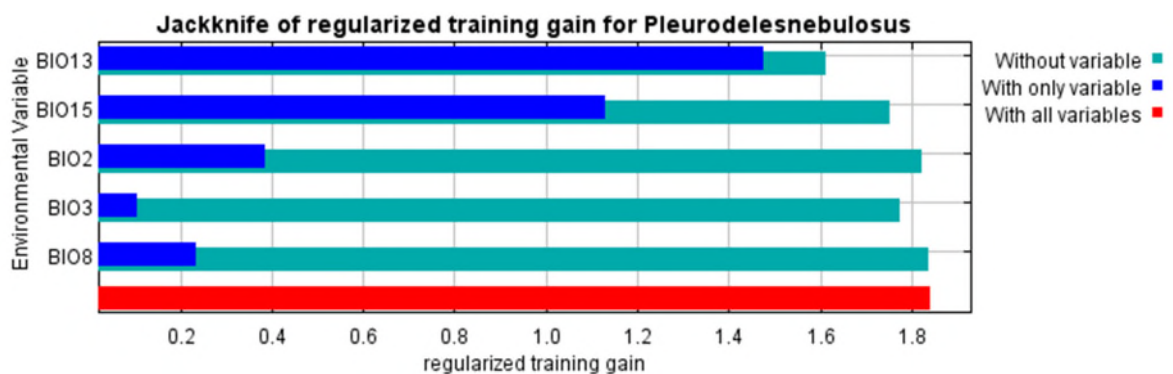


Figure.2.10: Résultat du test jackknife sur la contribution des variables

### 7.3. Analyse des niches bioclimatiques de *S.algira* et *P.nebulosus* avec Niche Analyst

NicheA est un outil créer pour étudier des espèces virtuelles et les niches écologiques en se servant de donnés multivariées à travers des hyper volumes ellipsoïdes dans un espace multidimensionnel suivant la méthode d'Hutchinson. En fait, des techniques robustes d'analyse, de traitement et de visualisation de niches environnementales sont de plus en plus sollicitées dans la branche émergente de l'écologie de dispersion, et ce pour évaluer les modèles de niches écologiques, comprendre les distributions des espèces et formuler de nouvelles questions à propos de la biogéographie (Qiao et al., 2016)

NicheA 3.0 (Figure.2.11) a été utilisé durant cette étude pour analyser les distributions réelles (observées) de *S.algira* et *P.nebulosus*, et les confronter ainsi aux résultat de la modélisation de distribution potentielle générés par MaxEent (Qiao et al., 2016).

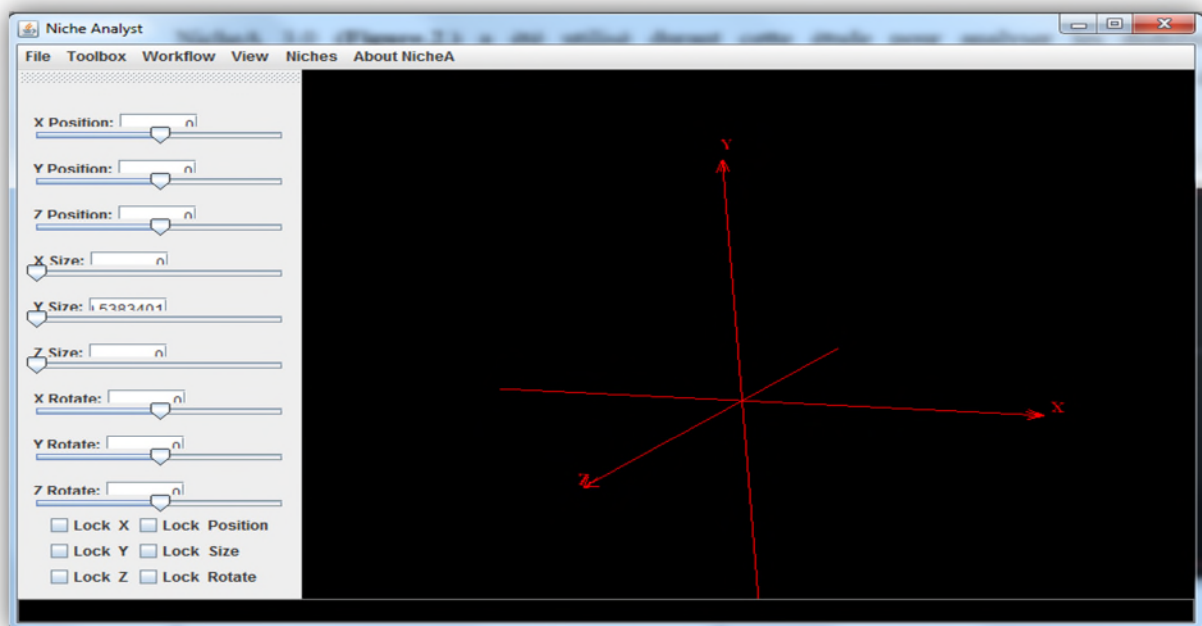


Figure.2.11: Interface de NicheA 3.0

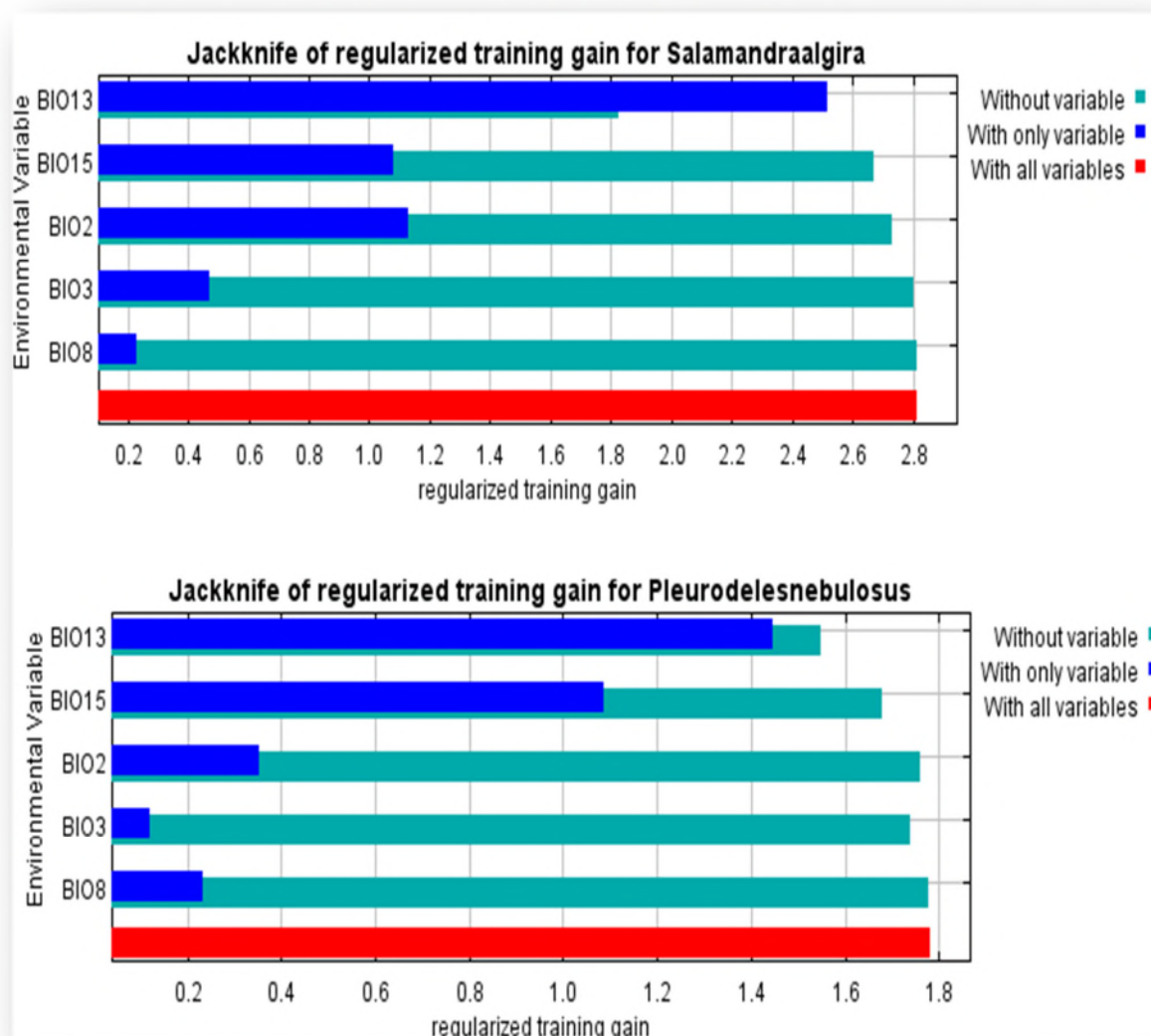
# Chapitre 3

## Résultats et Discussions

## 1. Validation du modèle

### 1.1. Sélection des variables climatique

19 variables bioclimatiques ont été testées par l'analyse des corrélations et le test de jackknife, cinq variables climatiques ont été retenus et qui se sont révélées les moins corrélées (Pearson  $r < 0,70$ ), ont été retenues pour la modélisation des deux espèces d'urodèles. La (figure.3.1), indiquant les variables climatiques qui ont contribué à la construction des modèles pour les deux espèces étudiée.



**Figure.3.1:** Résultats de l'analyse du Jackknife permettant de connaître les variables bioclimatiques ayant contribué le plus au modèle pour *P. nebulosus* et *S. atra*.

Il en ressort clairement que BI013 est la variable qui a contribué le plus pour expliquer la répartition des deux Urodèles. *Regularized training gain* indique la capacité de MaxEnt à décrire les sites d'occurrence en comparaison à une distribution uniforme.

## 1.2. Robustesse des modèles

Les résultats de modélisation des distributions potentielles générés par MaxEnt pour les deux espèces étudiées ont atteint des valeurs de l'AUC de 0,95 et de 0.98 pour *Pleurodeles nebulosus* (moyenne des 100 modèles générés) et *Salamandra algira* respectivement, ces valeurs indiquent que les modèles sont robustes (très bons) (Phillips et al., 2004; Phillips et al., 2006; Phillips et Dudi'k, 2008), voir (Figure.3.2).

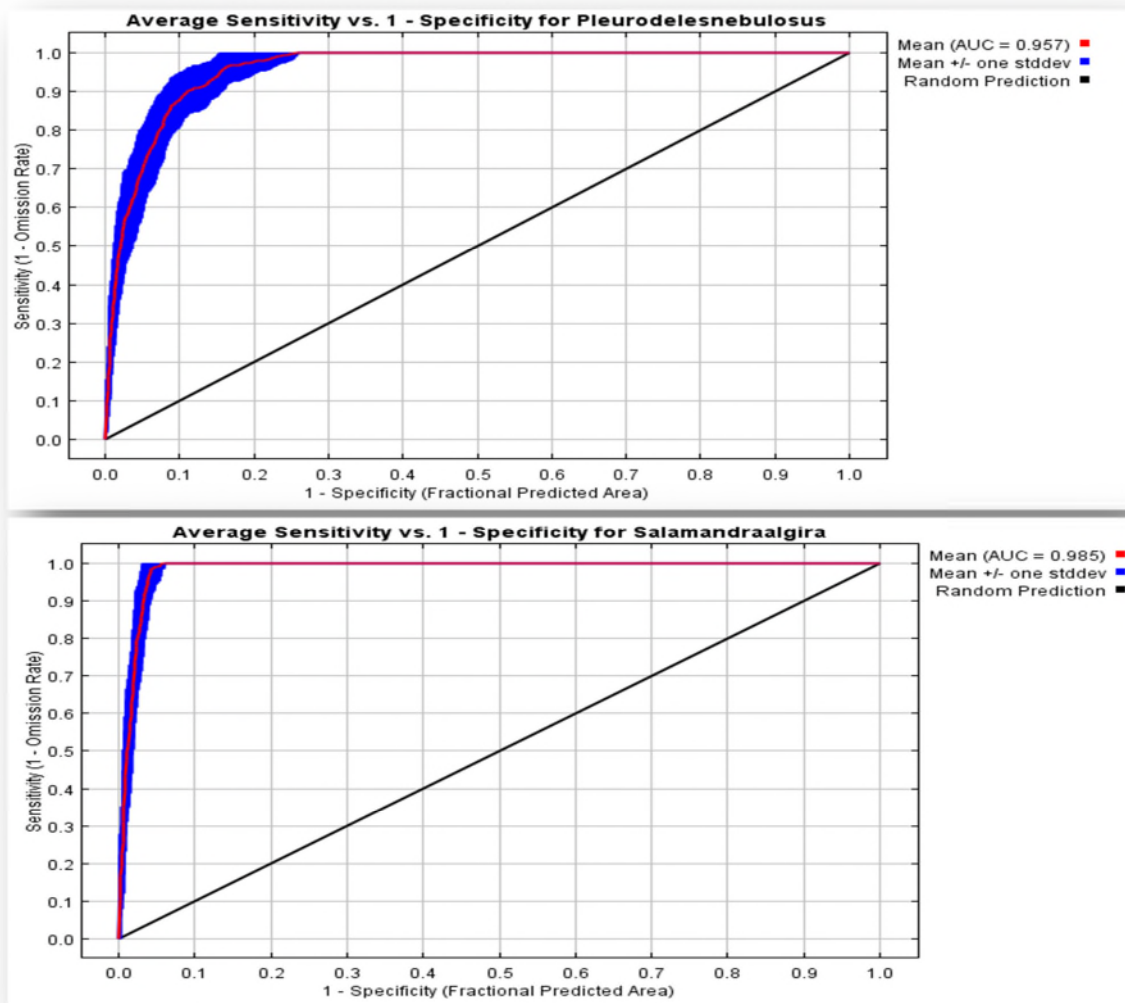


Figure.3.2: Valeur de l'AUC pour *P.nebulosus* et *S.algira*

## 2. Contribution des variables environnementales aux modèles

### a) Pour *S. algira*

La variable qui a le plus contribué à l'édification du modèle est BIO 13 (précipitations du mois le plus humide) avec 91.5%, suivi des variables BIO 02(moyenne mensuelle de l'amplitude diurne de la température) avec 3,9% et BIO 15(la saisonnalité des précipitations) avec 2,4%. L'importance et la contribution de ces variables ont été appréciées à partir du test jackknife. (Tableau.3.1)

**Tableau 3.1:** Contribution et importance des variables retenues pour le modèle *S. algira*

Variable	Contribution	Importance de permutation
BIO13	<b>91.5</b>	<b>90.5</b>
BIO2	3.9	4.2
BIO15	2.4	4.9
BIO3	2.1	0.4
BIO8	0.1	0

### b) Pour *P. nebulosus*

Les variables qui ont contribué à la construction du modèle sont BIO 13 ((précipitations du mois le plus humide) avec 73.7% et BIO 15(la saisonnalité des précipitations) avec un pourcentage de 14.9%, suivi des variables BIO 3, BIO2 et BIO8. (Tableau.3.2)

**Tableau.3.2:** Contribution et importance des variables retenues pour le modèle *P. nebulosus*

Variable	Contribution	Importance de permutation
BIO13	<b>73.7</b>	<b>77.1</b>
BIO15	<b>14.9</b>	<b>16.2</b>
BIO3	9.2	5
BIO2	1.9	1.1
BIO8	0.2	0.5

Les résultats révèlent que ce sont seulement cinq (5) variables climatiques qui président les distributions des deux espèces étudiées (Figure.3.1), parmi les variables bioclimatiques sélectionnés, les précipitations du mois le plus humide (BIO13) a montré un pouvoir prédictif très élevé avec (91.5%) pour l'espèce *Salamandra algira* et (73.7%) pour *pleurodèles nebulosus*. L'humidité et la pluviométrie constituent des facteurs écologique liés et d'importance fondamentale pour les urodèles et préside leurs réparation. Les deux espèces

sont marquées par leurs présences dans des zones humides caractérisées par une forte pluviométrie (milieux très bien arrosés), ce qui a été mentionné par plusieurs auteurs (Beukema et al., 2015; Escoriza et Ben hassine, 2015; Ben hassine et al., 2016). La moyenne mensuelle de l'amplitude diurne de température (BIO2) s'est révélée être la deuxième variable à contribuer à la construction du modèle pour *Salamandra algira* avec (3.9%) et la saisonnalité de précipitations (BIO15) avec (14.9%) pour l'espèce *pleurodeles nebulosus* (Tableau.3.1), (Tableau.3.2), quoique ces valeurs sont faibles. Il est à signaler que ces résultats méritent d'être interprétés avec attention en considérant les caractéristiques écologiques des deux espèces. Les autres variables ont été peu significatives lors de la génération des modèles.

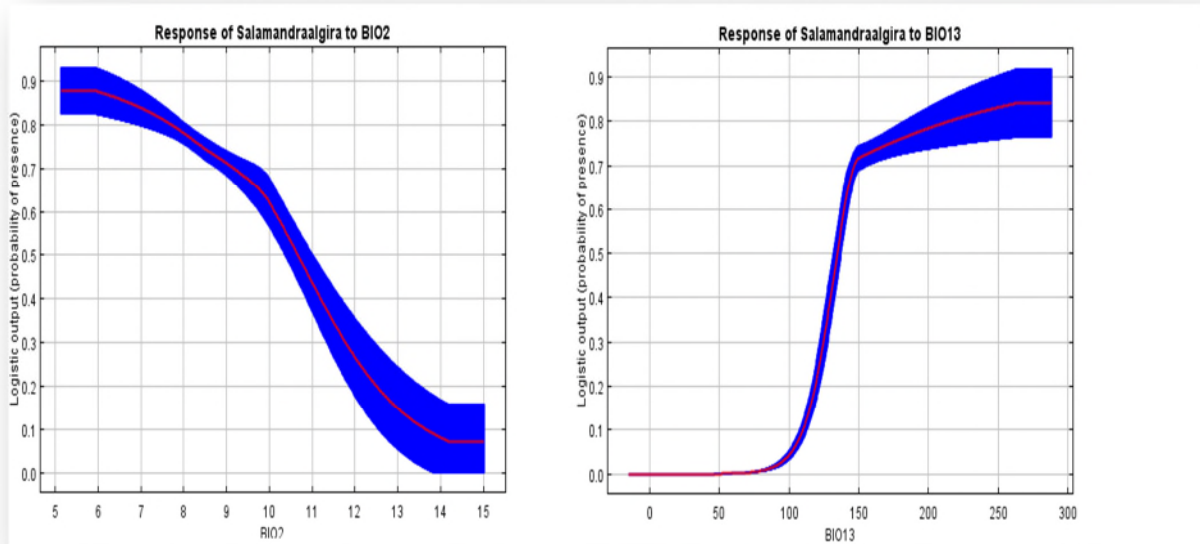
### 3. Courbe de réponse

Les courbes de réponse servent à comprendre la relation entre la probabilité de présence prédite et les variables bioclimatiques retenues pour la modélisation des deux espèces étudiées. Ceci car les courbes de réponse des espèces aux différentes variables environnementales permettent de tirer des conclusions sur les facteurs propices à son développement ou au contraire qui limitent sa distribution en termes de probabilité d'occurrence sur un gradient écologique.

#### 3.1. Cas de *Salamandra algira*

On remarque dans la (Figure.3.3) que la nature de corrélation entre les valeurs de la variable BIO13 et celle de probabilité d'occurrence est positive et qu'à partir de de 100 mm de précipitations, les probabilités d'occurrence augmentent instantanément et continuellement jusqu'à ce qu'elle arrive à la valeur de 0.85, ce que signifie (270mm) de précipitations ou les valeurs se stabilisent. A partir de cela on confirme la masse de cette variable bioclimatique dans l'édification du modèle prédictif.

Les valeurs de la moyenne mensuelle de l'amplitude diurne de la température (°C) sont corrélées négativement par rapport à la probabilité d'occurrence de l'espèce. Effectivement, les valeurs de probabilité d'occurrence diminuent (brusquement) à partir de la valeur de 6°C (Figure.3.3), on conclut que cette espèce préfère les régions à amplitude thermique diurne faible, et elle favorise les milieux caractérisés par un fort taux d'humidité et surtout de précipitations et ne peut pas persister dans les zones à une forte amplitude thermique.



**Figure.3.3** : courbe de réponse *Salamandra algira* a BIO2 et BIO13

### 3.2. Cas de *Pleurodeles nebulosus*

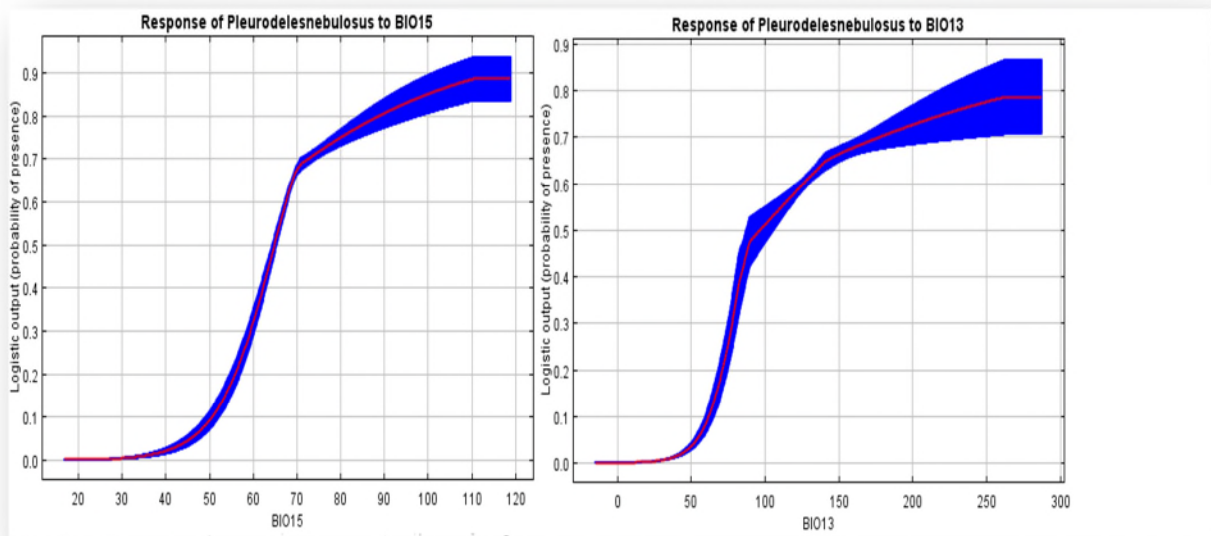
Les valeurs des variables bioclimatiques (BIO13 et BIO15) sont corrélées positivement avec les valeurs de probabilité d'occurrence, telle que les probabilités d'occurrence augmentent exponentiellement à partir de 50mm jusqu'à ce qu'elles atteignent une valeur de 8.8 correspondant à des précipitations de l'ordre de 270 mm ou les valeurs se stabilisent (figure3.4) (BIO13).

Concernant les probabilités d'occurrence par apport aux valeurs de la saisonnalité des précipitations(BIO13) qui est représentée par un coefficient de variation des précipitations, elles augmentent d'une manière continue à partir de 40 mm, on notant une augmentation exponentielle jusqu'à atteindre une valeur de probabilités d'occurrence maximale de 0.88 à partir de 110mm. A partir de là elles se stabilisent et plus les valeurs de coefficient de variation (Qv) sont grandes, les probabilités d'occurrence augmentent (Figure.3.4).

On remarque que les probabilités d'occurrence chez l'espèce *Pleurodeles nebulosus* augmentent à partir d'une faible quantité de précipitations (50mm) contrairement à l'espèce *Salamandra algira* qui nécessite un fort taux de précipitation et c'est à partir (100mm) que les probabilités d'occurrence commencent à augmenter. Ici, en conclut que l'espèce



*Pleurodeles nebulosus* peut résister et persister dans des milieux à faible précipitation contrairement à l'espèce *Salamandra algira* qui favorise les zones à fort taux d'humidité et surtout de précipitations, ce qui conduit à la formation de mares et de source, qui représentent les lieux de ponte et de développement des larves de cette espèce. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par d'autres études sur le cantonnement de cette espèce aux milieux bien arrosés (Beukema et al 2010; Escoriza et Ben Hassine, 2014a; Escoriza et Ben Hassine, 2015; Ben Hassine et al., 2016).



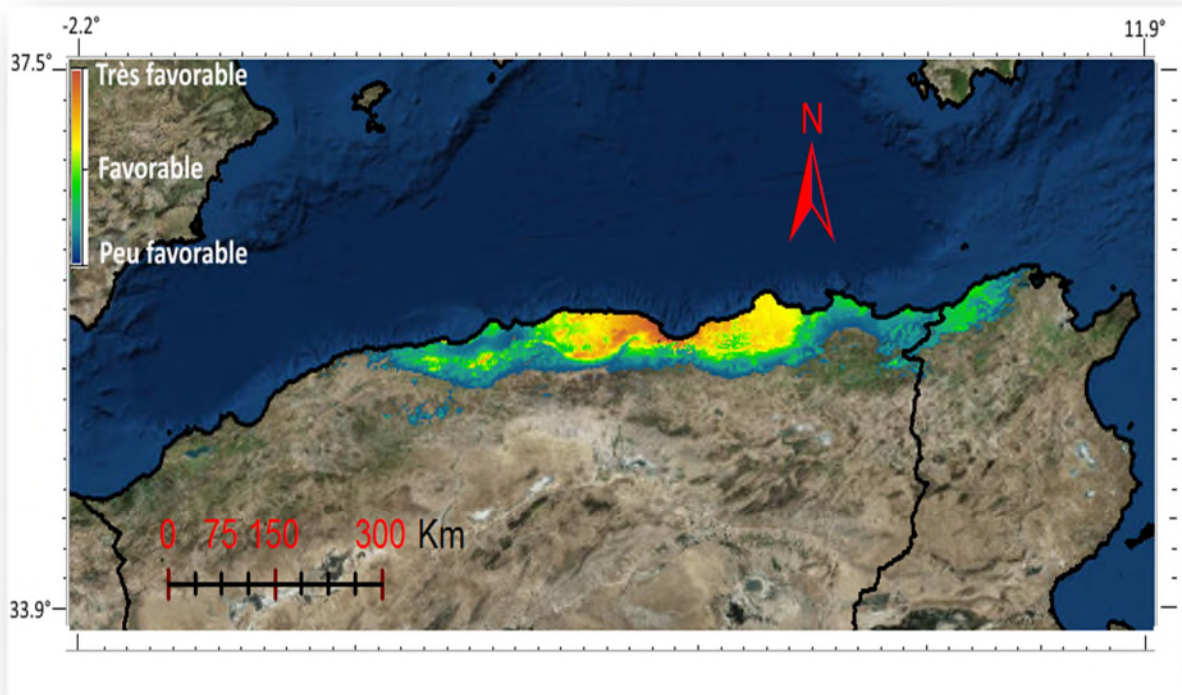
**Figure.3.4.** Courbes de réponse *pleurodeles nebulosus* à BIO15 et BIO13

#### 4. Analyse de la distribution potentielle prédite :

Une fois qu'une présélection de bons modèles a été réalisée pour les deux espèces, les résultats sont exportés dans le logiciel SIG (ArcGis 10.2) afin d'être représentées de façon spatialisée. Deux cartes de distributions potentielles (cartes de répartition) finales pour les deux Urodèles ont été générées, telle que les probabilités produites par MaxEnt varient de 0 à 1. Afin de simplifier leur interprétation, nous avons procédé à leur seuillage, et produire des cartes de distribution potentielle à trois niveaux (Très favorable, favorable et peu favorable).

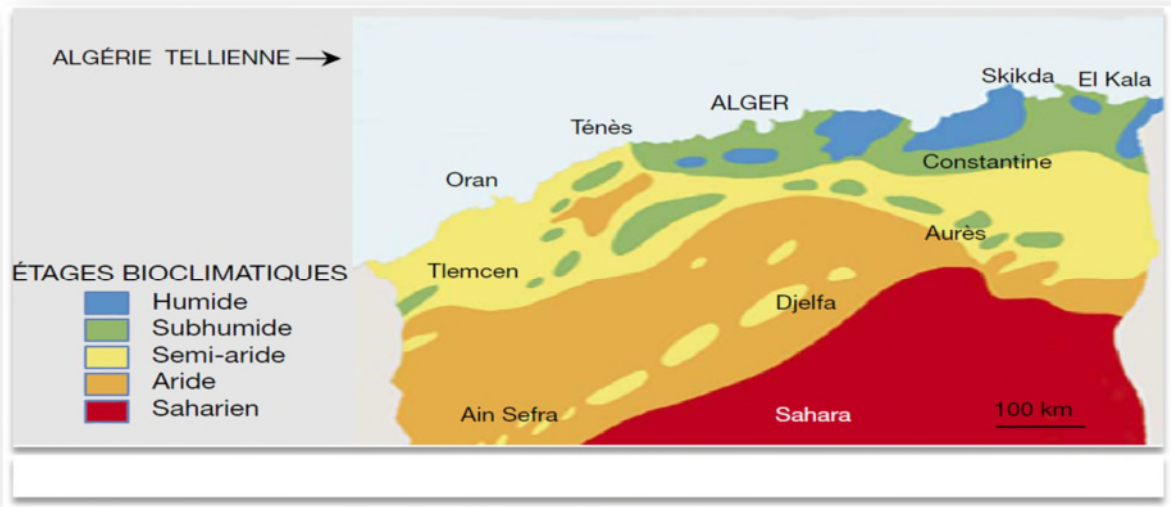
#### 4.1. La distribution potentielle prédite pour l'espèce *Salamandra algira*

La figure.3.5, montre que la distribution potentielle prédite pour l'espèce *Salamandra algira* s'étend du nord-est de l'Algérie jusqu'aux régions de Tabarka et Béja dans l'extrême ouest tunisien. Nous remarquons également que la distribution potentiellement très favorable prédite se concentre à la région nord est de l'Algérie comprend les régions de Boumerdés, Tizi ousou, Béjaia, Bouira, Jijel et Skikda, et qu'à chaque fois qu'on se rapproche vers le sud de la zone d'étude les zones favorables régressent.



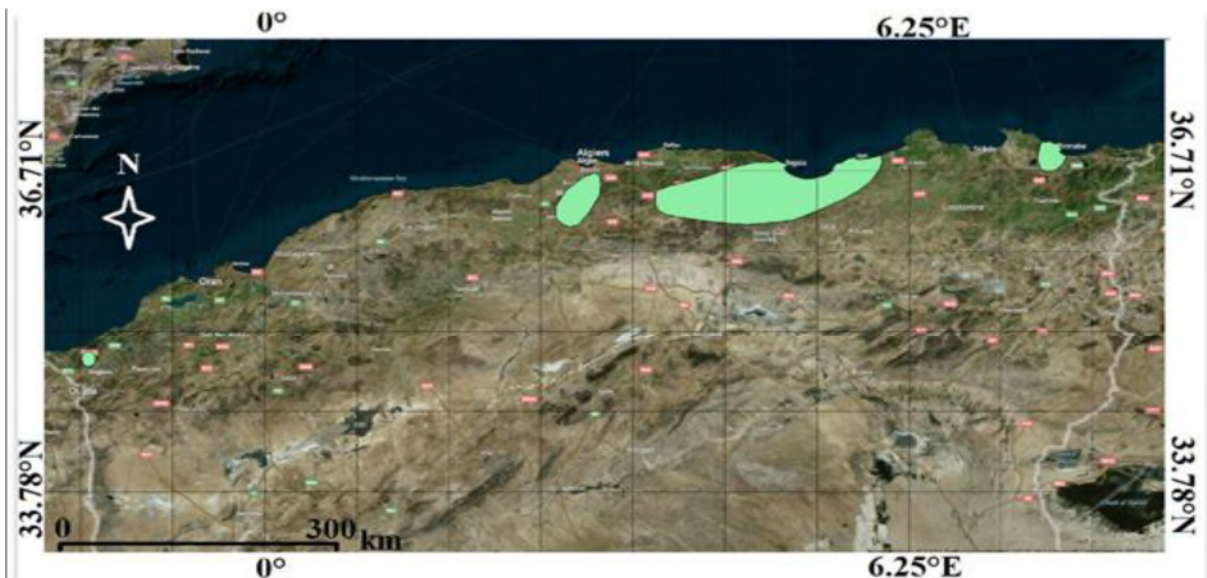
**Figure.3.5:** Carte de distribution potentielle prédite de *Salamandra algira*

Sur la carte des étages bioclimatiques d'Algérie (Stewart, 1974) (Figure.3.6), on remarque que la distribution de cette espèce suit les étages bioclimatiques humides et subhumides c'est-à-dire que la distribution de la *Salamandra algira* suit les régions les plus arrosées, étant donné que la variable BIO13 est celle qui conditionne le plus la distribution de cette espèce et qui détermine les régions les plus arrosées, il semble clairement que les zones prédites comme très favorable pour l'espèce sont incluse ou se limite principalement à l'étage bioclimatique humide. Nous concluons que cette espèce préfère les régions très arrosées et cela peut être expliqué par le fait de son mode de reproduction ovovivipare qui lui oblige de fréquenter les milieux à fort taux d'humidité et surtout de précipitations.



**Figure.3.6:** Contexte bioclimatique de l'Algérie tellienne selon Stewart (1974)

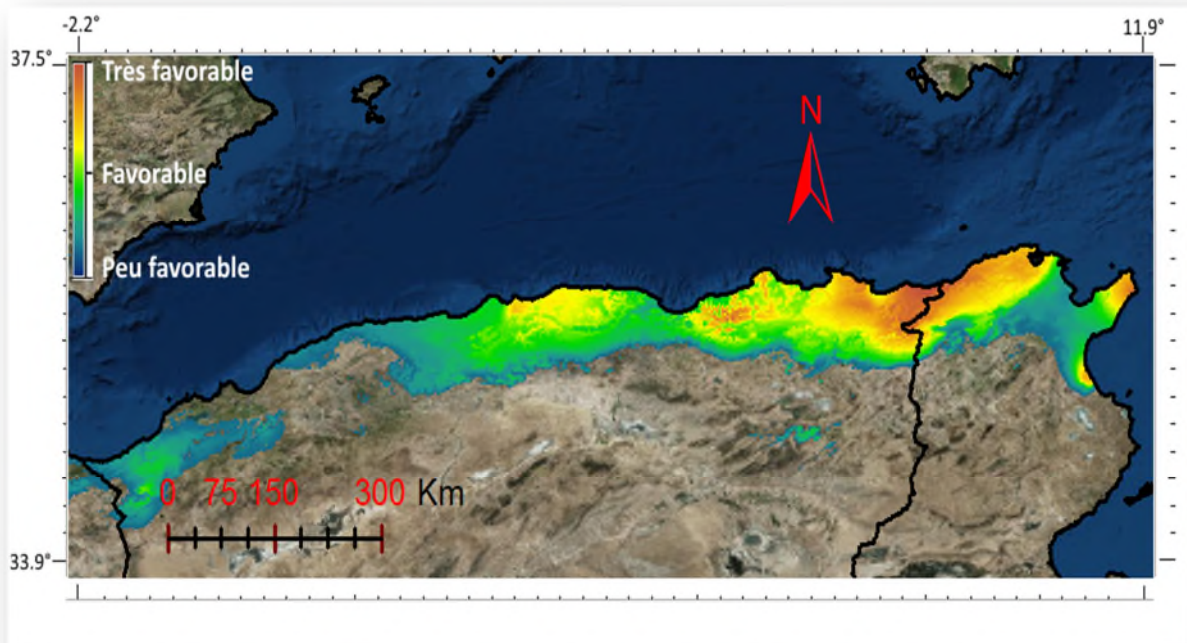
Afin de confirmer la robustesse de notre modèle prédictif, nos résultats de prédiction de distribution pour l'espèce *Salamandra algira* ont été comparés à ceux de l'IUCN (2012), représentée sur la (figure.3.7), ce que nous a permis de remarquer que toutes les zones de distribution révélées sur la figure.3.5 comme présence de l'espèce sont incluses dans l'aire prédite par le modèle. Ce résultat afferme donc la robustesse du modèle.



**Figure.3.7 :** Distribution des populations de *Salamandra algira* en Algérie, données IUCN 2012.

#### 4.2. La distribution potentielle de *Pleurodeles nebulosus*

La Figure.3.8, représente la distribution potentielle de *Pleurodeles nebulosus*. Elle s'étend du nord-est de l'Algérie et marque leur début à partir des régions de Tissemsilt et de Ain-Defla jusqu'à l'extrême ouest de la Tunisie. Nous remarquons que la zone de distribution potentielle très favorable prédite pour l'espèce *pleurodeles nebulosus*, inclut deux régions différentes, la première s'étend de l'extrême nord est algérien (Jijel, Skikda, Annaba) jusqu' au nord-ouest tunisien qui correspond à la zone frontière littorale entre les deux pays qui comprend, la wilaya de Annaba, El-Taraf en Algérie et Béja et Mateur en Tunisie et la deuxième correspond à l'extrême ouest de la Tunisie. Les zones favorables pour l'espèce est celle touchant aux wilayas de Tizi ousou, Boumerdés, Blida, Bouira et Constantine, une zone prédite comme étant favorable qui se trouve à l'extrême ouest de l'Algérie qui est isolé au niveau de la wilaya de Tlemecen et une autre zone moyennement favorable au niveau de la wilaya de Batna. De nombreux travaux antérieurs (Boulanger, 1891; Carranza et Arnold, 2004; Samraoui et al., 2012; Escoriza et Ben Hassine, 2015) ont signalé que le *pleurodeles nebulosus* possède une distribution discontinue des populations isolées réparties sur la région nord algérienne allant de l'extrême ouest de la Tunisie. En Allant vers le sud de la zone d'étude, on retrouve les zones les moins favorables prédites.



**Figure.3.8:** Carte de distribution potentielle prédite pour l'espèce *P. nebulosus*

La superposition de la carte de distribution potentielle prédite pour *P. nebulosus* avec la carte et celle des étages bioclimatiques (Figure.3.6), montre que la distribution potentielle de *Pleurodeles nebulosus* renferme les trois étages bioclimatiques (humide, subhumide, semi-aride). Les récents travaux de Ben Hassine (2012) sur la distribution de cette espèce en Tunisie indique que ce triton est cantonné aux étages bioclimatiques humides et subhumides, et rarement au semi aride, où il occupe des microclimats humides et que la distribution potentielle prédite pour les deux espèces d'Urodèles s'étale sur le nord de la zone qui est caractérisé par un coefficient de variation de précipitation très élevé. Cela confirme la validité de nos résultats générés par Maxent (Figure.3.4).

### 5. Analyse de chevauchement des distributions et des niches bioclimatiques

#### 5.1. Chevauchement géographique

Les cartes de distribution prédites des deux espèces ont été superposés pour avoir un aperçu de leur distribution l'une par rapport à l'autre. Afin de détecter les zones de chevauchements de distribution des deux espèces.

La figure.3.9, montre que le chevauchement de la distribution des deux espèces se focalise juste dans la partie nord-est de la zone d'étude. Cela est dû à l'intersection des deux distributions au niveau de l'étage bioclimatique humide, ce qui correspond à une aire (14846Km<sup>2</sup>). Puisque, la distribution potentielle de l'espèce *Salamandra algira* s'étale sur le nord-est de l'Algérie et la partie nord-ouest de la Tunisie, avec une superficie estimée à 20000 km<sup>2</sup>, elle occupe bien évidemment l'étage bioclimatique humide et celle du *pleurodeles nebulosus* s'étende de l'extrême est de la Tunisie jusqu'au nord est algérien, avec une superficie de 39351Km<sup>2</sup>. Elle se concentre sur les étages bioclimatiques humide, subhumide jusqu'au semi-aride. Il existe deux grande partis remarquables ou l'aire de distribution potentielle des deux espèces se chevauchant; la première qui comprend la wilaya de Tizi ousou, Boumerdes, Bouira et une petite partie de la wilaya de Blida et la deuxième partie contient la wilaya de Jijel, Skikda et Mila, et deux petites parties qui se chevauche à la première inclure la wilaya de Annaba et l'autre se retrouve à l'extrême est de l'Algérie jusqu' à l'est de la Tunisie(Béja, tabarka). Les chevauchements observés sont liés à des situations où les conditions environnementales (variables bioclimatiques) sont favorables pour les deux espèces. Cela peut conduire à des chevauchements inattendus exemple de cas de Béja et

Tabarka au niveau de la Tunisie alors que l'espèce *Salamandra algira* n'a jamais été révélée dans cette région auparavant.

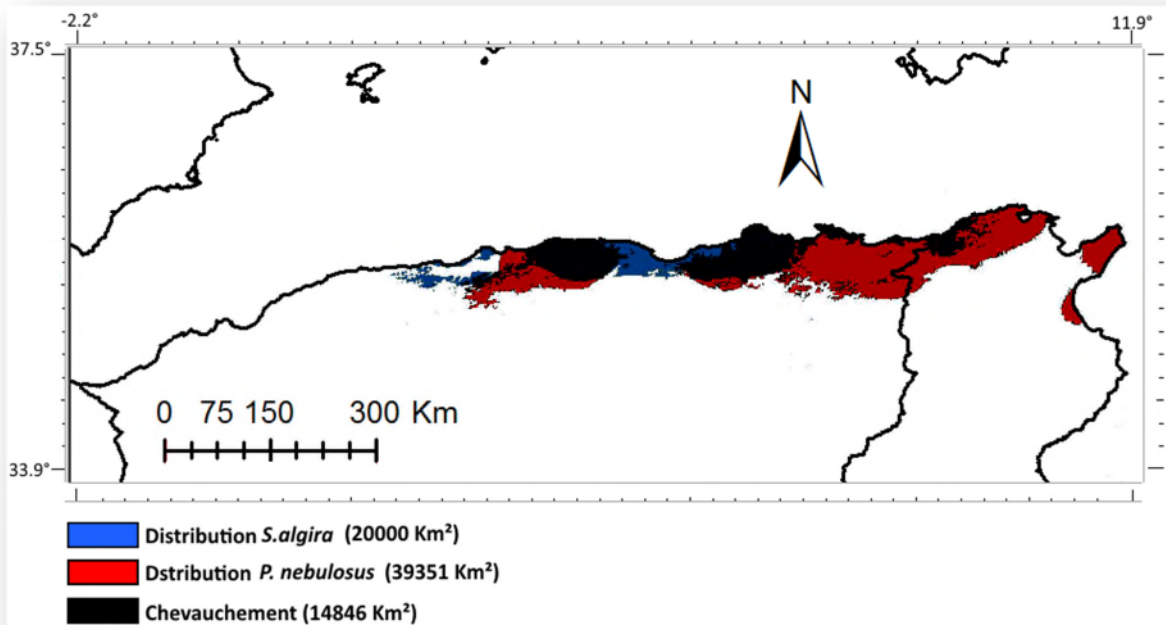


Figure.3.9: Carte de distribution potentielle des deux espèces d'Urodèles

### 5.2. Chevauchement des niches bioclimatiques

La Figure.3.10 est la représentation des distributions des deux espèces d'urodèles dans l'espace environnemental tridimensionnel ; chaque axe représente une variable environnementale. Les trois variables utilisées sont celles qui ont contribué le plus à expliquer les distributions de *S. algira* et *P. nebulosus* selon les prédictions de MaxEnt (tableau3.1) et (tableau3.2).

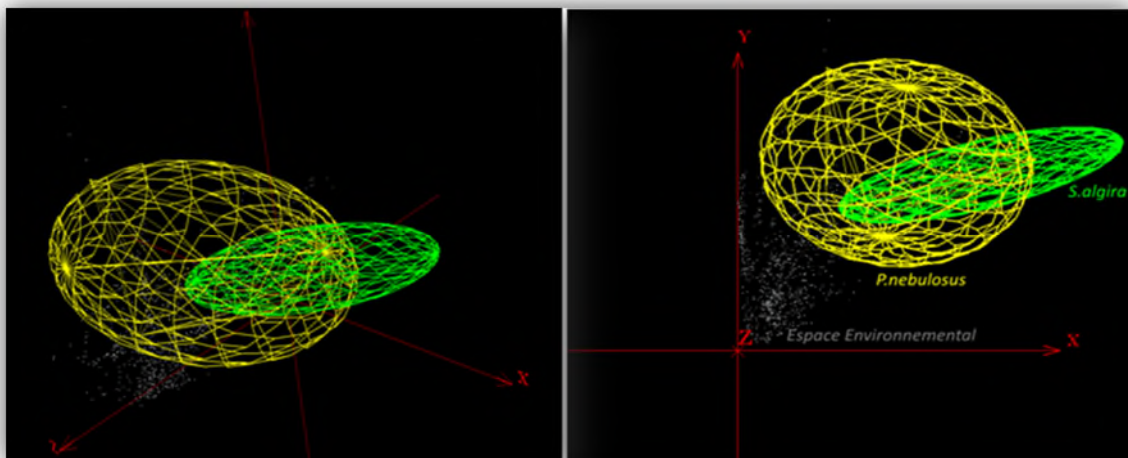


Figure.3.11: Représentation des niches Bioclimatiques de *S. algira* et *P. nebulosus*. X: Bio13, Y: Bio3, Z: Bio15

On remarque que *S.algira* est distribuée suivant le gradient des précipitations du mois le plus humide (Bio13) mais à partir d'une certaine quantité de précipitations, témoignant sur la faible tolérance de cette espèce pour les régions aux précipitations faibles. Contrairement à *S.algira*, *P.nebulosus* semble avoir une certaine tolérance pour les régions où les précipitations sont moins abondantes pour peu que le milieu assure la disponibilité du support de reproduction, durant la saison adéquate. Les niches bioclimatiques de *S.algira* et *P.nebulosus* se chevauchent dans l'espace multivarié. Presque la totalité de l'ellipsoïde verte est incluse dans le jaune reflétant le fait que les *S.algira* ne sont pas rencontrées partout où on trouve *P.nebulosus*, qui peut atteindre les étages et que ces résultats que nous avons acquis avant (figure.3.3) et figure.3.4). Ces résultats concordants et correspondants également à tous les résultats générés par Maxent cela confirme la robustesse et la performance des modèles et la fiabilité de nos résultats.

Nous remarquons que la niche bioclimatique de l'espèce *S.algira* est beaucoup plus réduite par rapport à celle de *P. nebulosus*, avec des probabilités d'occurrences très faibles, dépassant rarement le seuil de 0.8 sur toute l'aire prédite de *S. algira*. Nous remarquons également, que la distribution potentiellement favorable prédite se limite à l'étage bioclimatique humide. Il apparaît clairement l'absence de larges zones prédites comme étant favorables et qu'une grande partie de leur niche bioclimatique se chevauche avec la niche bioclimatique de *P. nebulosus*. Probablement des interactions interspécifiques existées entre les deux espèces est ce qui peut induire la disparition d'une espèce.

### 5.3. Intérêt pour la conservation des deux espèces

Nos résultats peuvent fournir un point de départ utile dans les stratégies de conservation et lorsqu'il s'agit de désigner quelle est l'espèce prioritaire en termes de conservation. De ce fait élaborer des stratégies de conservation plus adéquates, Afin de mieux assurer la préservation des espèces, il nous convient de mettre en place des mesures. Il nous faut alors de faire une large étude afin de savoir les nécessités de chaque espèce pour pouvoir les préserver. Ainsi, nous pouvons après prendre les mesures fondamentales pour atteindre notre but.

# Conclusion



## Conclusion générale et perspectives

La modélisation de la niche écologique des espèces est aujourd'hui facilitée par le développement de méthodes statistiques adaptées à différents types de situation et par la disponibilité croissante de bases de données environnementales. Dans notre cas nous avons utilisé l'une des techniques de modélisation de niche écologique les plus performantes du moment « Maximum Entropy » (maxent). C'est un modèle corrélatif, qui établit des liens statistiques entre les données d'occurrences issues de différents littérateurs et les variables bioclimatiques tirées à partir de la base de données climatique wordclim. De plus, le logiciel arcGis version 10.2.2 offre de nouvelles opportunités de représentation spatiale des patrons de distribution environnementale. Ces analyses ont permis de modéliser les niches climatiques pour deux espèces étudiées, afin de définir le contexte environnemental adéquat à la présence de chaque espèce et de déterminer leurs principaux patrons de distribution. L'objectif principal de notre travail d'explorer les variables bioclimatiques responsables de distribution, les habitats potentiels et les préférences écologiques pour les deux espèces d'urodèles à l'échelle régionale (nord algérien et tunisien), ou afin d'évaluer l'adéquation des conditions bioclimatiques d'une zone par rapport à la présence de l'espèce (Urodèles). A travers les résultats issus de la modélisation de la niche climatique et les analyses multivariées, on a réussi à identifier les variables explicatives responsables de la distribution des deux espèces d'Urodèles dans le nord algérien et tunisien. Les variables identifiées comme étant des variables clés sont les précipitations du mois le plus humide (BIO 13), la saisonnalité des précipitations (BIO15) et la moyenne mensuelle de l'amplitude diurne de la température (BIO2). La variable partageant le rapport le plus fort avec les espèces modélisées est BIO13 qui a une grande importance, elle joue un rôle assez important dans la distribution. Ceci s'explique aisément par leurs exigences écologiques. Ainsi, les résultats de la modélisation démontrent que les deux espèces étudiées ont une distribution fortement corrélée avec les variables bioclimatiques sélectionnées.

L'analyse des distributions potentielles prédites sur l'Algérie tellienne et le nord tunisien pour chaque espèce montre que l'espèce *Salamandra algira* suit l'étage bioclimatique humide qui est caractérisé par un taux élevé de précipitations et d'humidité. Concernant l'espèce *Pleurodeles nebulosus*, elle suit les étages bioclimatiques humides, subhumide et moins fréquemment le semi-aride. Ainsi les deux distributions se chevauchent au niveau de l'étage bioclimatique humide.

Ce travail s'est principalement appuyé sur la modélisation de la niche climatique et l'analyse de la distribution de deux espèces et leur chevauchement, ainsi que la mise en évidence des principales variables climatiques contrôlant la distribution des deux espèces d'Urodèle dans le nord algérien et tunisien.

### Perspectives

Nos perspectives majeures sont liées au maintien de la biodiversité et les processus écologiques en protégeant les habitats et leur connectivité. La fragmentation d'habitats est reconnue comme étant la principale cause de la diminution de l'effectif des Urodèles, elle survient lorsque les activités humaines modifient le paysage et on crée des barrières à la circulation des organismes. Ainsi il convient de;

- ✓ Intégrer plus de variables environnementales abiotiques (les interactions interspécifiques, topologies etc.) et biotiques dans le processus de modélisation, afin d'améliorer les prédictions potentielles,
- ✓ Les modèles de niche écologique peuvent nous aider à repérer les espèces durant l'échantillonnage. Être capable de localiser les espèces connaître ses exigences écologiques sont des pré-requis fondamentaux pour la conservation et/ou la restauration des habitats naturels ou bien pour d'autres types d'objectifs,
- ✓ la réalisation d'inventaires d'espèces et la cartographie de leurs aires de répartition sur le terrain sont très coûteuses en temps et en moyens, les modèles réalisés nous permettent de gagner du temps, d'argent et d'améliorer les connaissances sur les exigences écologiques des espèces et d'apporter des éléments pour répondre aux problèmes de conservation,
- ✓ organiser des campagnes de prospection dans les zones prédites comme étant favorables pour les deux espèces. Sous les conditions actuelles, la conservation de deux espèces est possible sur toutes les zones prédites comme favorables pour elles,
- ✓ Protéger la biodiversité et surtout en conservant des territoires isolés,
- ✓ Les cartes de distribution des deux espèces sont utiles pour voir l'évolution de leur répartition.

# Bibliographie

- Aït Hammou M. and Dahmani W., 2009. Anuran studies from Tiaret region, north-west of Algeria. *Bol. Asoc. Herpetol. Esp.* 20: 68-72.
- Andreone, F., Carpenter, A. I., Cox, N., du Preez, L., Freeman, K., Furrer, S., ... Knox, D. (2008). The challenge of conserving amphibian megadiversity in Madagascar. *PLoS Biol*, 6(5), e118.
- Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R., Huettmann, F., ... G Lohmann, L. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129–151.
- Anderson, J. (1892). On a small collection of mammals, reptiles and batrachians from Barbary. In *Proc. Zool. Soc. London*, 1892 : 3-24. Arntzen
- Antunes, N. (2015). Application d'algorithmes prédictifs à l'identification de niches éco culturelles des populations du passé: approche ethnoarchéologique.
- Araujo, M. B., & Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1677–1688.
- Araújo, M. B., & New, M. (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(1), 42–47.
- Arnould, P. (1994). La forêt française : entre nature et culture.
- Arnold N. et Ovenden D., 2004. Le guide herpéto. Edition Delachaux et Niestlé, Paris. 288 p.
- As al-raSheid, K. (2012). A precipitous decline of the Algerian Newt *Pleurodeles poireti* Gervais, 1835 and other changes in the status of amphibians of Numidia, North-Eastern Algeria. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 67(71).
- Baldwin, R. A. (2009). Use of maximum entropy modeling in wildlife research. *Entropy*, 11(4), 854–866.
- 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.
- Ben Hassine, J., Gutiérrez-Rodríguez, J., Escoriza, D., & Martínez-Solano, I. (2016). Inferring the roles of vicariance, climate and topography in population differentiation in *Salamandra algira* (Caudata, Salamandridae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*.
- Ben Salem, M., Daaloul, A., & Ayadi, A. (1995). Le blé dur en Tunisie. *Options Méditerranéennes Série A (22)*, 81–90.
- Berroneau M., (2010). Guide des Amphibiens et Reptiles de France. Association Cistude Nature. 180 p
- Beukema, W. (n.d.-a). *Amphisbène Cendré Du Maroc Blanus mettetalis* Bons, 1963.

- Beukema, W., De Pous, P., Donaire, D., Escoriza, D., Bogaerts, S., Toxopeus, A. G., ... Carranza, S. (2010). Biogeography and contemporary climatic differentiation among Moroccan *Salamandra algira*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 101(3), 626–641.
- Beukema et al., (2013). Review of the systematics, distribution, biogeography, and natural history of Moroccan amphibians. *Zootaxa* 3661 : 1-60.
- Bock, C. E., & Ricklefs, R. E. (1983). Range size and local abundance of some North American songbirds: a positive correlation. *The American Naturalist*, 122(2), 295–299.
- Bogaerts, S, Valkenburg, K., Donaire-Barroso, D., & Espallargas, G. (2007). New localities of the north African fire salamander (*Salamandra algira*) at the southern limit of its distribution in Morocco. *Zeitschrift Für Feldherpetologie*, 14, 238–241.
- Bogaerts, SERGE, & Donaire-Barroso, D. (2003). Sobre el politipismo en *Salamandra algira*.  
Bedriaga, 1883. *Bol. Asoc. Herpetol. Esp*, 14(1–2), 47–51
- Böettger O. (1885). Liste der von Hrn. Dr. Med. W. Kobelt in Algerien und Tunisien gesammelten Kriechthiere. *Ber. Senck. Natf. Ges.* 457-475.
- Bons J., et Geniez P. (1996). Amphibiens et Reptiles du Maroc (Sahara Occidental compris). Atlas biogéographique. Asociación Herpetológica Española. Barcelona. 319 p.
- Boulenger, G. A. (1891a). V. Catalogue of the Reptiles and Batrachians of Barbary (Morocco, Alyeria, Tunisia), based chiefly upon the Notes and Collections made in 1880–1884 by M. Fernand Lataste. *The Transactions of the Zoological Society of London*, 13(3), 93–164.
- Boulenger, G. A. (1891b). V. Catalogue of the Reptiles and Batrachians of Barbary (Morocco, Algeria, Tunisia), based chiefly upon the Notes and Collections made in 1880–1884 by M. Fernand Lataste. *The Transactions of the Zoological Society of London*, 13(3), 93–164.
- Boulenger G. A. (1918). Sur les lézards du genre *Acanthodactylus* Wieg. *Bull. Soc. Zool. France*. 43: 143-155.
- Boulenger G. A. (1919). A list of the Snakes of North Africa. *Proc. Zool. Soc. (London)*. (22): 299-307.
- Boulenger G. A. (1919). Sur l'Agama *tournevillei* Lataste du Sahara Algérien. *Bull. Zool. France*. 44 :111-115.
- Brown, J. H. (1995). *Macroecology*. University of Chicago Press.
- Brunet, P., Sanuy, D., Oromí, N., Hammou, M. A., & Dahmani, W. (2009). Anuran studies from Tialet region, north-west of Algeria. *Boletín de La Asociación Herpetológica Española*, 20, 68–72.
- Buckley, L. B., & Jetz, W. (2008). Linking global turnover of species and environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(46), 17836–17841.

- Buckley, L. B., Urban, M. C., Angilletta, M. J., Crozier, L. G., Rissler, L. J., & Sears, M. W. (2010a). Can mechanism inform species' distribution models? *Ecology Letters*, *13*(8), 1041–1054.
- Buckley, L. B., Urban, M. C., Angilletta, M. J., Crozier, L. G., Rissler, L. J., & Sears, M. W. (2010b). Can mechanism inform species' distribution models? *Ecology Letters*, *13*(8), 1041–1054.
- Byrne, M., Yeates, D., Joseph, L., Kearney, M., Bowler, J., Williams, M., ... Leys, R. (2008). Birth of a biome: insights into the assembly and maintenance of the Australian arid zone biota. *Molecular Ecology*, *17*(20), 4398–4417.
- Camarasa, J. G., & Serra-Baldrich, E. (1992). Allergic contact dermatitis from triphenyl phosphate. *Contact Dermatitis*, *26*(4), 264–265.
- Carranza, S., & Arnold, E.N. (2004). History of West Mediterranean newts, *Pleurodeles* (Amphibia: Salamandridae) inferred from old and recent DNA sequences. *Syst. Biodiv*, *1*(3): 327-337.
- Chase, J. M., & Leibold, M. A. (2003). *Ecological niches: linking classical and contemporary approaches*. University of Chicago Press.
- Decout, S. (2007). Effets des patrons d'organisation spatiale du paysage sur l'habitat d'une espèce animale à gestion conservatoire: le cas de l'habitat de reproduction du tétras-lyre (*Tetrao tetrix* L.) dans un contexte d'expansion des aulnaies vertes (*Alnus alnobetula* (Ehr.) C. Koch).
- Djirar N. (1990). Clé préliminaire des reptiles d'Algérie. Ed. O. P. U. Alger. 111p.
- Djirar N. (1991). Inventaire et ecobiologies des vertébrés du Parc national des Babors. Mém. Mag. Inst. Biologie. Univ. Sétif. 101p.
- Djirar N., 1995 Reconnaître les reptiles d'Algérie (clé préliminaire). OPU Alger. 37p.
- Djirar N., 2007 Analyse des groupements reptiliens dans quatre milieux différents d'Algérie. Thèse de doctorat en Biologie Animale. Univ. Ferhat Abbas de Sétif. 67p.
- Donaire-Barroso, D., & Bogaerts, S. (2001). Observations on viviparity of *Salamandra algira* in North Morocco. *Herpetologia Candiana. SEH, Irakleio*, 147–151.
- Donaire-Barroso, D., & Bogaerts, S. (2003). A new subspecies of *Salamandra algira* Bedriaga, 1883 from northern Morocco. *Podarcis*, *4*(3), 84–100.

- Doumergue, F. (1901). Essai sur la faune herpétologique de l'Oranie : avec des tableaux analytiques et des notions pour la détermination de tous les reptiles & batraciens du Maroc, de l'Algérie et de la Tunisie. Oran, 461 pp.
- Duméril, A.M.C. & Bibron, G. (1834-1854). *Erpétologie générale ou histoire naturelle complète des Reptiles*. édition Roret, Paris, 344 pp.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011a). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57.
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011b). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57.
- Escoriza, D., Comas, M., Donaire, D., & Carranza. (2006). Rediscovery of *Salamandra algira* (Bedriaga, 1883) from the Beni Snassen massif (Morocco) and phylogenetic relationships of North African *Salamandra*. *Amphib-Reptil*, 27: 448-455.
- Escoriza, D., & del Mar Comas, M. (2007). Description of a new subspecies of *Salamandra algira* Bedriaga, 1883 (Amphibia: Salamandridae) from the Beni Snassen massif (Northeast Morocco). *SALAMANDRA-BONN-*, 43(2), 77.
- Escoriza, D., & Hassine, J. B. (2015). Niche partitioning at local and regional scale in the North African Salamandridae. *Journal of Herpetology*, 49(2), 276–283.
- Ferrer J; Dahmani; Ait hammou M; Camaraza; Maatoug Metsan Byd; 2016 contribucio alconéixentde lerpetofauna del nordd'algeria( region tiaret; chlef). butel.soc;calelena Herpotologia, 23:44-63.
- Franklin, J. (2010). *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press.
- Gauthier, R. (1967). *Ecologie et éthologie des reptiles du Sahara Nord-occidental (région de Béni-Abbès)*. Musée Royal de l'Afrique Centrale
- Gervais, P. (1835). Communication sur les Reptiles de Barbarie. Bull. Soc. Sci. Nat. Fr, Séance du 23/12/1835: 112-114.
- Goldfuss, 1820, Han db.Zool., 2 :129. Type genus : *Salamandra Laurenti*,1769.
- Grenot C. (1968). Nasal excretion of salts by the Sahara Lizard, *Uromastix acanthinurus* and *T. ehipiata* (Sauria, Gekkonidae). *Zool. Meded. Leiden*. 38 : 1-14.
- Grinnell, J. (1913). *A distributional list of the mammals of California* (Vol. 3). The Academy.
- Grinnell, J. (1917). The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk*, 34(4), 427–433.
- Grosselet O., Bartheau F., Dusoulier F. et Gouret L., 2001 - Guide de détermination des Amphibiens et des Reptiles du Massif armoricain. Association « De Mare en Mare ». 71p

- Guichenot, A. (1850). Histoire naturelle des Reptiles et des Poissons. Exploration scientifique de l'Algérie pendant les années 1840, 1841, 1842. Zoologie. Biblio fra, Paris. 144 p.
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005a). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993–1009.
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005b). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8(9), 993–1009.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2), 147–186.
- Guillon, Y., Holgado, R., Maestri, G., Dudal, E., & Dupont, L. (2006). Rapid screening of DOM's metal-binding ability using a fluorescence-based microplate assay. *Science of the Total Environment*, 354(2), 286–291.
- Günther A. (1859). On the reptiles and fishes collected by the rev. H.B. Tristram in northern Africa. *Proc. Zool. Soc.*, (London). 469 - 474.
- Hassine, J. B., KASSABI, A., & NOUIRA, S. (2012). *Pleurodeles nebulosus* (Guichenot, 1850) en Tunisie: répartition, habitat, reproduction et statut. *Bull. Soc. Herp. Fr*, 2013(144), 51–66.
- Hediger, H. 1935. Herpetologische Beobachtungen in Marokko. *Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel*, 46: 30–31.
- Hernandez, P., Franke, I., Herzog, S., Pacheco, V., Paniagua, L., Quintana, H., ... Valqui, T. (2008). Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. *Biodiversity and Conservation*, 17(6), 1353–1366.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25(15), 1965–1978.
- Hutchinson, G. E. (1957). Cold spring harbor symposium on quantitative biology. *Concluding Remarks*, 22, 415–427.
- Johnson, R. H. (1910). *Determinate evolution in the color-pattern of the lady-beetles*. Carnegie Institution of Washington.
- Kaiser, MJ. (2006). Prášil, O, Attrill, MJ, Jennings, S., Thomas, DN, Barnes, DKA, Brierley, AS, Polunin, NVC, Raffaelli, DG, Williams, PJ le B.: Marine ecology: Processes, systems, and impacts. *Photosynthetica*, 44(3), 386–386.
- Kearney, M. (2006). Habitat, environment and niche: what are we modelling? *Oikos*, 115(1), 186–191.
- Lalaste, F. (1880) Diagnoses des Reptiles nouveaux d'Algérie. *Le Naturaliste*, Paris, 3 (47): 370–372.



- Lallemant, C. (1867). *Erpétologie de l'Algérie ou catalogue synoptique et analytique des reptiles et amphibiens de la colonie*. Paris
- Lauzeral, C. (2012). Prédiction du potentiel d'invasion des espèces non natives par des modèles de niche: approches méthodologiques et applications aux poissons d'eau douce sur le territoire français.
- Linnaeus, c. (1758). *Tomus I Sys. nat.*, ed. 10 . Holmaie, Laurentii Salvii:(1-4), 1-824, Amphibia (class), P 12-194-196.
- Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Foran, B., Lobefaro, L., & Geschke, A. (2012). International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature*, 486(7401), 109–112.
- Loyer M. (1929). Les crapauds d'Ouargla (Algerie). *Rev. Hist. Nat. Appliq. (Paris)*. Pt. LB. *Aquicult. Ent. Aquar. Et Terrar.* 10 (12) : 410-416.
- Merabet, K., Dahmana, A., Karar, M., & Moali, A. (2017). First report of leech predation on *Pleurodeles nebulosus* (Guichenot, 1850) in Kabylia, Algeria.
- Mermod C. (1970). Domaine vital et déplacements chez *Cerastes vipera* (L.) et *Cerastes cerastes* (L.) (Reptilia, Viperidae). *Rev. Suisse Zool.* 77(3) : 555-562.
- Monnet, A.-C. (2014). Apport des modèles de niche aux translocations d'espèces : cas du renforcement de populations d'Outarde houbara
- Morand, A. 2001. *Amphibiens et Reptiles : écologie et gestion*. Edition Station Biologique de la Tour du Valat. 112 p.
- Nicolas, D., Lobry, J., Lepage, M., Sautour, B., Le Pape, O., Cabral, H., ... Boët, P. (2010). Fish under influence: a macroecological analysis of relations between fish species richness and environmental gradients among European tidal estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86(1), 137–147.
- Olivier E. (1894). *Herpétologie Algérienne, ou catalogue raisonné des reptiles et des batraciens observés jusqu'à ce jour en Algerie*. *Mém. Soc. Zool. France.* 7 :98-131.
- O'Shea M. et Halliday T., 2001 *Reptiles et Amphibiens*. Bordas, Ed Sylvie Cattaneo. 256p
- Pearson, R. G., Thuiller, W., Araújo, M. B., Martinez-Meyer, E., Brotons, L., McClean, C., ... Lees, D. C. (2006). Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1704–1711.
- Pellegrin J. (1927). La présence du crapaud vert dans le Hoggar. *C. R. Acad.Sci. (Paris)*. 185: 1066-1067

- Peterson, A., & Nakazawa, Y. (2008). Environmental data sets matter in ecological niche modelling: an example with *Solenopsis invicta* and *Solenopsis richteri*. *Global Ecology and Biogeography*, 17(1), 135–144.
- Peterson, A. T. (2006). Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models.
- Peterson, A. T. (2011). *Ecological niches and geographic distributions (MPB-49)*. Princeton University Press.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3), 231–259.
- Pierrat, B. (2011). Macroécologie des échinides de l’océan Austral : Distribution, Biogéographie et Modélisation.
- Poiret, J.L.M. (1789). Voyage en Barbarie, ou lettres écrites de l'ancienne Numidie pendant les années 1785 et 1786, sur la religion, les coutumes et les moeurs des Maures et les ArabesBedouins (Vol. 1).
- Pulliam, H. R. (2000). On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, 3(4), 349–361.
- Qiao, H., Peterson, A. T., Campbell, L. P., Soberón, J., Ji, L., & Escobar, L. E. (2016). NicheA: Creating virtual species and ecological niches in multivariate environmental scenarios. *Ecography*, 39(8), 805–813.
- Raven P., Losos J., Johnson G. et Singer S., (2007). Biologie. Ed de boeck. 1250p
- Rouag, R., & Benyacoub, S. (2006). Inventaire et écologie des reptiles du Parc national d’El Kala (Algérie). *Bull. Soc. Herp. Fr*, 117: 25-40 p.
- Roux, E. (2002). Origine et évolution de l’appareil respiratoire aérien des Vertébrés. *Rev. Mal. Respir*, 19: 601-615.
- SEURAT, L.G. (1930). Exploration zoologique de l’Algérie de 1830 à 1930. Series : Collection du Centenaire de l’Algérie. Masson, Paris, France.
- Shaw, (1802). Amphibian Species of the World. *Rana catesbieana* Shaw 1802.
- Sillero, N. (2011). What does ecological modelling model? A proposed classification of ecological niche models based on their underlying methods. *Ecological Modelling*, 222(8), 1343–1346.
- Soberon, J., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species’ distributional areas.
- Sampoux, J., & Bardeau, V. (2011). Modélisation de la niche écologique des espèces végétales: intérêt pour la prospection et la gestion des ressources génétiques. Presented at Colloque

FRB : Les Ressources Génétiques (RG) face aux Nouveaux Enjeux Environnementaux,  
Economiques et Sociétaux, Montpellier, FRA(2011-09-20 - 2011-09-22).

- Steinfartz, S., Veith, M., & Tautz, D. (2000). Mitochondrial sequence analysis of Salamandra taxa suggests old splits of major lineages and postglacial recolonizations of Central Europe from distinct source populations of Salamandra salamandra. *Molecular Ecology*, 9(4), 397–410.
- Strauth A. (1862). Essai d'une erpétologie de l'Algérie. Mém. Acad. Imp. Sci. (St.Petersbourg). 7<sup>th</sup> Ser. 4(7): 1-86.
- SURA, P. (1983). Preliminary results of a collecting trip to Algeria - Amphibians and Reptiles. *British Herpetological Society Bulletin* 6: 27-35.
- Tristram H. B. (1859). Notes on the reptiles and fishes of the Sahara. *Proc. Zool. Soc. (London)*. 475-477.
- Vieites, D., Wollenberg, K., Andreone, F., Köhler, J., Glaw, F., & Vences, M. (2009). Vast underestimation of Madagascar's biodiversity evidenced by an integrative amphibian inventory. *Proc. Natl. Acad. Sci*, 106(20): 8267-8272.
- Vences, M., Sanchez, E., Hauswaldt, J.S., Eikelmann, D., Rodríguez, A., Carranza, S., & Werner, P. (2014). Nuclear and mitochondrial multilocus phylogeny and survey of alkaloid content in true salamanders of the genus Salamandra (Salamandridae). *Mol. Phyl. Evol*, 73: 208216.
- Vernet, R. (1977) Recherches sur l'écologie de Varanus griseus dans les écosystèmes sableux du Sahara Nord-Occidental (Algérie) Thèse du Troisième cycle. Université de Pierre et Marie Curie, Paris VI
- Wang, Y.-S., Xie, B.-Y., Wan, F.-H., Xiao, Q.-M., & Dai, L.-Y. (2007). The potential geographic distribution of Radopholus similis in China. *Agricultural Sciences in China*, 6(12), 1444–1449.
- Werner, E.E. (1986). Amphibian metamorphosis: growth rate, predation risk and the optimal size at transformation, *Amer. Nat*, 128 (3): 319-341.
- Werner F. (1892). Ausbeute einer herpetologischen excursion nach Ost-Algerien. *Verhandl. Zool. Bot. Gesell. (Wien)*. 42: 350-355.
- Werner F. (1894). Zweiter beitrage zur herpetology von Ost-Algerien. *Verhandl. Zool. Bot. Gesell. (Wien)*. 44: 75-87.
- Werner F. (1914). Ergebnisse einer von Prof. F. Werner im Sommer 1910 unterstützung aus dem legatate wedl ausgeführten zoologischen forschungreise nach Algerien. II. Vertebrata. (a) Reptilien und Batrachier. *Sitzberg. Akad. Wiss. (Wien)*. 123 (4): 331-358.
- Werner F. (1937). Über reptilien aus dem Hoggar-Gebirge. *Zool. Anz. (Leipzig)*. 118 (1-

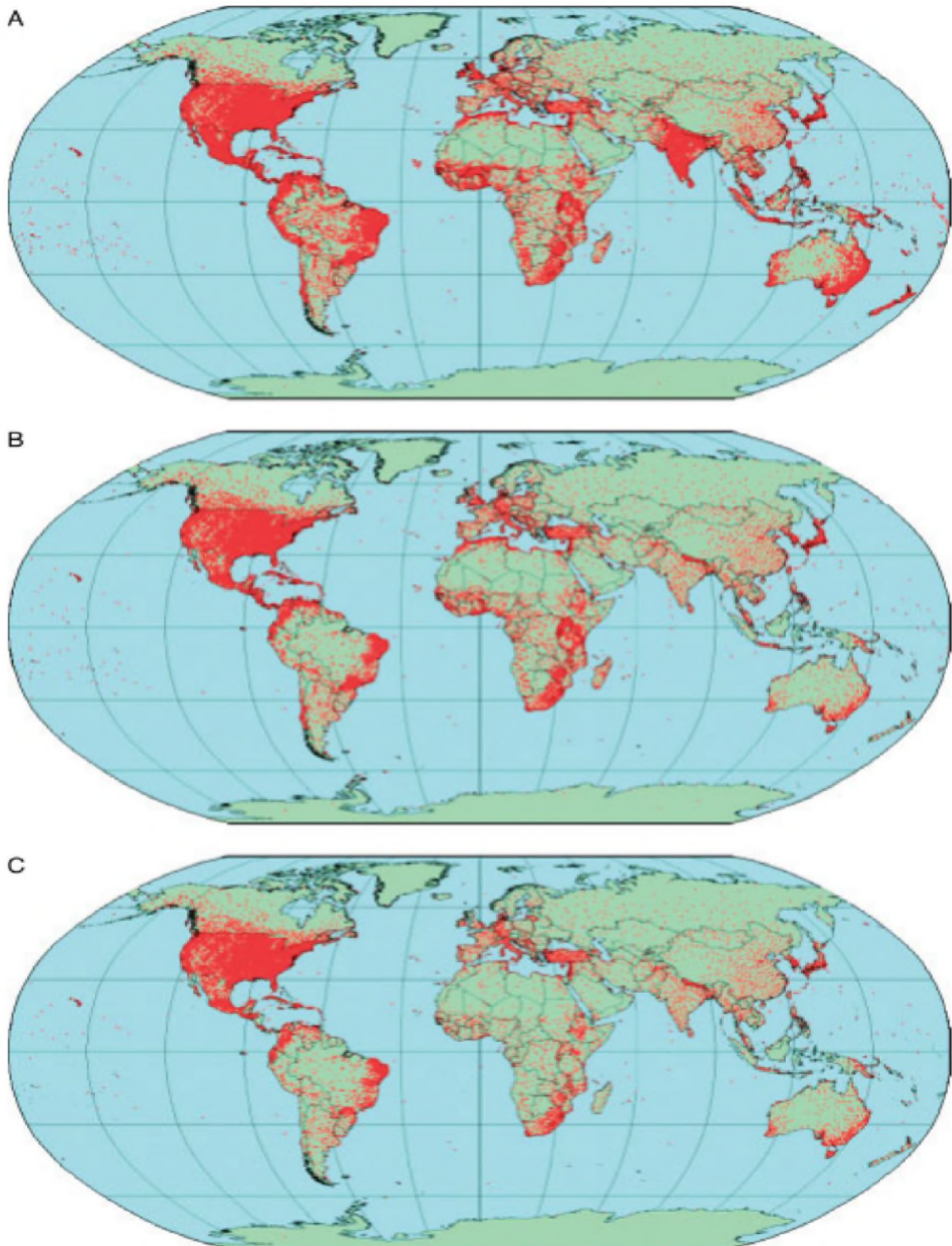
2): 31-35.

Whittaker, R. H., Levin, S. A., & Root, R. B. (1973). Niche, habitat, and ecotope. *The American Naturalist*, 107(955), 321–338.

Williams, P. (2005). Marine ecology. Processes, systems and impacts. *New York*.

# **Annexes**

**Annexe1:**



**Figure.1:** Localisation des stations climatiques utilisées pour produire les variables climatiques. (A) précipitations (47554stations), (B) moyennes des températures (24542stations), (C) minimums et maximums des températures (14930stations)

**Annexe2:** Données utilisées dans la synthèse climatique

**Tableau1:** Stations climatiques et leurs quotients pluviométriques d'Emberger (Q2)

<b>Stations</b>	<b>P</b>	<b>M</b>	<b>m</b>	<b>Q2</b>
Temime	266	32	5.6	31.62
Bbouzelfa	358	31.1	5.2	44.5
Roued	447	31.2	6.6	60.17
Rras jebel	514	31.9	6.4	74.14
Bizerte sud	564	33.2	7.5	81.35
Sejnane	746	35.1	6.7	101.22
Nezfa	707	35.3	5.9	88.47
Béja	587	35.8	5.1	66.72
THiban	622	31.8	3.9	67.66
Bousalem	535	34.5	5	59.17
Tabarka	828	35.2	7.3	115.5
Fernana1	822	31.7	4.5	93.62
Fernana	702	31.7	4.8	78.77
EL kala	741	31.5	7.9	108.27
Gardiman	1091	30.7	1.3	123.90
Berrihane	739	29.6	7.4	104.79
EL kennar nouchfi	871	30	8.1	138.06
Zekri	991	30.5	4.3	135
Chemini	983	30.7	0.7	116.28
Medjana	665	29.5	-1.1	73.1
Azazga	1032	32	4.4	135.47
Tamezguida	853	31.1	0.8	103

## Résumé

Les études restent insuffisantes car certaines espèces d'amphibiens sont encore peu connues à cause des difficultés rencontrées dans leur approche (inaccessibilité de leurs biotopes, animaux très discrets). Les populations d'amphibiens ne sont pas épargnées. La perte d'habitat, le changement climatique, la surexploitation, l'introduction d'espèces invasives, les maladies et une multitude d'agressions des écosystèmes et habitats font que l'homme soit le principal acteur faisant des amphibiens le taxon des vertébrés le plus menacé. Notre étude consiste à modéliser la niche climatique pour les deux espèces étudiées (*Salamandra algira*, *pleurodeles nebulosus*) à partir d'un jeu de données de calibration comprenant des données de présence de l'espèce et des variables bioclimatiques synthétisées à partir d'une base des données worldclim. Nous présentons une méthode qui nous a permis d'analyser la distribution de deux espèces et la modélisation de leur niche climatique, afin de connaître les variables bioclimatiques responsables de distribution, les habitats potentiels et les préférences écologiques pour les deux espèces d'urodèles à l'échelle régionale (nord algérien et tunisien).

**Mots clés:** modélisation, Maximum Entropy, *Salamandra algira*, *pleurodeles nebulosus*, nord algérien et tunisien, chevauchement

## Abstract

Studies remain insufficient because some species of amphibians are still little known because of the difficulties encountered in their approach (inaccessibility of their biotopes, very discrete animals). Amphibian populations are not spared. Habitat loss, climate change, overexploitation, the introduction of invasive species, diseases and a multitude of attacks on ecosystems and habitats mean that man is the main actor making amphibians the taxon of vertebrates More threatened.

Our study consists in modeling the climatic niche for the two species studied (*Salamandra algira*, *pleurodeles nebulosus*) from a set of calibration data including presence data of the species and bioclimatic variables synthesized from a base Worldclim data. We present a method allowing us to analyze the distribution of two species and the modeling of their climatic niche, in order to know the bioclimatic variables responsible for distribution, potential habitats and ecological preferences for the two urodel species at Regional scale (Algerian and Tunisian North).

**Key words:** modeling, Maximum Entropy, *Salamandra algira*, *pleurodeles nebulosus*, northern Algerian and Tunisian



