Université Abderrahmane Mira de Béjaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques de l'Environnement

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master
Option : Sciences Naturelles de l'Environnement

Thème :

Etude de l'écologie des Salamandridés (Amphibiens, Urodèles) en Kabylie et modélisation de leurs distributions potentielles

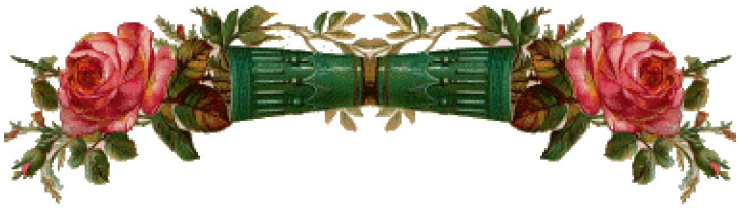
Présenté par :

M. KARAR Mokrane
Melle. ANARAKDIM Laiza

Devant le jury composé de :

M. HAMLAT M. M.A.A. Président
M. AHMIM M. M.A.A. Examinateur
M. MOUSLI M.L. M.A.A. Examinateur
M. DAHMANA A. M.A.A. Encadreur
M. MERABET K. Doctorant Invité

Année universitaire 2013 – 2014 (session juin)



Remerciements

Avant tout nous remercions Dieu le tout puissant qui nous a procuré la volonté, la santé et le courage pour mener à terme

ce modeste travail ;

Nos vifs remerciements s'adressent tout d'abord à notre promoteur M. DEHMANA pour avoir accepter de nous encadrer, pour son disponibilité et

son esprit critique et sa bonne humeur.

Ainsi que M. MOALI pour ces précieux conseils

Nous remercions également les membres du jury M.Hamlate, M.Mousli et M.Ahmim pour avoir bien voulu prendre le temps d'évaluer et juger notre travail

Nous ne remercions jamais assez M.MERABER pour son aide, pour son soutien, ses encouragements et sa disponibilité, sans oublier l'équipe du laboratoire de recherche en écologie et environnement

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

✍ *laiza & mokrane*

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à tous ce que j'aime :

A mon père, qui n'est malheureusement pas avec nous aujourd'hui, a ma chère maman pour son soutien, encouragement et son amour qui ont fait de moi tout ce que je suis aujourd'hui….

A mes deux adorables sœurs lamia et sissa à qui je souhaite une belle vie

A mon cher frère salimo pour son aide précieuse ; que dieu le bénisse.

A mes deux chères copines Nadjette et Nesrine

A mes deux tantes nadia et zaza

A mes amis en particuliers : samira, nassila, soraia, fouzia, qamir, l'hcene, hania. ET a tous

les autres à qui je m'excuse de ne pas les avoir citées.

A mon cher ami mokrane, ainsi que sa chère femme kahina et toute sa famille.

Je dédie ce mémoire à toute la promotion sciences naturelles de l'environnement 2013/2014.

Laiza…

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents, qui se sont sacrifiés pour m'offrir un climat de travail idéal, qui n'ont jamais cessé de me témoigner leur affection et de m'apporter leur soutien depuis toujours.

Ma grand-mère que je porte dans mon cœur

Ma Très chère femme Kahina qui m'a soutenu dans mes choix et plus ou moins (☺) toléré mes longues absences, et sa famille au complet

Mes très chers frère et soeur : Ramdane qui ne comprend rien à l'écologie et Sadia qui est tout de suite tombé sous le charmes des salamandres

Sans oublier ma chère tante Nadia, son mari Cherif et leurs gentils enfants Mahrez et Achour (^ ^,)

Aux deux correcteurs qui m'ont obligé de faire l'erratum de l'erratum (Mojo & Mary)

Tous mes amis et spécialement ceux qui m'ont aidé dans mon travail d'échantillonnage Omar, Lamara, Amirouche et Sofiane Hadj x (Sofiane, Samy et Rabah), Ahmed ☹ et Hocine Khaled (à suivre)

Toute la promotion SNE

Mokrane

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction **1**

Chapitre I : Synthèse des connaissances sur les amphibiens en Algérie **4**

1. Généralités sur l'herpétofaune **4**

1.1. Définition de l'herpétologie……...**4**

1.2. Importance de la faune d'amphibiens dans le monde **4**

2. L'herpétofaune en Algérie **5**

2.1. Historique des recherches herpétologiques **5**

2.2. La faune amphibienne en Algérie **7**

3. Les Salamandridés (amphibiens urodèles) **9**

3.1. Salamandra algira algira **9**

3.1.1. Historique et nomenclature **9**

3.1.2. Classification et description **10**

3.1.3. Reproduction **12**

3.1.4. Habitat et répartition **14**

3.1.5. Statut de conservation **15**

3.2. *Pleurodeles nebulosus* **15**

3.2.1. Historique et Nomenclature **15**

3.2.2. Classification et description **19**

3.2.3. Habitat et répartition **21**

3.2.4. Statut de conservation **22**

Chapitre 2 : La niche écologique d'une espèce et modélisation **23**

1. Définitions de la niche écologique **23**

1.1. La niche écologique selon Grinnell et Elton **23**

1.2. La niche écologique selon Hutchinson **23**

1.3. La théorie de construction de niche **24**

2. Principe de modélisation de la niche écologique **24**

2.1. Définition du model de niche écologique **24**

2.2. Limites de la modélisation de niche écologique **25**
2.3. Les types de modèles **27**
Chapitre 3 : Matériel et méthodes **29**
1. Présentation de la zone d'étude et méthodologie **29**
1.1. Situation géographique **29**
1.2. Classes d'altitude et de pente de la zone d'étude..... **29**
1.3. Synthèse climatique de la zone d'étude **30**
1.3.1. Les précipitations **31**
1.3.2. Les températures **33**
1.3.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen..... **33**
1.3.4. Climagramme d'Emberger **34**
2. Echantillonnage et terrain **38**
2.1. Période d'échantillonnage **38**
2.2. Choix des sites **38**
2.3. Méthode d'échantillonnage..... **39**
2.3.1. Echantillonnage en milieu aquatique..... **39**
2.3.2. Echantillonnage en milieu terrestre adjacent au plan d'eau..... **41**
2.4. La description écologique du milieu **42**
2.5. Transfert au laboratoire **43**
3. L'élevage en captivité des deus espèces étudiées **44**
3.1. Mise en place du dispositif d'un élevage..... **44**
3.2. Conduite de l'élevage **45**
4. Techniques de modélisation de la niche écologique des deux espèces étudiées **52**
4.1. Données environnementales utilisées..... **52**
4.1.1. Modèle numérique de terrain et données climatiques..... **52**
4.1.2. Indice de différence de végétation normalisé (NDVI) **54**
4.1.3. Occupation du sol (MERIS GlobCover2009) **56**
4.2. Préparation des données environnementales..... **56**
4.2.1. Reclassification sous Quantum Gis **56**
4.2.2. Extraction des valeurs numériques des différents rasters **57**
4.2.3. Analyse de corrélation entre les rasters environnementaux sous R..... **58**

4.3. Modélisation de la niche écologique avec la technique d'entropie maximale **60**
4.3.1. Principe de l'entropie maximale **60**
4.3.2. Maxent **61**
4.3.3. Construction des modèles **64**
Chapitre 4 : Résultats et discussion **66**
1. Données de présence et d'absence des deux urodèles **66**
2. Caractéristiques de l'habitat des deux espèces d'urodèles ..... … **68**
2.1. Habitat de *S.a.algira* **68**
2.2. Habitat de *Pleurodeles nebulosus* **69**
3. Sites de reproduction des urodèles **71**
3.1. Cas du *Pleurodeles nebulosus* **71**
3.2. Cas de S.a.algira **71**
4. Données de l'élevage en captivité **72**
4.1. Reproduction en captivité **72**
4.1.1. Cas de *Salamandra algira algira* **72**
4.1.2. Cas du *Pleurodeles nebulosus* **74**
4.2 Alimentation et comportement en captivité **76**
4.2.1. Le régime alimentaire **76**
4.2.2. Le comportement alimentaire **76**
4.3. Activité et déplacement **78**
4.4. Caractéristiques des différents stades de développement **79**
5. Distributions potentielles prédites **85**
5.1. Modélisation de la distribution potentielle de *S.a.algira* **85**
5.1.1. Performance du modèle **85**
5.1.2. Distribution potentielle **86**
5.2. Modélisation de la distribution potentielle de *P.nebulosus* **90**
5.2.1. Performance du modèles **90**
5.2.3. Distribution potentielle **92**
5.3. Futur échantillonnage **94**
Conclusion **95**
Conclusion **96**

Bibliographie ……..**99**

Annexes

Résumé

Liste des figures

Figure.1.1 : Relations phylogénétiques entres les sous espèces du genre *Salamandra* **11**

Figure.1.2 : Juvénile de *Salamandra algira algira* **11**

Figure.1.3 : Larve de *S.algira.algira* **13**

Figure.1.4 : Juvénile de *S.algira tingitana*……..... **14**

Figure.1.5 : carte de distribution de *Salamandra algira* en Afrique du nord **14**

Figure.1.6 : Relations phylogénétiques entre espèces du genre Pleurodeles..... **18**

Figure.1.7 : L'aspect ventral du squelette d'adultes d'A. –P. *poireti,* et de B–*P.nebulosus*..... ...**19**

Figure.1.8: Pleurodeles nebulosus..... **20**

Figure.2.1 : Fréquence de publications autour du thème de la modélisation..... **26**

F**igure.2.2 :** Les différents types de distribution d'une espèce d'après Peterson 2005…….....**27**

Figure.2.3 : Processus de modélisation corrélative de la niche écologique d'une espèce **28**

Figure.3.1 : Zone d'étude (Image Google Earth 2014, réalisée sous Qgis) **29**

Figure.3.2 : Classes d'altitudes selon MATET 2008 (réalisée sous Qgis)..... **30**

Figure.3.3 : Evolution de la pluviométrie moyenne mensuelle dans 11 stations réparties sur la zone d'étude **32**

Figure.3.4 : Extrait de la Carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord ANRH 1993 ..... **32**

Figure.3.5 : Evolution des températures moyennes mensuelles dans 7 stations réparties sur la zone d'étude **33**

Figure.3.6 : Projection de 10 stations sur le climagramme d'Emberger (version Le Houérou ,1995 in Meddour 2010)..... **35**

Figure.3.7 : Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls & Gaussen de 8 stations réparties sur la zone d'étude **37**

Figure.3.8: Larves de Salamandres dans un bassin de source. **39**

Figure.3.9 : Ponte (grappe) du Pleurodeles nebulosus **40**
Figure.3.10 : Echantillonnage du milieu aquatique avec un filet épuisette **41**
Figure.3.11 : Echantillonnage du milieu terrestre **42**
Figure 3.12 : boites de transfert des urodèles **43**
Figure.3.13 : bacs pour larves de S.a.algira **46**
Figure.3.14 : Aquarium pour le Pleurodèle nebulosus **48**
Figure.3.15 : Bac pour les larves de Pleurodèle **49**
Figure.3.16 : Conservation dans l'alcool (éthanol 70%) **52**
Figure.3.17 : Raster du model numérique de terrain SRTM30 ..... **53**
Figure.3.18. Raster des moyennes des précipitations de mois de décembre **53**
Figure.3.19. Raster du NDVI calculé (résolution de 250m) **55**
Figure.3.20. Raster du MERIS GlobCover (300m de résolution) **56**
Figure.3.21 : Interface de Qgis **57**
Figure.3.22 : Conversion au format ASCII des rasters **58**
Figure.3.23 : Matrice de corrélation entre les variables environnementales (modèle S.a.a) continues sous R **59**
Figure.3.24 : Interface principale de Maxent **62**
Figure.3.25 : Les cas théoriques pour l'analyse de l'AUC **63**
Figure.3.26 : Courbe de réponse **64**
Figure.4.1 : La distribution des deux espèces en Kabylie **66**
Figure.4.2 : Habitat terrestre de *Salamandra algira algira* **68**
Figure.4.3 : Bassins de source **69**
Figure.4.4 : Les mares temporaires **71**
Figure.4.5 : larve *S.a.algira* née au laboratoire **73**
Figure.4.6 : Sac d'œufs du *Pleurodeles nebulosus* **74**
Figure.4.7 : Evolution des moyennes de température journalière **75**
Figure.4.8 : Compétition alimentaire entre salamandres, deux femelles adultes **77**
Figure .4.9 : Phénomène de cannibalisme entre larves de salamandres **78**
Figure.4.10 : exuvie du pleurodèle d'Algérie **79**
Figure.4.11: Valeur de l'AUCm de la moyenne des 100 modèles de *S. algira* **85**
Figure.4.12 : Carte de distribution potentielle de *S.a. algira* **87**

Figure.4.13 : Réponse *de S.a. algira* à BIO19 et BIO3 ..... **88**
Figure.4.14: Contexte bioclimatique de l'Algérie Tellienne selon Stewart (1974) **89**
Figure.4.15 : Distribution des populations de *Salamandra algira* en Algérie..... **90**
Figure.4.16: Valeur de l'AUCm de la moyenne des 100 modèles de P. nebulosus **91**
Figure.4.17 : Carte de distribution potentielle de P. nebulosus **92**
Figure.4.18: Réponses de P. nebulosus à BIO19, l'altitude et BIO2 ..... **93**

Liste des tableaux

Tableau.1.1 : Composition taxonomique de la faune des amphibiens en Algérie..... **8**
Tableau.1.2 : Composition taxonomique de la faune d'amphibiens d'Algérie **8**
Tableau.3.1 : Altitudes, périodes et sources des données climatiques..... **31**
Tableau.3.2 : Valeurs de Q3 pour les stations disponibles..... **36**
Tableau.3.3 : Les 19 variables bioclimatiques crées sous GIS..... **54**
Tableau.4.1 : Pourcentages d'occurrences des deux espèces dans les différents habitats **67**
Tableau4.2 : chronologie de ponte de deux femelles adultes..... **73**
Tableau.4.3: Stades de développement de *S.a. algira*..... **80**
Tableau.4.4: Stades de développement de *P.nebulosus* **83**
Tableau.4.5 : Contribution des variables environnementales au model..... **86**
Tableau.4.6 : Contribution des variables au model..... **91**

Introduction

Introduction

Actuellement la terre connaît une crise de biodiversité importante. Le rythme de d'extinction d'espèces est effréné, ce qui mène la communauté scientifique à penser qu'une sixième extinction de masse s'installe, compte tenu des pertes d'espèces enregistrées au cours des derniers siècles et millénaires **(Barnosky et al., 2011; Bellard et al., 2012)**. Ces pertes sont 1000 à 10 000 fois supérieures au rythme d'extinctions naturelles **(Hutchins et al., 2003)**.

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 **(Vieites et al., 2009; Pyšek & Richardson, 2010)**. Les conséquences du déclin engendré par cette menace affectent les niveaux trophiques supérieurs et inférieurs, car les amphibiens occupent une place clé dans l'écosystème terrestres et aquatiques **(Hutchins et al., 2003)**.

L'étude de **(Sodhi et al., 2008)** a montré que les amphibiens ; 1) qui perdent leur habitat, 2) qui ne disposent que d'une étroite aire de distribution 3), qui vivent la où la saisonnalité des températures et des précipitations est de plus en plus marquée, sont les plus susceptibles de figurer dans la liste rouge de l'UICN. De ce fait, ils doivent donc faire l'objet d'un plan de sauvegarde en urgence, encore, faut-il connaitre leur écologie et comprendre les mécanismes qui régissent leurs interactions avec l'écosystème pour songer à les sauvegarder efficacement.

La connaissance de l'écologie et du statut des amphibiens d'Algérie est limitée, tandis que leurs milieux naturels subissent une pression anthropique qui s'intensifie sous l'effet du changement climatique **(Samraoui et al., 2012).** De plus, ils font rarement l'objet de recherches dû au peu d'intérêt qu'ils suscitent chez les chercheurs et à la grande superficie du territoire algérien qui les découragent **(Rouag & Benyacoub, 2006)**.

Les facteurs environnementaux ont des actions multiples sur la physiologie et le comportement des animaux. Ils jouent un rôle capital dans la distribution et la vie des espèces, car leur variation au-delà des limites de tolérances des espèces réduit fortement leurs effectifs ou les font complètement disparaitre **(Dajoz, 2006)**.

A l'échelle locale (< 1 km), la distribution d'une espèce résulte de son adéquation avec les conditions environnementales locales physiques, chimiques et biologiques. À l'échelle régionale et globale (> 1 km), les patrons de distribution des espèces sont également le résultat de l'histoire des clades et de la paléogéographie tous deux objets de la paléo-biogéographie et de la macroécologie **(Pierrat, 2011)**.

Selon **(Brown, 1995)**, la macroécologie est la science qui étudie les relations entre les organismes et leurs environnements à large échelle spatiale et/ou temporelle en caractérisant et en expliquant statistiquement les patrons d'abondance, de diversité et de distribution des espèces.

Dans ce travail de recherche, nous nous sommes intéressés à la macroécologie des deux espèces d'amphibiens urodèles en Kabylie, à savoir la Salamandre algire *Salamandra algira algira* (Bedriaga, 1883) et le Pleurodèle d'Algérie *Pleurodeles nebulosus* (Guichenot, 1850). Notre choix de la zone d'étude s'est porté sur la région de la Kabylie du fait de son appartenance au complexe de biodiversité (hot spot) "Kabylies–Numidie–Kroumirie" et elle est considérée parmi les secteurs les plus remarquables pour son endémisme. De plus, la Kabylie abrite la population la plus importante de la Salamandre algire d'après sa carte de distribution mondiale établie par **(Escoriza, Comas, Donaire, & Carranza, 2006).** En fin, un autre aspect très important sur le plan scientifique et justifiant l'opportunité d'entreprendre cette étude est qu'actuellement les données sur l'écologie, la coloration, la reproduction et les caractères morphométriques manquent crucialement sur ces deux amphibiens, particulièrement en Algérie, d'où le grand vide de connaissances qui reste à combler et tant attendu par la communauté de scientifiques s'intéressant à l'herpétofaune méditerranéenne en général **(Donaire-Brroso & Bogaerts, 2003; Escoriza et al., 2006).** Dans ce sens, la présente étude vient donc apporter les premières données sur l'écologie, la reproduction et la distribution réelle et potentielle des deux espèces.

L'approche méthodologique adoptée dans ce travail s'est basée sur des échantillonnages sur le terrain (étude des espèces dans leur milieu naturel) et un élevage expérimental au laboratoire (étude des espèces en captivité). Cette approche expérimentale couplée à une technique de modélisation de la niche écologique, très utilisée par les écologistes, constitue une première expérience qui, à notre connaissance, n'a pas encore été tenté en Algérie. Les objectifs visés dans la présente étude de ces deux espèces en Kabylie sont ;

- ✓ de caractériser leurs habitats préférentiels,
- ✓ de déterminer leur phénologie de reproduction (saisons de reproduction) et de caractériser leurs stades de développement dans un premier temps puis avec l'outil statistique,
- ✓ de déterminer et expliquer leurs patrons de distributions respectifs à une large échelle,
- ✓ de mettre en évidence l'étendue de leur distribution potentielle, pouvant ultérieurement orienter les échantillonnages de terrain.

Ainsi, le contenu développé dans ce mémoire est organisé en deux parties importantes ;

- ✓ La première partie, portant sur une synthèse bibliographique, répartie sur deux chapitres dont le premier porte sur une revue des connaissances acquises sur les amphibiens en Algérie et le deuxième sur le principe de modélisation de la niche écologique d'une espèce,
- ✓ La deuxième partie, porte sur le travail pratique réalisé, répartie également en deux chapitres dont le premier expose la méthodologie employée (matériel et méthodes) et le deuxième expose les résultats obtenus et leur discussion.

Chapitre 1

Chapitre I : Synthèse des connaissances sur les amphibiens en Algérie

1. Généralités sur l'herpétofaune

1.1. Définition de l'herpétologie

L'herpétologie est la science qui étudie les amphibiens et les reptiles *Herps* est le nom donné aux grands groupes d'amphibiens et de reptiles. Ils sont étroitement connexes et ont des caractéristiques communes. L'herpétologie est la branche de l'histoire zoologique naturelle qui traite des reptiles et d'amphibiens. Elle aborde leur classification, leur écologie, leur comportement, leur physiologie, leur anatomie ainsi que les espèces fossiles **(Lescure, 2002)**.

On appelle herpétologue ou herpétologiste les spécialistes de cette matière. Le premier terme est plus ancien, et le second, plus récent, est utilisé quasi-systématiquement désormais.

1.2. L'importance de la faune des amphibiens dans le monde

Suivant la base de données mondiale de l'UICN, dans sa synthèse datant de 2008 (dernière version disponible), donne une richesse de 6260 espèces d'amphibiens parmi lesquelles 32 % (1856 espèces) sont reconnues comme menacées d'extinction, 43 % (2469 espèces) en déclin et 25 % (1935 espèces) avec un statut de conservation non déterminé pour manque de données. D'autres sources bibliographiques plus récentes telles que la base de données (*Amphibiaweb.org)* annonce une richesse totale de 7292 amphibiens recensés à travers le monde et actualisée au 30 mai 2014.

La diversité amphibienne la plus élevée est notée dans les tropiques et le Brésil constitue le pays le plus riche avec 932 espèces décrites. Le bassin méditerranéen abrite moins d'espèces mais il est catalogué comme une zone de haute biodiversité (*hotspot*) en raison de ces niveaux élevés de plantes, reptiles, amphibiens et poissons d'eau douce endémiques **(Cox et al., 2006)**Suivant ces auteurs, on n'en dénombre dans l'ensemble du bassin, un total de 106 espèces d'amphibiens dont 68 (64 %) sont endémiques. Parmi les 106 espèces, on compte 64 Anoures (le taxon des *Anura* : grenouilles, crapauds et rainettes) et 42 Urodèles (le taxon des Caudata ; tritons et salamandres). Parmi les 42 Urodèles, la famille des Salamandridés domine avec 34 espèces.

La distribution géographique de la richesse spécifique amphibienne suivant les pays du bassin méditerranéen, fait ressortir une richesse plus élevée en Italie (37 espèces), suivi par la

France (35 espèces) et l'Espagne (33 espèces) **(Cox et al., 2006).** Ces auteurs reconnaissent pour l'Algérie un total de 12 espèces natives et aucune n'est considérée comme éteinte, introduite ou réintroduite.

2. L'herpétofaune en Algérie

2.1. Historique des recherches herpétologiques

Avec ses 2 381 741 km² de superficie du territoire national, ses différentes régions bioclimatiques, écologiques, géomorphologiques (zones côtières et montagneuse de l'Atlas tellien, hautes plaines steppiques, montagnes de l'Atlas saharien, grandes formations sableuses dunaires et d'ergs, grands plateaux sahariens, massifs montagneux du Sahara central), ainsi que sa position biogéographique privilégiée entre la Méditerranée et l'Afrique subsaharienne, font que l'Algérie est l'un des pays les plus riches en terme de biodiversité floristique et faunistique.

L'herpétofaune algérienne demeure très peu connue à ce jour, malgré le début des recherches depuis le 19ème siècle. Les premières investigations herpétologiques ont commencé avec les premières notes publiées par **(Gervais, 1836)** sur les vertébrés en Algérie, en particulier les reptiles. Les premières synthèses sur l'herpétofaune du pays ont été l'œuvre de (**Strauch, 1862)**, **(Lallemant, 1867)** et **(Olivier, 1894)**, signant ainsi la naissance de l'herpétologie algérienne. Durant la dernière décade du même siècle, d'autres synthèses ont été effectuées par **(Boulenger, 1891)** et **(Anderson, 1892)** en publiant un catalogue concernant les Reptiles et les Amphibiens de toute l'Afrique du nord (la Barbarie ou la Berbérie des auteurs de l'époque) et incluant l'Algérie. Un peu plus tard, paraissait le travail de **(Doumergue, 1901)** sur les Reptiles de l'Oranie, qui reste une référence en la matière pour beaucoup d'espèces, et dans lequel figurent des notions de détermination de tous les reptiles et batraciens de l'Algérie ainsi que du Maroc et de la Tunisie.

Depuis, les recherches herpétologiques ont stagné jusqu'au début de la deuxième moitié du 19ème siècle. La reprise a été marquée par **(Bellairs & Shut, 1954)** en publiant des notes sur le peuplement herpétologique d'une plage algérienne, près de Tichy (Est de Béjaia). Ce travail constitue à notre connaissance la première recherche consacrée à l'herpétofaune en Kabylie. Peu après, **(Domergue, 1959)** publia une liste de reptiles et d'amphibiens du Maroc, d'Algérie et de Tunisie, suivi par **(Gauthier, 1967)** avec des notes sur l'écologie et l'éthologie des reptiles du Sahara Nord-occidental (région de Beni-Abbès), puis par **(Sura, 1983)** avec les résultats d'une

collecte d'amphibiens et reptiles effectuée en Algérie et (Le Berre, 1989) sur les amphibiens, reptiles et poissons du Sahara.

La dernière décennie du 20ème siècle constitue une période très importante pour l'herpétologie algérienne du fait, d'une part, de la publication de nombreux travaux mieux documentés et actualisés sur l'herpétofaune en Algérie et, d'autre part, par l'apparition des premiers herpétologistes algériens à l'image de Djirar N. et Rouag R. De toutes les références apparues, il y a celle de **(Djirar, 1995)** sur les reptiles du pays sous forme d'une liste de 69 espèces avec une clé préliminaire de leur détermination et celui de **(Salvador, 1996)** sur les amphibiens du nord-ouest de l'Afrique de l'ouest, comportant la liste des espèces avec leur carte de distribution géographique.

Par ailleurs, l'ouvrage de **(Schleich et al., 1996)** de 630 pages traitant de l'herpétofaune de toute l'Afrique du nord (Maroc, Algérie, Tunisie et Lybie) demeure jusqu'à présent la référence la plus complète et la mieux documentée pour l'herpétologie algérienne contemporaine, en fournissant une liste plus riche d'espèces d'amphibiens et reptiles pour chaque pays avec des données d'ordre faunistiques, biogéographiques et écologiques pour chaque espèce. En fin, une synthèse plus récente sur l'herpétofaune de l'ensemble des pays du bassin méditerranéen et compilée par **(Cox et al., 2006)** pour le compte de l'UICN (Union International pour la Conservation de la Nature) a contribué à actualiser la liste des espèces en tenant compte de tous les remaniements taxonomiques démontrées par les recherches moléculaires

A une échelle locale, quelques travaux ont pu fournir des données faunistiques biogéographiques ou écologiques sur les reptiles dans le massif des Aurès **(Chirio, 1995)**, sur les amphibiens et reptiles dans le Parc national d'El Kala **(Benyakoub & Rouag, 1996),** de Belezma **(Zeraib, 2007)**, dans la région de Kabylie de la Soummam **(Dahmana et al., 2006)**, du Djurdjura et des Babors **(Djirar, 2007)**, dans la région de Tiaret **(Dahmani, 2007)**, de Chréâ, Reghaia et Edough **(Belguebli & Mouzaoui, 2009)** ainsi que dans l'Erg oriental (Souf, Taibet, Touggourt) **(Mouane, 2010)**.

Malgré ce nombre appréciable d'études réalisées localement, les résultats publiés à ce jour restent fragmentaires du fait que beaucoup de régions, de localités et de types d'écosystèmes du pays restent encore peu ou pas du tout explorés, contrairement à beaucoup d'autres pays

méditerranéens et du Maghreb en particulier. Le Maroc est déjà doté de son premier Atlas des reptiles et des amphibiens **(Bons & Geniez 1996)**. Ce retard est dû d'une part à l'importante superficie de notre pays qui décourage les chercheurs, tant algériens qu'étrangers, et d'autre part, au faible intérêt que portent nos chercheurs à ce type de recherche et à ces taxons, malgré l'intérêt qu'il présente pour l'Homme, particulièrement dans le domaine pharmaceutique et médical.

2.2. La faune amphibienne en Algérie

La composition taxonomique de la classe des amphibiens du pays a subi beaucoup de changements à travers le temps. La synthèse la plus récente sur l'herpétofaune d'Algérie étant celle fournie par **(Cox et al., 2006)**. Cette synthèse, qui a tenu compte des derniers remaniements taxonomiques démontrées par les recherches moléculaires, signale pour l'Algérie une liste de 12 espèces d'amphibiens (Tableau : 1.1).

Néanmoins, Matéo et al, 2014 qui viennent de publier une nouvelle synthèse des connaissances sur l'ensemble de la faune d'amphibiens observée dans le pays, ont rajouté deux nouvelles espèces pour l'Algérie, ce qui porte la richesse spécifique totale à 14 espèces. Ces auteurs ont également suggéré une nouvelle nomenclature des familles, des genres et des espèces (Tableau : 1.2).

Les deux nouvelles espèces rajoutées sont *Alytes maurus* et *Barbarophryne brongersmai*, toutes réputées auparavant come endémique au Maroc **(Bons et Geniez, 1996)** mais de petites populations sont signalées dans l'Oranie (monts de Tlemcen). La présence de certaines des espèces signalées par Matéo, 2014 telles que *Alytes maurus*, *Discoglossus scovazii* et *Hoplobatrachus occipitalis* est ponctuelle.

Tableau : 1.1 : Composition taxonomique de la faune des amphibiens en Algérie (suivant la classification adoptée par **Schleich et al. (1996)**, **Bons & Geniez (1996)** et **Cox et al. (2006).**

Ordre	**Famille**	**Genre et espèce**	
		Nom scientifique	**Nom français**
CAUDATA (Urodèles)	Salamandridae (Salamandres et Pleurodèles)	*Salamandra algira* **Bedriaga, 1883**	Salamandre algire
		Pleurodeles poireti **Gervais, 1835**	Triton de Poiret
		Pleurodeles nebulosus **Guichenot, 1850**	Triton d'Algérie
ANURA (Anoures) .	Ranidae (Grenouilles)	*Rana saharica* **Boulenger, 1913**	Grenouille verte d'Afrique du nord
		Hoplobatrachus occipitalis **Günther, 1858**	Grenouille tigrée africaine
	Discoglossidae (Discoglosses)	*Discoglossus pictus* **Otth, 1837**	Discoglosse peint
		Discoglossus scovazii **Camerano, 1878**	Discoglosse peint
	Bufonidae (Crapauds)	*Bufo bufo* **Lannaeus, 1758**	Crapaud commun
		Bufo mauritanicus **Schlegel, 1841**	Crapaud de Muarétanie
		Bufo viridis **Laurenti, 1768**	Crapaud vert
		Bufo xerox **Tandy, Keith & Duff McKay, 1976**	Crapaud panthérin
	Hylidae (Rainettes)	*Hyla meridionalis* **Boettger, 1874**	Rainette méridionale
Total : 2 ordres	**5 familles**	**7 Genres**	**12 espèces**

Tableau : 1.2 : Composition taxonomique de la faune d'amphibiens d'Algérie **(Matéo et al., 2014)**

Famille	**Genre et espèce**
Salamandridae	*Salamandra algira*
	Pleurodeles poireti
	Pleurodeles nebulosus
Ranidae	*Pelophylax saharicus*
Alytidae	*Discoglossus pictus*
	Discoglossus scovazii
	Alytes maurus
Bufonidae	*Amietophrynus mauritanicus*
	Amietophrynus xerox
	Bufotes boulengeri
	Barbarophryne brongersmai
	Bufo bufo
Hylidae	*Hyla meridionalis*
Dicroglossidae	*Hoplobatrachus occipitalis*
6 familles	**11 Genres et 14 espèces**

3. Les Salamandridés (amphibiens urodèles)

3.1. *Salamandra algira algira*

3.1.1. Historique et nomenclature :

Le genre S*alamandra* Laurenti, 1768 est rencontré dans le paléarctique ouest où il s'étend de la péninsule ibérique et l'Afrique du nord jusqu'à l'Asie mineure avec de nombreuses espèces décrites au niveau du bassin méditerranéen **(Steinfartz et al., 2000)**. *Salamandra* est arrivé en Afrique vraisemblablement via le détroit du GIBRALTAR pendant la crise de salinité messénienne **(Beukema et al., 2010)**. Sa distribution est non homogène en Afrique du nord où elle est confinée aux forêts humides et subhumides d'Algérie et du Maroc et reste absente en Tunisie **(Donaire-Brroso & Bogaerts, 2003)**.

Bons (1972) fut le premier à proposer un statut pour *salamandra algira* en se basant sur des caractères morphologiques et comportementaux **(Donaire-Brroso & Bogaerts, 2003).** *Salamandra algira* (Bedriaga, 1883) occupe l'Afrique du nord sous Forme de populations isolées qui présentent de nombreuses divergences génétiques **(Steinfartz et al., 2000; Escoriza et al., 2006; Schleich et al., 1996; Donaire-Brroso & Bogaerts, 2003)** .

Au Maroc le premier à signaler la présence du genre *Salamandra* fut Boulenger ,1889 on se basant sur du matériel collecté par Henry Vaucher près de Tanger **(Beukema et al., 2013)**. De récentes publications ont apporté plus de données sur la distribution, le comportement et la reproduction ce qui a conduit à des révisions taxonomiques sur la base des caractères génétiques et morphologiques **(Bogaerts et al., 2007)**. Actuellement trois sous espèces sont définies au Maroc: *Salamandra algira tingitana* au nord **(Donaire-Brroso & Bogaerts, 2003)**. *Salamandra algira spelaea au niveau* de l'Atlas (dans le massif de Beni Snassen) **(Escoriza et al., 2006)** et *Salamandra algira splendens* dans l'extrême ouest marocain près des frontières avec l'Algérie **(Beukema et al., 2013)**. De ces révisions il en résulte que la salamandre présente en Algérie est classée comme sous espèce et considérée de ce fait comme étant *Salamandra algira algira* **(Donaire-Brroso & Bogaerts, 2003).**

En Algérie *Salamandra algira* reste très peu étudiée elle est définie comme étant présente sur les régions du nord (Annaba, Kabylie, le massif Blidéen et en Oranie) **(Doumergue , 1901)**.

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

3.1.2. Classification et description :

a) Classification :

Salamandra algira Bedriaga, 1883 appartient au genre *Salamandra*, famille des *Salamandridae,* ordre des *Urodèles*, classe des *Amphibiens.* Des analyses moléculaires ont montré que *Salamandra algira* est d'origine eurasienne et qu'elle a migré vers l'Afrique du nord il y a 5 millions d'années, ce qui correspond à la fin de la crise de salinité messénienne **(Duggen *et al* 2003)**, et cela à travers le détroit qui connectait la péninsule ibérique avec le Maroc pendant 600,000 ans (5,9-5,3 Ma). Après les descriptions élémentaires de Bedriaga en 1883 basées sur des individus provenant du nord est Algérien, les données sur *Salamandra algira* sont restées rares pendant presque un siècle, vers la fin du vingtième et début du vingt unième siècle et avec l'avènement des moyens technologiques de très nombreux travaux portant sur les amphibiens surtout du Maroc ont vu le jour **(Beukema et al., 2013)**. Ces travaux ont permis la reclassification taxonomique des populations marocaines mais celles d'Algérie restent sous l'appellation de *Salamandra algira algira.* La Figure.1.1, montre les relations phylogéniques entre les sous-espèces du genre *Salamandra*. L'arbre phylogénique est calibré avec l'espèce *Lyciasalamandra atifi* du Turquie.

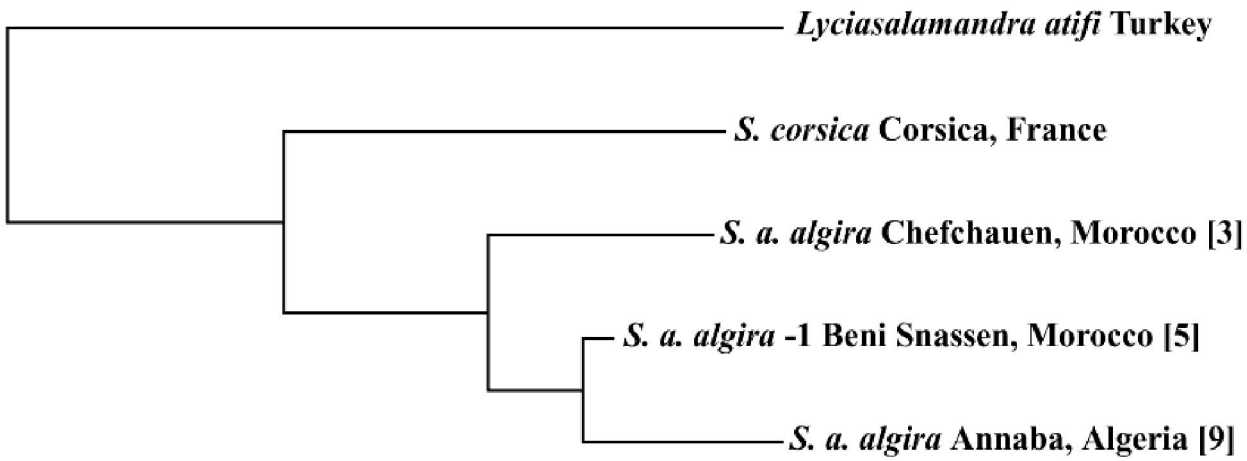


Figure.1.1 : Relations phylogénétiques entres les sous espèces du genre *Salamandra*

b) Description :

Salamandra algira Bedriaga, 1883 est généralement plus svelte et plus fine que sa cousine *Salamandra salamandra* Linnaeus, 1758 d'Europe, elle se caractérise par un corps plus fin et une queue relativement plus longue, elle fait en moyennes 20-23 cm de long à l'Age adulte, ses pattes antérieures sont plus longues et ses orteils sont plus plats. Contrairement à *Salamandra salamandra, Salamandra algira* (Figure.1.2) possède un motif de coloration en jaune et noir entaché parfois de rouge sur la face dorsale et pas de coloration jaune sur la face ventrale, dans des

Figure.1.2 : Juvénile de *Salamandra algira algira*

cas rares on trouve même des salamandres entièrement noires **(Schleich et al., 1996; Donaire-Brroso & Bogaerts, 2003)**.

Comme toutes les espèces du genre *Salamandra*, elle se déplace lentement, d'une démarche pataude et a la particularité de pouvoir régénérer des parties perdues ou blessées de son corps très rapidement et de se défendre par la sécrétion d'une neurotoxine (le samandarin). La neurotoxine est secrétée par les très surprenantes glandes parotoïdes (ou parotides) situées juste derrière les yeux, qui sont par exemple absentes chez les tritons. Pour la protection contre les ennemis, les glandes parotoïdes ainsi que des rangées de glandes dorsales peuvent excréter une sécrétion empoisonnée. Soumise à un stress important, une salamandre est même en mesure de décharger le poison jusqu'à un mètre de distance **(Vences et al., 2014)**. À l'instar d'autres espèces d'amphibiens, certains facteurs écologiques prédominants peuvent affecter l'intensité de la coloration des salamandres. Les salamandres apparaissent souvent colorées d'un jaune plus intense. Sur un sous-sol foncé la coloration a une teinte plus sombre. Sous l'influence d'une sècheresse et de la chaleur, les couleurs du corps se ternissent, et lors d'une plus longue exposition à ces deux facteurs toute la surface de la peau apparait fragile et plissée. Ces modifications extérieures reflètent en même temps sûrement la mauvaise condition générale de l'animal, puisque toute la surface de la peau remplit un rôle respiratoire chez les salamandres adultes, ne fonctionnant de façon optimale que dans un environnement humide. En soulevant et en abaissant le fond de la bouche, la salamandre peut respectivement inspirer et expirer, tout en coordonnant simultanément la fermeture et (respectivement) l'ouverture des narines. C'est le principe respiratoire de la pompe refoulante, commun chez les batraciens et les poissons à poumon **(Roux, 2002).**

3.1.3. Reproduction :

Le mode d'accouplement est similaire à celui des salamandres d'Europe centrale, qui adopte un comportement nuptial où le mâle se glisse sous la femelle et l'entoure avec ses pattes avant. La femelle absorbe avec son cloaque un petit emballage de sperme, dénommé spermatophore, déposé sur le sol par le cloaque du mâle. Après l'accouplement, la femelle porte les embryons pendant environ huit à neuf mois (on parle de développement intra-utérin). Durant cette phase de développement, les larves sont entourées par des membranes contenant un liquide très fortement concentré en urée. On suppose que cette très forte concentration d'urée contribue à augmenter la vitesse de développement des larves dans la femelle. Pour la naissance des larves, la

femelle se rend dans l'eau et dépose la nouvelle génération dans un endroit approprié des berges ; cela se passe essentiellement la nuit. Selon l'âge, la taille corporelle et les conditions d'alimentation de la femelle, des portées de seulement quelques salamandres jusqu'à 70 individus sont ainsi mis au monde, avec une moyenne de 30 larves. Ce nombre est très faible en comparaison de certains amphibiens (les grenouilles en pondent des milliers) mais comme les embryons se développent dans le corps de leur mère, les larves (Figure.1.3) résultantes sont mieux formées et ont un meilleur taux de survie). Les membranes éclatent au moment du dépôt des larves dans l'eau. C'est ainsi que la salamandre tachetée met bas : on parle d'ovoviviparité ou larviparité. Après un accouplement réussi, la femelle garde en elle la semence du mâle durant plusieurs années. Cette stratégie de reproduction permet à la salamandre de donner de nouvelles générations sur de longues périodes sans forcément avoir de partenaire sexuel **(Beukema et al., 2013).**

Figure.1.3 : Larve de *S.algira.algira*

Chez *Salamandra algira* le mode de reproduction est ovovivipare, sauf pour la sous espèce *Salamandra algira tingitana* qui est vivipare, elle donne naissance à des individus entièrement formés (Figure.1.4) **(Donaire-Brroso & Bogaerts, 2003; Beukema et al., 2013)**.

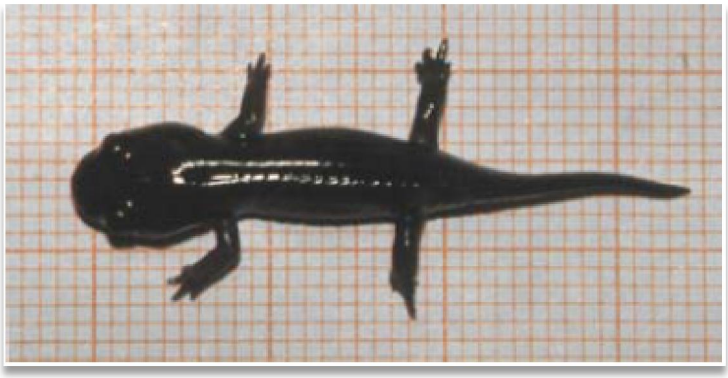


Figure.1.4 : Juvénile de *S.algira tingitana* **(Donaire-Brroso & Bogaerts, 2003)**

3.1.4. Habitat et répartition :

La répartition de *Salamandra algira* est tributaires des régions à fortes précipitations ainsi elle est dispatchée sur le nord-ouest africain (Algérie et Maroc) avec une présence au nord du Maroc (les montagnes du Rif, l'Atlas et la région frontalière avec l'Algérie), en Algérie on la trouve sous forme de populations fragmentées au niveau des chaines montagneuses du nord, la distribution de cette espèce suit les étages bioclimatiques humides et subhumides où elle trouve les conditions favorable pour sa survie **(Escoriza et al., 2006)**.

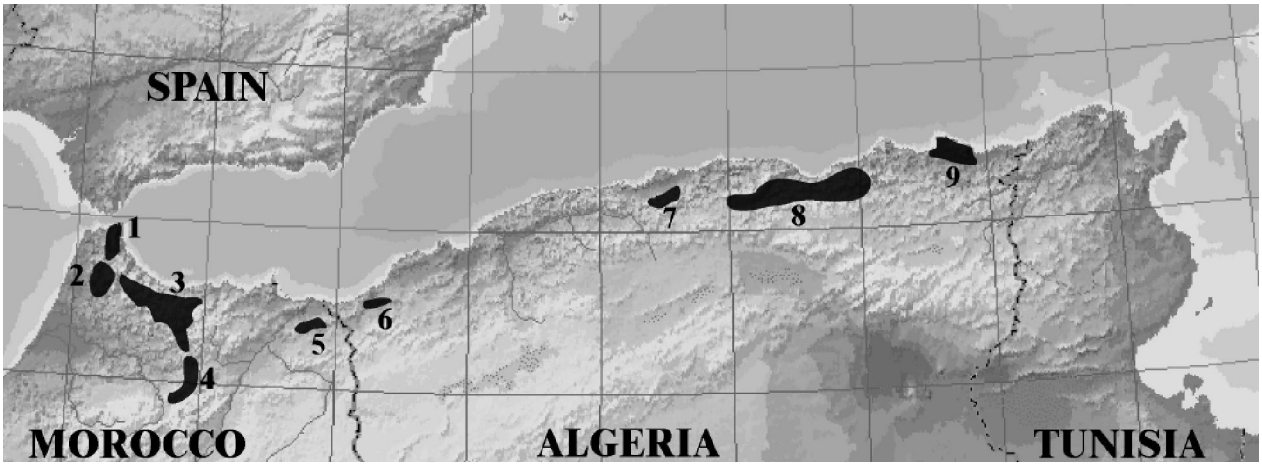


Figure.1.5 : carte de distribution de *Salamandra algira* en Afrique du nord 1. District Tingitana (Nord de Jebala), *S. a. tingitana*; 2. Ouest des montagnes du Rif, *S. a. algira*; 3. Centre des montagnes du Rif, *S. a. algira*; 4. Moyen Atlas, *S. a. algira*; 5. Massif du Beni Snassen *S. a. algira*; 6. Rarh el Maden, *S. a. algira*; 7. Atlas Blidien, *S. a. algira*; 8. Grande et petite Kabylie, *S. a. algira*; 9. Péninsule Edough, of *S. a. algira.* **(Escoriza et al., 2006)**

L'habitat terrestre de *Salamandr*a *algira* varie selon sa distribution, elle est généralement associée aux différentes forêts humides de montagnes (cédraie, chênaie) où elle est rencontrée sous les cailloux et les racines des arbres (cèdre et chêne) au Maroc elle est surtout rencontrée dans les formations rocheuses et calcaires qui laissent apparaitre des crevasses et des cachettes idéales pour l'hibernation/estivation **(Bogaerts et al., 2007).**

Les larves de la salamandre algire sont rencontrées dans les biotopes aquatiques, incluant toute sorte de plans d'eau, citernes, abreuvoirs, sources sauvages et artificielles, bassins de sources et mares selon un gradient altitudinal allant de 80 m à 2450 m **(Escoriza et al., 2006)**.

3.1.5. Statut de conservation :

Salamandra algira est classée espèce vulnérable sur la liste rouge de l'IUCN **(Donaire-Barroso et al., 2006)**, elle est représentée par des populations fragmentées en Algérie et au Maroc, toutes les sous espèces ont le même statut à savoir vulnérable. Escoriza et Comas (2007) ont proposé d'élever la sous espèce *S.algira spelaea* au statut EN DANGER vu son aire de répartition très réduite et son aire d'extension qui continue de rétrécir.

L'aire de répartition de l'espèce *Salamandra algira* est réduite ce qui nécessite une révision urgente de son statut, pour cela des travaux sur les populations d'Algérie doivent se faire en vue de réaliser une étude exhaustive au niveau nord-africain qui permettra sans doute de mieux connaitre sa distribution et les mesures prioritaires à prendre pour sa conservation.

3.2. *Pleurodeles nebulosus*

3.2.1. Historique et Nomenclature

Le premier à mentionner la présence du Pleurodèle poireti en Afrique du nord fut Poiret 1789 dans son « Voyage en Barbarie », il a donné pendant ses travaux une brève description de l'espèce sous le nom de *Lacerta palustris*. Gervais, 1835 analyse du matériel de Lacerta palustris provenant de Oran, Bône et Alger et reconnait que ça représente une nouvelle espèce différente de *Lacerta palustris* de Linné 1758, qu''il nomma *Triton poireti* (=*Pleurodele poireti*). Néanmoins

Gervais a déjà relevé les ressemblances entre le *Pleurodèle waltl* Ibéro-Marocain et le *Triton poireti* dans la forme de la tête et la queue et décide de le relié à ce dernier **(Ben Hassine et al., 2012)**.

Bonaparte en 1839 relie le *Triton* poireti au genre *Glossoliga*. Plus tard Guichenot 1850 le relie au *Euproctus rusconii* Sardinien Gené, 1838 (=*Euproctus platycephalus*; Gravenhorst 1829). Dans le même sens en 1850 Guichenot décrit une nouvelle espèce, *Triton nebulosus =Pleurodeles nebulosus* (consiste en une femelle collectée par Guichenot lui-même à Alger et déposée au Museum National d'Histoire Naturelle de Paris) qui diffère du *Triton poireti* dans :

- ✓ Sa queue plus longue,
- ✓ La forme de la tête plus aplatie et plus large et une plus grande bouche plus fermée et des protubérances moins nombreuses, qui paraissent très proches ensemble.

Gray en 1850 avait placé le pleurodèle Algéro-Tunisien dans le genre *triton* (*Triton poireti*) et pris le T*riton nebulosus* comme étant un synonyme du T*riton poireti*, pour l'*Euproctus rusconii* il l'a considéré comme étant endémique à la Sardaigne et pris pour l'*Euproctus platycéphalus*.

Gervais 1853 reconnait que *Triton poireti* et différent de l'*Euproctus rusconii* et soutient Bonaparte, 1893 dans sa proposition du genre *Glossoliga.* Dumeril et Bibron, 1854 considèrent que *triton nebulosus* et *Euproctus rusconii* sont des synonymes du triton poireti et ont opté pour le genre *Euproctus* (*Euproctus poireti*).

Lataste, 1881 a trouvé des différences au sein des populations de de *Glossoliga poireti* par conséquent il a décrit une nouvelle espèce de la région de Bône à Annaba qu'il dénomma *GLossoliga Hagenmulleri* en reconnaissance au docteur Hagenmuller qui a récolté tous les 32 spécimens qui ont servis dans l'étude, mais la révision de Lataste s'est opposée au fait que Gervais, 1835 a utilisé des spécimens de trois régions dont Bône, donc le quel prendre pour étant représentatif du *Triton poireti* ?. Pour cela Lataste décida de prendre la région d'Alger comme région-type en se basant sur des différences au niveau de la forme du crane mais qui reste peu précises pour être prises au sérieux. De plus la région de Bône semble être la seule région où le *Triton poireti* est encore vivant **(Thireau, 1986)** donc mieux convenable pour être la région typique du *Triton poireti* **(Carranza & Arnold, 2004)**.

Lataste en 1881 a utilisé des spécimens provenant du mont de l'Edough et a pu situer les différences morphologiques entre G*lossoliga hagenmulleri* et G*lossoliga poireti* qui sont surtout la taille et la forme de la tête, de la coloration et la forme des dents palatines qui ont la forme V pour la première espèce et la forme U pour la deuxième **(Ben Hassine et al., 2012)**.

Boulenger, 1882 a corroboré les différences morphologiques signalées par Lataste, et les plaça dans le genre *Molge* (*Molge poireti* et *Molge hagenmulleri*). Plus tard plusieurs auteurs ont traité la question Camerano, 1885 et l'ont réassigné au genre *Triton* Camerano, 1885, puis le genre *Pleurodele* et encore *Poireti* **(Crranza & Arnold, 2004)**.

Dans sa révision des travaux de Lataste 1881, Pasteur 1958 a regroupé les deux espèce ; *Pleurodèle poireti* Gervais, 1835 et *Pleurodele hagenmulleri* Lataste, 1881 en un seul taxon et cela après avoir analysé les spécimens utilisés par Lataste dans sa description, incluant plus de caractères morphologiques et morphométriques en relation avec la forme des dents voméro-palatines, la courbure de la mandibule, la taille, la finesse des doigts, les proportions de la queue, le pli gulaire Lataste,1881 ; Boulanger, 1882 ; Doumergue, 1901 et il n'a pas pu trouver des différences concluantes par conséquent il ne reconnaitra qu'une seule espèce de pleurodèle pour les populations Algéro-Tunisienne. En 2004 avec les travaux de (**Carranza & Wade, 2004**) qui, sur la base d'analyses moléculaires et morphologiques ont pu déterminer deux espèces bien distinctes : Le *Pleurodele poireti* Gervais 1835 qui ne concerne que les populations de la péninsule de l'Edough à Annaba au nord Est algérien, et le *Pleurodeles nebulosus* (Guichenot 1850) pour les autres populations algéro-tunisiennes **(Carranza & Arnold, 2004; Ben Hassine et al., 2012)**.

En 2004 Carranza a indiqué que le genre *pleurodeles* a atterri en Afrique du nord probablement pendant la crise de salinité messénienne (5,6-5,3 millions d'années), pendant le contact entre les deux continents africain et européen (Figure.1.6). Il est suggéré que le genre *pleurodeles* Michaelles, 1830 s'est séparé de son taxon cousin *Tylototriton* Anderson, 1871 d'origine eurasienne il y a 8,6-10 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 actuellement une ile fossile suite à la crise de salinité messénienne **(Suc et al., 1994)** il y a environ 4,2 Ma.

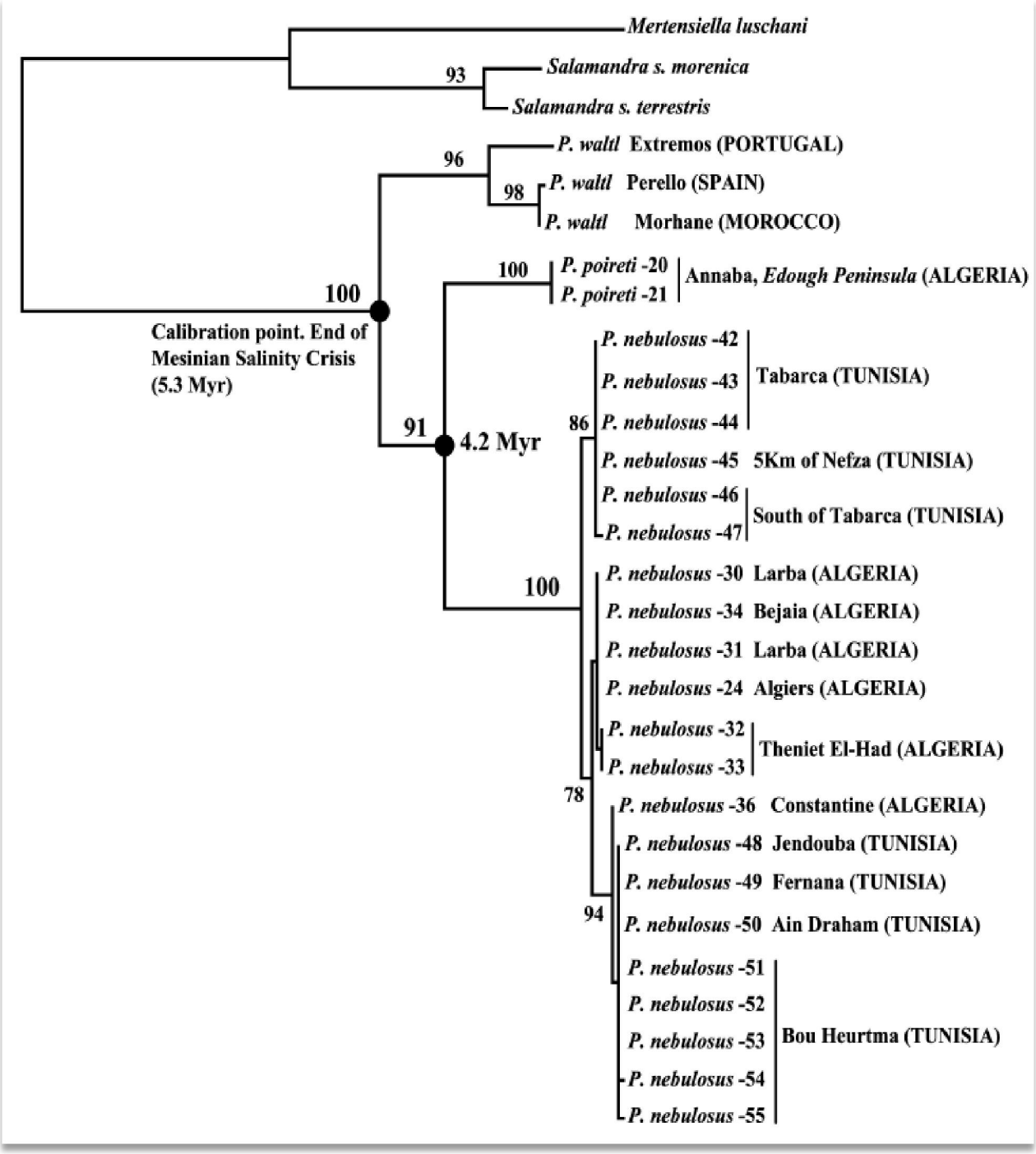


Figure.1.6 : Relations phylogénétiques entre espèces du genre *Pleurodeles*

3.2.2. Classification et description

a) Classification

Le *Pleurodeles nebulosus* Guichenot 1850, appartient à l'ordre des urodèles Dumeril 1806, famille des salamandridés Goldfuss 1820, classe des amphibiens Linnaeus 1758. Il se différencie de *Pleurodeles poireti* Gervais 1835, par plusieurs caractères morphologiques et morphométriques distinctifs qui sont :

- ✓ la forme de la rangée des dents voméro-palatines (Figure.1.7) : clairement en forme de V pour les individus en provenance de la péninsule d'Edough et en forme de U pour les autres populations.

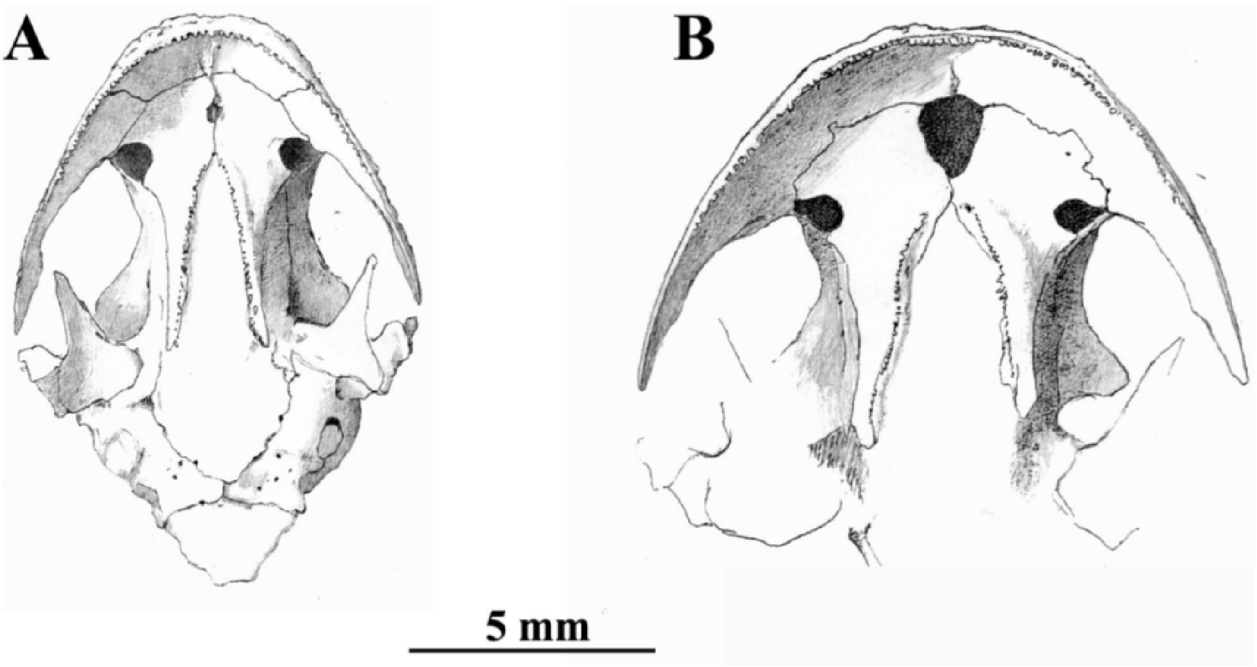


Figure.1.7 : L'aspect ventral du squelette d'adultes de A. –*P. poireti,* et de B. –*P. nebulosus* **(Ben Hassine & Nouira, 2010)**

- ✓ d'une taille moyenne plus petite pour le *Pleurodeles poireti* par rapport *Pleurodeles nebulosus.*
- ✓ d'une nette différence dans la forme générale du crâne, du museau et de la découpe des mâchoires (semi-elliptiques pour *P. poireti* et semi-circulaires pour *P. nebulosus*).

Les deux espèces de pleurodèles présentes en Algérie à savoir le *P. nebulosus* et le *P. poireti* se différencient du *Pleurodeles waltl* Michaelles 1850 par leurs tailles plus petites et leurs

14 vertèbres présacrées au lieu de 15 comme c'est le cas chez le *P.waltl* **(Carranza & Arnold 2004, Ben Hassine *et al* 2012)**.

b) Description

Les adultes du *Pleuroeles* nebulosus (Figure.1.8) ont un corps légèrement aplati avec des cotes qui ne transpercent pas la peau. Tête fortement déprimée, a museau court et arrondi. Peau très granuleuse. Parties supérieures du corps et des membres vert militaire avec des taches foncées irrégulières noirâtres, plu au moins denses. Flancs et parties inférieures vert jaunâtre. Taches plus espacées sur les flancs. Parties inférieure avec ou sans taches.

Figure.1.8: *Pleurodeles nebulosus*

Queue fortement comprimée latéralement, plus longue que le reste du corps chez les mâles adultes, aussi longue ou un peu moins chez les femelles et les jeunes. Bord supérieur de la queue de même couleur que la partie supérieure du corps avec des taches denses. Bord inférieur vert jaunâtre pale avec des taches plus petites et moins denses. Extrémité caudale à pointe arrondie. Brosses copulatrices du male développées sur la face interne du membre antérieur. Mamelon

cloacal chez les deux sexes plat, peu protubérant à fente longitudinale. Dents voméro-paltines en deux séries parallèles ou obliques, souvent en forme de U, recourbées en leurs parties antérieures pour se rapprocher l'une de l'autre ou se joindre. Larves développée pourvue de crête dorso-caudale s'étendant jusqu'au niveau des membres antérieurs et a branchies très longues dépassant ces derniers. Aucun caractère ne permet de distinguer entre les premiers stades larvaires des trois espèces de pleurodèles (*Pleurodeles waltl*, *Pleurodeles nebulosus* et *Pleurodeles poireti*) **(Ben Hassine et al., 2012)**.

3.2.3. Habitat et répartition:

Le pleurodèle d'Algérie est endémique à l'Algérie et la Tunisie, où il possède une distribution fragmentée tout au long du nord Algérien et Tunisien **(Donaire-Barroso et al., 2006)** Les récents travaux de Ben Hassine, 2012 sur sa distribution en Tunisie indique qu'il est cantonné aux étages bioclimatiques humides et subhumides, et rarement au semi arides où il occupe des microclimats humides. Sa répartition est directement limitée par les caractéristiques du climat qui l'empêche d'étendre sa répartition

L'habitat préférentiel du pleurodèle d'Algérie en Tunisie est les plans d'eau peu a moyennement profonds, qu'ils soient temporaires ou permanents avec un couvert végétal autour. La végétation environnante offre à l'espèce un lieu de vie hors de la période de reproduction pour les adultes et dès la métamorphose pour les juvénile, qui quittent aussitôt le milieu aquatique. Hors de la saison de reproduction cet amphibien hiverne/estive dans un périmètre d'environ 200 mètres du plan d'eau dans des cachettes lui offrant une humidité adéquate, comme les crevasses de pierre, sous les feuilles mortes **(Ben Hassine & Nouira, 2010)**.

En Algérie, comme cela a été signalé dans de nombreux travaux antérieurs **(Boulenger , 1891; Doumergue , 1901; Carranza & Arnold, 2004; Samraoui et al., 2012)**, le *Pleurodeles nebulosus* possède une distribution discontinue avec des populations isolées réparties sur la région nord du pays allant de l'extrême ouest jusqu'à la Tunisie. En effet il est rencontré dans les régions de Theniet el Had dans la wilaya de Tissemssilt, à l'Larba, Alger, Béjaia et en Numidie qui englobe les wilayas de Annaba, el Taref et Constantine principalement. Le manque de travaux portant sur la distribution et l'écologie des tritons présents en Algérie nous laisse incertain par rapport à l'aire

d'occurrence réelle actuellement occupée par l'espèce. De ce fait nous avons retenu comme aire de distribution les localités précédemment citées.

3.2.4. Statut de conservation

P. nebulosus possède une répartition fragmentée et disjointe aussi bien en Tunisie qu'en Algérie et doit être considéré par conséquent comme une espèce rare. Non seulement ses populations sont à faibles densités, mais son aire de distribution, ne dépasse pas 65 225 km2 de superficie **(Donaire-Barroso et al., 2006),** il connait un déclin continu de son étendue et de la qualité de l'habitat aussi bien au nord de l'Algérie qu'en Tunisie **(Carranza & Wade, 2004)**, suite à une dégradation anthropique des milieux forestiers associée à une fragmentation des habitats naturels fréquentés par ces Pleurodèles, et particulièrement une raréfaction des sites appropriés assurant la reproduction et surtout son succès qui peut être affaibli par la pollution **(Ben Hassine et al., 2012)**. L'espèce est ainsi classée par l'UICN comme espèce vulnérable **(Donaire-Barroso et al., 2006).**

Chapitre 2

Chapitre 2 : La niche écologique d'une espèce et modélisation

1. Définitions de la niche écologique

1.1. La niche écologique selon Grinnell et Elton

C'est à Joseph Grinnell, 1917 que l'on doit d'avoir soulevé pour la première fois ce principe dans plusieurs recherches, en décrivant les niches de plusieurs espèces. Selon Joseph Grinnell , la niche est ce qui conditionne l'existence d'une espèce à un endroit donnée incluant les facteurs biotiques (prédation, compétition, nourriture,…) abiotiques (température, précipitations, humidité, …) en insistant sur le fait que deux espèces ayant la même niche écologique, ne peuvent pas persister ensemble dans le même espace indéfiniment, exception faite pour les équivalents écologiques, qui occupes des niches similaires dans des espaces géographiques distincts. Aussi, il admet qu'une niche puisse être vacante, due aux limites de dispersion de l'espèce par une barrière géographique **(Newbold, 2009)**.

Ainsi, pour expliquer la répartition et les propriétés des espèces, Grinnell développe une hiérarchie écologique parallèle à la hiérarchie systématique. Tandis que la hiérarchie systématique subdivise le vivant depuis les règnes jusqu'aux sous-espèces (et au-delà), la hiérarchie écologique subdivise la répartition des facteurs biotiques et abiotiques en royaumes, régions, zones de vie, aires fauniques, associations végétales et niches écologiques ou environnementales (Grinnell 1924). Les niveaux supérieurs, comme les royaumes, régions, zones de vie, ont une connotation géographique explicite et sont plutôt associés aux facteurs abiotiques. À l'inverse, les niveaux inférieurs, dont la niche, sont plutôt associés aux facteurs biotiques et n'ont pas de connotation géographique explicite. Dans ce contexte, la niche est vue comme l'unité ultime d'association entre espèces. Ainsi, Charles Elton (1927) et Grinnell ont vu la niche d'une espèce comme la place ou le rôle dans leur communauté écologique, mettant moins l'accent sur les conditions abiotiques mais plutôt sur les relations avec d'autres espèces **(Newbold, 2009)**

1.2. La niche écologique selon Hutchinson

G.E. Hutchinson, 1957 définit une niche écologique comme un hypervolume (une « enveloppe ») où chaque dimension de l'espace représente une ressource (alimentaire, en matériaux, spatiale, offre en cachette, substrats ou perchoirs, …) ou une condition (température, précipitation, acidité, …) de l'environnement. La quantité de ressources varie dans l'espace et dans

le temps en fonction de l'activité de l'espèce. Les conditions et les ressources sont des 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 ses compétiteurs, est quant à elle nommée niche 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 des 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 environnementale. Chez Hutchinson, la compétition (pour des ressources) peut modifier la niche d'une espèce – dans le sens d'une réduction de la similarité **(Pierrat, 2011)**.

1.3. La théorie de construction de niche

La théorie de construction de niche est une branche qui est née de la biologie évolutive, elle met l'accent sur la capacité des organismes à modifier la sélection naturelle dans leur environnement, et ainsi agir en tant que co-directeurs de leur propre évolution, ainsi que l'évolution d'autres espèces. La construction de niche peut être caractérisée selon Odling-Smee (2003) comme «le processus par lequel les organismes, par le biais de leur métabolisme, de leurs activités et de leurs choix, de modifier leur propre et / ou des niches de l'autre » **(Laland & Boogert, 2008).**

2. Principe de modélisation de la niche écologique

2.1. Définition du model de niche écologique

Profitant d'une large variété de techniques statistiques non paramétriques, mathématiques et conception d'algorithmes en conjugaison avec les systèmes d'information 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 **(Franklin, 2009)**. Ils consistent 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 de latitude) de l'espèce

et des valeurs de paramètres environnementaux aux sites d'observation **(Sampoux & Bardeau, 2011)** , en d'autres termes ; ils identifient et quantifient les facteurs environnementaux qui contrôlent la distribution d'une espèce ou d'une communauté et analysent les relations entre données d'occurrence et les données environnementales abiotiques en produisant des cartes des environnements ou habitats préférentiels ou favorables à la présence et développement optimal d'une espèce ou d'une population d'espèces **(Guisan & Wilfried, 2005; Elith et al., 2006; Urbina-cardona & Nicolás, 2010)**. Cette modélisation donne alors une approximation de la distribution des espèces, qui en terme de robustesse et de justesse est tributaire de la pertinence et représentativité des variables qui contribuent au model **(Newbold, 2009)**.

2.2. Limites de la modélisation de niche écologique

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

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

Ces limites étant connues le model de niche écologique est généralement utilisé dans les cas suivant :

- Estimer les zones géographiques où les conditions environnementales sont favorables au développement de l'espèce (estimation de la niche fondamentale).
- Estimer les habitats potentiels dans une zone géographique qui n'a pas été échantillonnée (estimation de la distribution potentielle de l'espèce).
- Estimer les modifications d'habitat préférentiel (donc de la distribution de l'espèce) au cours du temps, en suivant un scénario de changement environnemental
- Estimer le poids de l'environnement sur la distribution réelle par rapport aux interactions biotiques et l'histoire évolutive de l'espèce

Malgré leurs limites, ils sont les seuls outils valables pour caractériser à grande échelle les relations distribution de l'espèce/ environnement **(Waren & Seifert, 2011)**. L'utilisation des modèles de distribution d'espèces a rapidement augmenté durant ces deux dernières décennies, comme on peut le constater sur la Figure.2.1 (Les termes suivants ont été utilités "species distribution model" ou "species distribution modelling" ou "species distribution modeling" ou "ecological niche model" ou "ecological niche modelling" ou "ecological niche modeling" ou "niche model" ou "niche modelling" ou "niche modeling" ou "habitat model" ou "habitat modelling" ou "habitat modeling" ou "habitat distribution model" ou "habitat distribution modelling" ou "habitat distribution modeling" ou "niche-based model" ou ou "niche-based modelling" ou "niche-based modeling" ou "bioclimatic envelope" ou "bioclimate envelope" ou "climatic envelope" ou "climate envelope". Les publications ne contenant pas ces termes ne rentrent pas dans ces statistiques **(Newbold, 2009)**. Ils sont de plus en plus utilisés dans différents domaines : systématique, écologie, conservation, santé publique, etc. **(Soberón & Peterson, 2005)**

Une attention particulière est porté sur les modèles de distribution des espèces pour déterminer quel compartiment de la niche est modélisé, Soberón et Peterson (2005) ont distingué trois grandes catégories de facteurs qui déterminent les distributions des espèces : facteurs environnementaux abiotiques, facteurs biotiques (interactions entre espèces) et les facteurs qui affectent la capacité de dispersion des espèces vers d'autres aires géographiques (Figure.2.2)

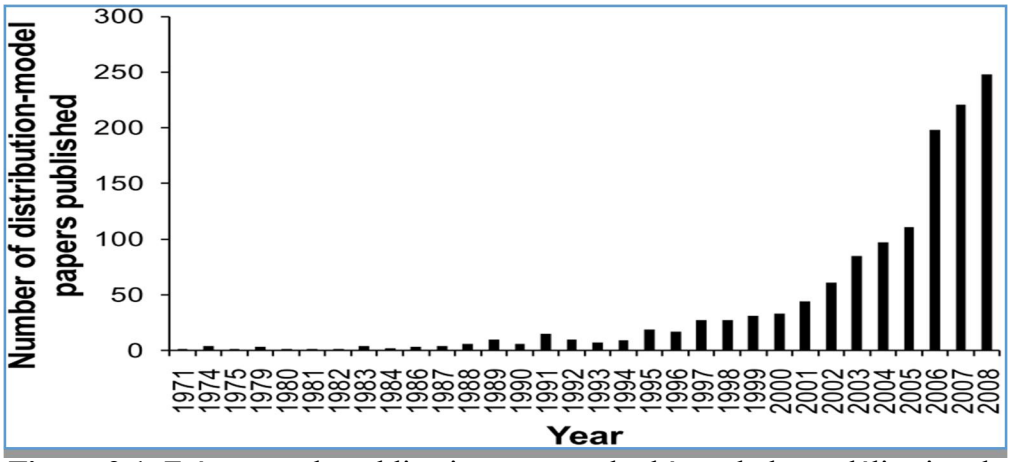


Figure.2.1. Fréquence de publications autour du thème de la modélisation de distribution des espèces depuis 1971 à 2008.

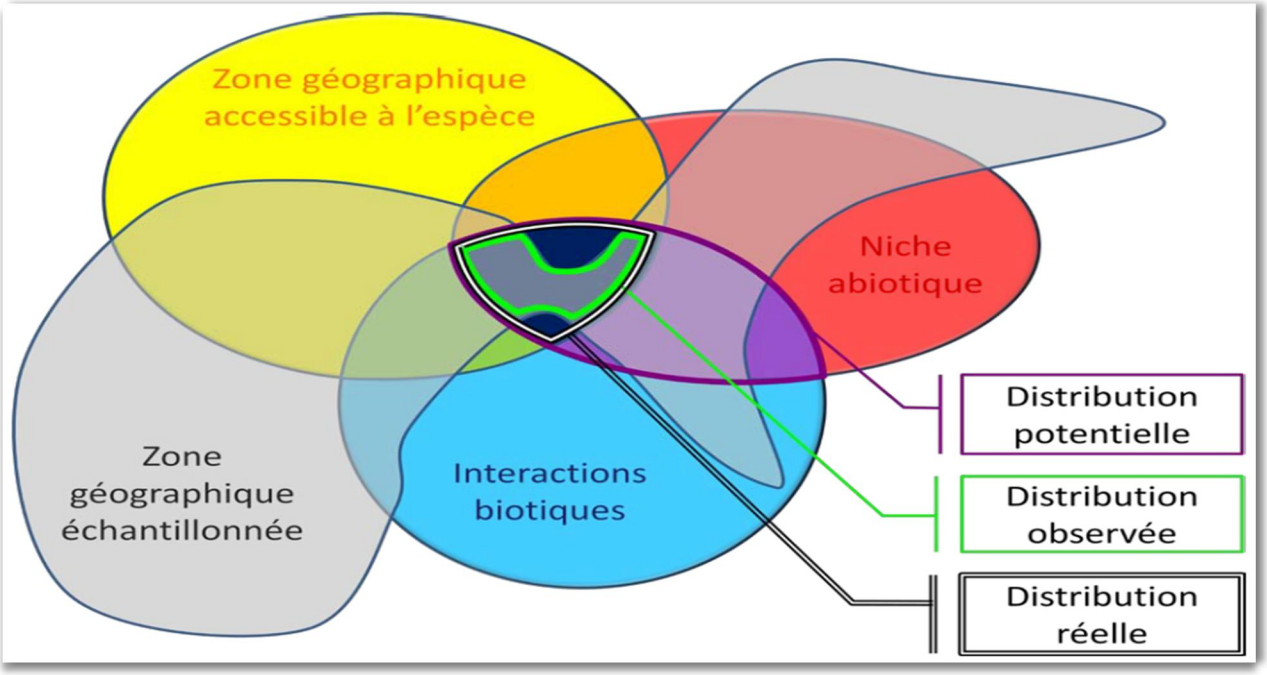


Figure.2.2. Les différents types de distribution d'une espèce d'après Peterson 2005. Modifié par dans ***(Lauzeral, 2012)***

Selon **(Guisan & Zimmermann, 2000)** les modèles de niche écologique capturent la niche réelle même si les variables utilisées pour les générer sont strictement abiotiques, parce qu'ils utilisent des données d'occurrence issues de la distribution réelle. D'autre part **(Soberón & Peterson, 2005)** font valoir qu'à moins que les variables utilisées ne décrivent des interactions biotiques ou que les limites de dispersion soit incluses comme variables explicatives, les modèles de distribution capturent généralement la niche fondamentale, sauf si les paramètres environnementaux abiotiques sont fortement corrélée avec les paramètres biotiques, où dans ce cas précis le model tend à se rapprocher de la distribution réelle.

2.3. Les types de modèles

Il existe deux grands modèles pour déterminer la niche écologique d'une espèce. D'une part les modèles mécanistiques qui sont basés sur les caractéristiques physiologiques et écologiques de l'espèce : variation génétiques (morphologie, physiologie, comportement), stratégies de survie

(développement, croissance, reproduction, dispersion) **(Kearney & Porter, 2009)**. Ils nécessitent donc une connaissance approfondie de l'espèce, ce qui réduit donc leur utilisation aux espèces dont la biologie est bien connue comme les espèces modèles en écologie ou d'importance économique **(Lauzeral, 2012)**.

D'une autre part il y'a les modèles corrélatifs qui mesurent la relation entre les données environnementales (climatiques, topographiques, géologiques,…) et les données d'occurrence (distribution observée) de l'espèce (Figure.2.3). Ils sont moins exigeants et les plus utilisés, ils ne nécessitent que les données de présence seule, en encore présence/absence, d'abondance **(Lauzeral, 2012)**.

Des études montrent néanmoins que les deux approches donnaient les mêmes résultats et dans certains cas les modèles corrélatifs sont meilleurs **(Robertson, 2003)**.

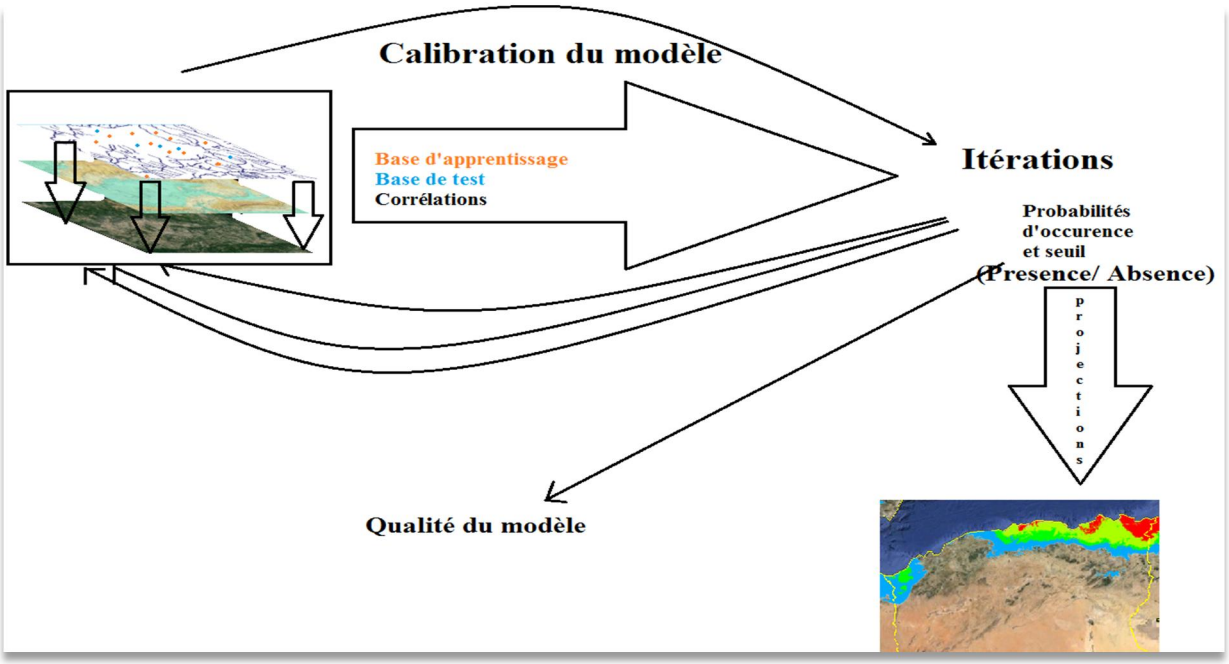


Figure.2.3. Processus de modélisation corrélative de la niche écologique d'une espèce (Conçue par nous) d'après ***(Lauzeral, 2012)***

Chapitre 3

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

1. Présentation de la zone d'étude et méthodologie

1.1. Situation géographique

La zone d'étude englobe la Kabylie du Djurdjura et de la Soummam et une partie decelle des Babors. Elle est naturellement limitée au Nord par la Mer Méditerranée, à l'Ouest par l'oued Isser-oriental et son affluent l'oued Djemaa prenant naissance à l'ouest de Bouira, au Sud par l'oued Sahel (ouest de Bouira), l'oued Boukioun (nord de Bordj Bou Arreridj) et la chaine montagneuse des Bibans et, à l'Est par les oueds Menannat et Berbeur, à l'est à proximité des frontières est de la wilaya de Bejaia (Figure.3.1.). Elle englobe doc la totalité des deux wilayas de Tizi Ouzou et de Bejaia, et la partie nord-est de la wilaya de Boumerdès, la partie nord de la wilaya de Bouira, la partie nord de la wilaya de Bordj Bou Arreridj et la partie nord-ouest de la wilaya de Sétif. Elle a une superficie d'environ 10 246 km².

Figure.3.1 : Zone d'étude (Image Google Earth 2014, réalisée sous Qgis)

1.2. Classes d'altitude et de pente de la zone d'étude

Sur le plan géographique, le relief est défini par la combinaison de deux facteurs : l'altitude et la pente du terrain, qui sont les plus déterminants en géobiologie des montagnes. Le relief

constitue la composante du milieu physique qui définit le caractère montagneux d'un espace ou d'un territoire.

Les classes d'altitude répartie sur la zone d'étude sont représentées dans la Figure.3.2. Les zones montagneuses présentent des altitudes moyennement élevées (<800m) où prédomine la classe (400-800m). Les plus hautes altitudes (>1200) correspondent aux sommets du Djurjura (2308 m au point le plus culminant de Lalla Khedidja) et de l'Akfadou (1620 m à l'Antenne).La pente varie de 0 à 8% sur les reliefs situés entre 0-800m d'altitude, atteint 16% pour ceux entre 800-1200m et supérieure à 16% au-delà de 1200m.

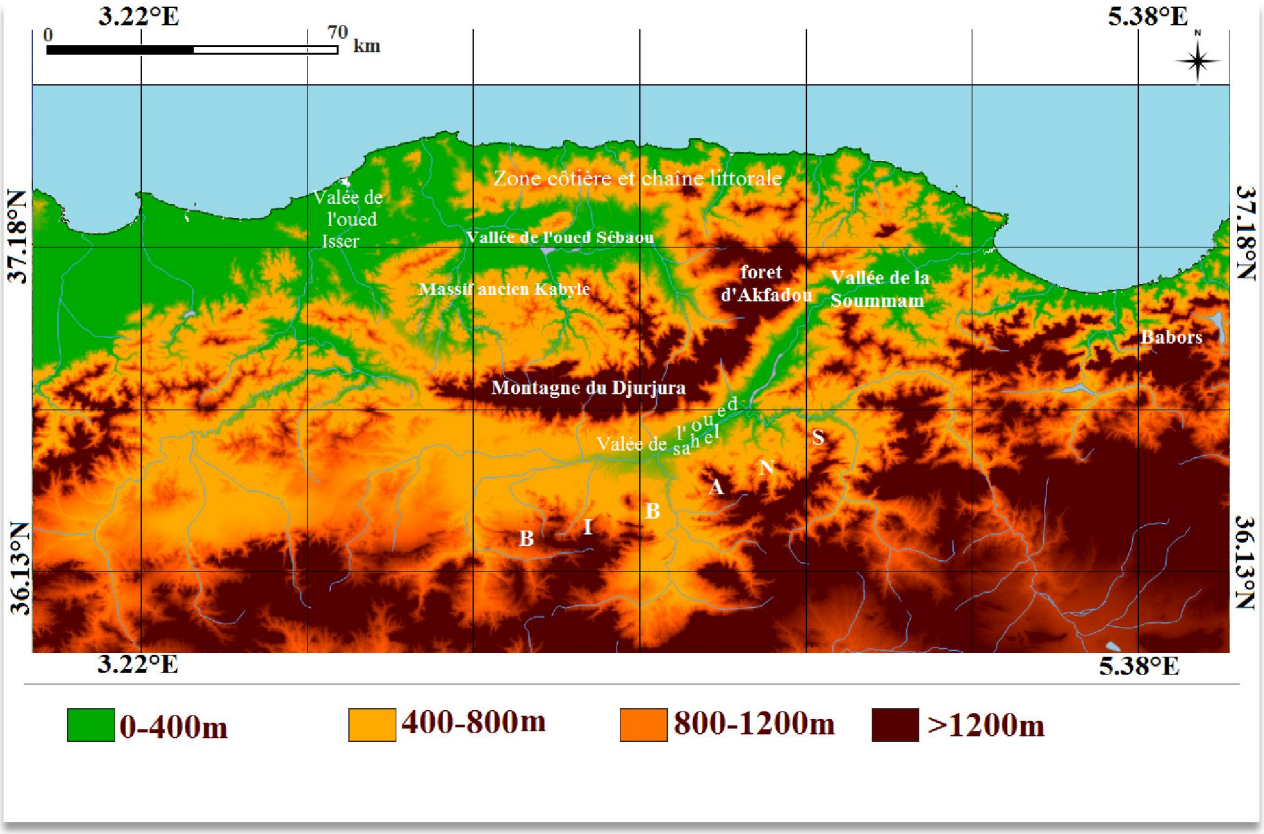


Figure.3.2 : Classes d'altitudes selon MATET 2008 (réalisée sous Qgis)

1.3. Synthèse climatique de la zone d'étude

La synthèse climatique consiste, à définir les variantes climatiques, à l'échelle de la zone d'étude en utilisant des données ombriques et thermiques de quelques stations climatiques issues de la bibliographie (Tableau3.1.).

Table.3.1 : Altitudes, périodes et sources des données climatiques (P : précipitations, Températures)

Stations	Altitude (m)	Période		Sources	
		P	T	P	T
Aghrib	730	1973-2000	1918-1951	**(Meddour, 2010)**	(Meddour, 2010)
Tizi Ouzou	250	1980-2003	1980-2003		
Draa el Mizan	450	1973-2000	1988-1992		
Akbou	280	1920-1984	___		
Bouira	520	1981-2000	1981-2000		
Larbaa Nath Irathen	940	1973-2000	1918-1951		
Ain el Hammam	1100	1918-1951	1918-1951		
Yakouren	820	1973-2000	____		
Thala Ghuilef	1450	1988-2000	1988-1992		
Sidi Aich	170	1973-1993	____		
Bejaia	1,76	1970-2007	1970-2007	**(Abas & Madoui, 2008)**	(Abas & Madoui, 2008)
Bordj B. A	__	1981-2003	1980-2003	**(Merdas, 2007)**	(Merdas, 2007)

1.3.1. Les précipitations

Les précipitations et la température sont deux éléments principaux qui définissent le climat, à l'échelle locale et régionale **(Dajoz, 2006; Meddour, 2010)**. Les Figures 3.3 et 3.4, montrent la variation de la quantité des précipitations dans les différentes stations météorologiques distribuées dans la zone d'étude.

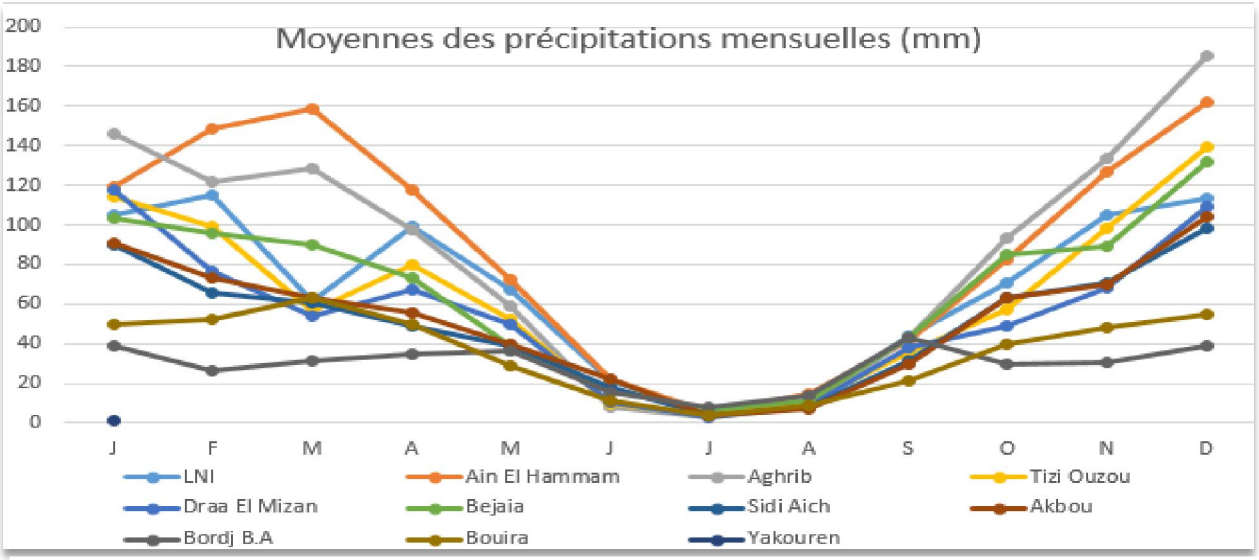


Figure.3.3 : Evolution de la pluviométrie moyenne mensuelle dans 11 stations réparties sur la zone d'étude

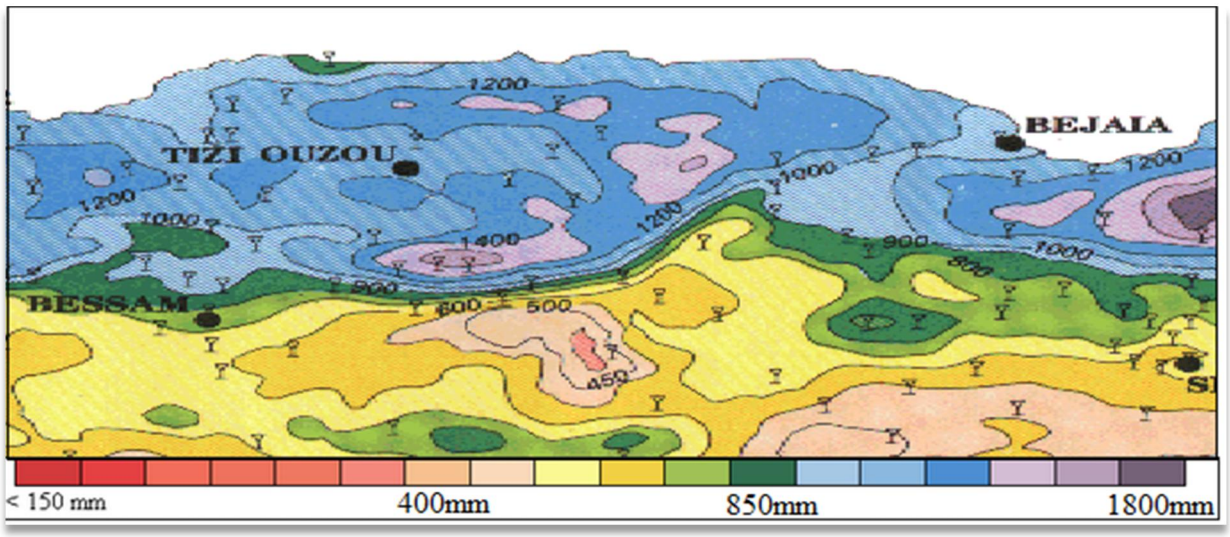


Figure3.4 : Extrait de la Carte pluviométrique pour l'Algérie du Nord ANRH 1993 in : ***(Benslimane et al., 2008)***

Globalement, les 11 stations sélectionnées, accusent une variation mensuelle de la moyenne des précipitations selon le même profil. La pluviométrie est faible au mois d'aout, elle débute durant le mois de septembre pour atteindre des hauteurs maximales de précipitation au mois de décembre voir janvier (maximum hivernal), puis commencent à chuter jusqu'à atteindre les niveaux les plus bas en juillet-aout (minimum estival).

Malgré ce phénomène assez singulier qui est commun aux régions de la méditerranée, on remarque une différence flagrante des volumes de précipitation entre les stations, comme on peut

le voir avec les moyennes des maxima du mois de décembre : 185,2mm pour Aghrib, 162,3 à Ain El Hammam, représentant les taux les plus élevés, contre seulement 54,5mm à Bouira et 38,5mm à Bordj B. A aux limites méridionales de la zone d'étude. Cette différence s'explique par l'altitude, et la localisation sur la zone d'étude sachant que les stations les plus arrosées sont les plus élevée et que le taux de précipitation augmente d'ouest en est et diminue de nord en sud.

1.3.2. Les températures

Les températures aussi ne font pas exception et varient selon la localisation de la station. Les régions de montagnes sont plus froides, le littoral bénéficie d'un climat doux en hiver, dû à l'influence modératrice de la mer (Figure.3.5). Les moyennes des températures mensuelles oscillent de 29C° à 25C° en allant de Bejaia (littoral) à Ain el Hammam (1100m) confirmant l'influence du gradient altitudinal.

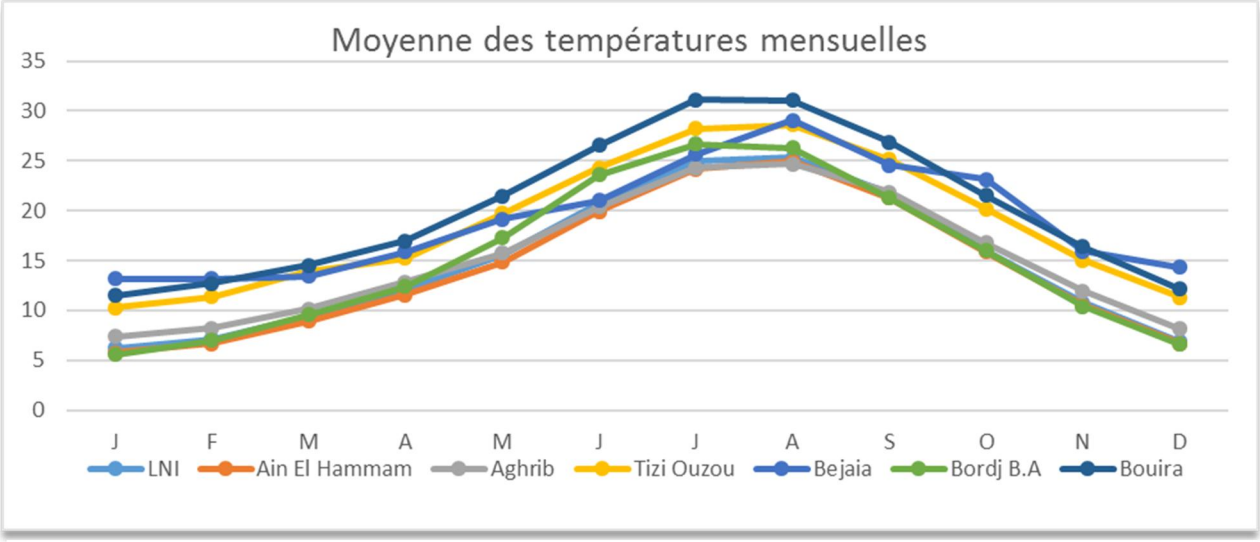


Figure.3.5 : Evolution des températures moyennes mensuelles dans 7 stations réparties sur la zone d'étude

1.3.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Bagnouls et Gaussen ont établi un diagramme qui permet de dégager la durée de la période sèche en s'appuyant sur la comparaison des moyennes mensuelles des températures en °C (T) avec celles des précipitations en mm (P) ; on admettant que le mois est sec lorsque «**P≤2T** ». Il donne une visualisation immédiate de la durée et de l'intensité de la saison sèche, à condition que les échelles en ordonnées soient de manière à avoir 1°C pour 2 mm **(Meddour, 2010)** tel que c'est le

cas sur la Figure.3.6., qui met en évidence la marche mensuelle des précipitations et de la température, qui permet aussi d'évaluer la longueur de la saison pluvieuse. La surface du polygone en couleur orange est utilisée comme indice d'intensité de sècheresse.

La Figure.3.7., montre une sècheresse qui s'étale sur une durée relativement longue d'environ 5 à 6 mois pour Bejaia, Bordj B. A et Bouira. Thala Guilef quant à elle a une sécheresse qui dure 3 mois de janvier à aout. La période humide est représentée par l'aire entre les courbes des précipitations et des températures quand P>2T.

1.3.4. Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique d'EMBERGER **(Emberger, 1955)** (Q2) est déterminé par la combinaison des 3 principaux facteurs du climat. Il est donné par la formule suivante :

$$Q_{2} = 1000\,P / \left[\left(\frac{M+m}{2}\right) / (M-m)\right]$$

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,

En Algérie, Steward (1969, 1975) a montré que le quotient pluviométrique d'Emberger simplifié peut s'écrire :

$$Q_{3} = 3.43\,P / (M-m)$$

Le Houérou (1982, 1989, 1995, 2004) a prouvé l'efficience de cette formule. Ce quotient a pour objectif de mettre en évidence la sécheresse globale d'une station à travers des valeurs moyennes annuelles et que le climat est d'autant plus sec que ce quotient est plus petit. Ce climagramme permet de prendre en considération deux stress climatiques : hydrique (Q3) et thermique (m). Il est très efficace dans l'analyse des relations climat-végétation dans le biome méditerranéen **(Meddour, 2010)**.

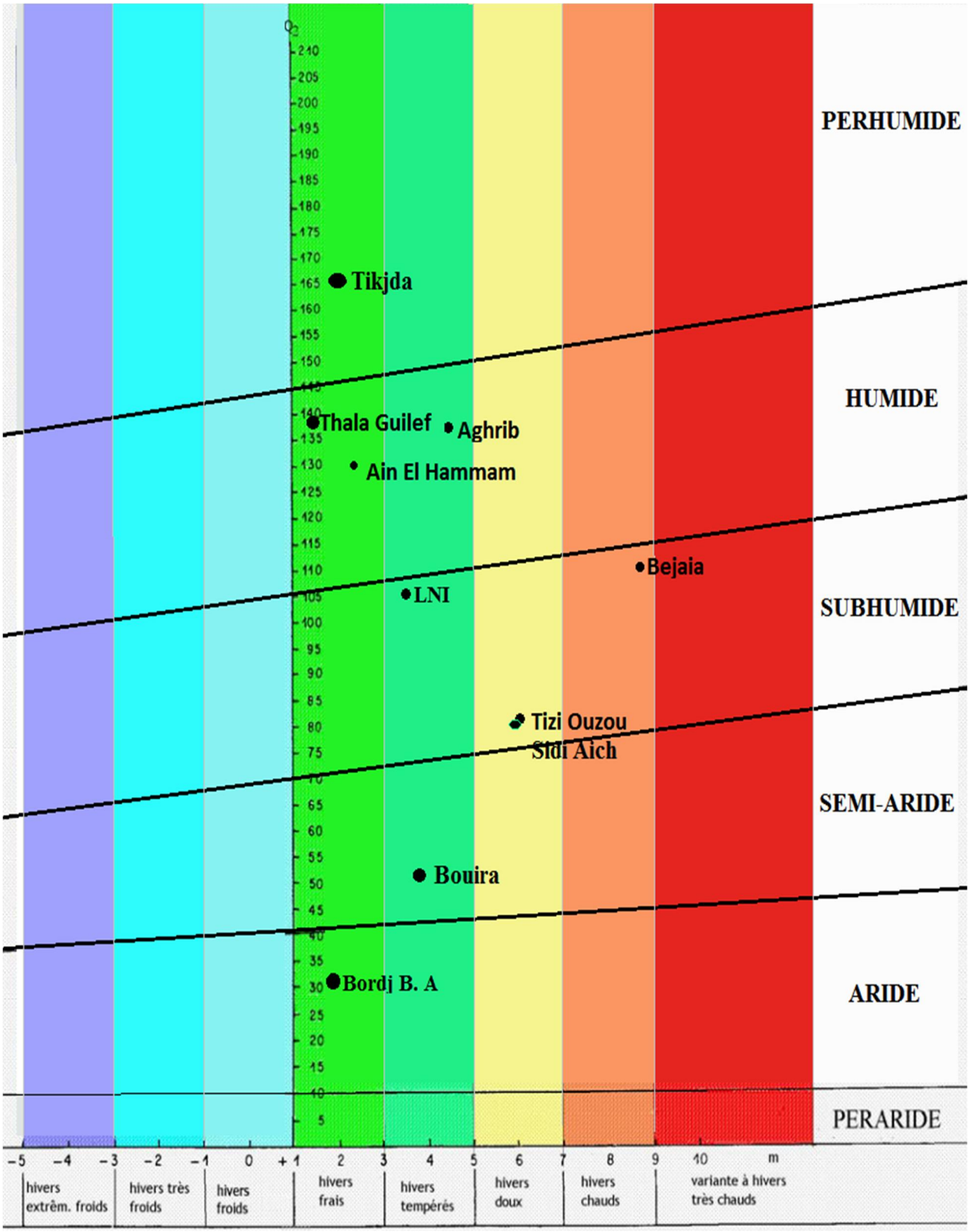


Figure3.6 : Projection de 10 stations sur le climagramme d'Emberger (version Le Houérou ,1995 *in Meddour 2010*)

Après calcul de Q3 pour chaque station (Tableau.3.2), elles ont été projetées sur le climagramme d'Emberger (Figure.3.6). L'étage bioclimatique subhumide est dominant au nord de la zone d'étude avec les stations : Larbaa Nath Irathen à hivers tempérés, Tizi Ouzou et Sidi Aïch aux hivers doux et Bejaia aux hivers chauds. Puis vient l'étage humide aux régions alticoles de Ain El Hammam et Thala Guilef aux hivers frais puis Aghrib aux hivers tempérés et l'étage bioclimatique perhumide aux hivers frais pour Tikjda et enfin les deux étages semi-aride aux hivers tempérés et aride aux hivers frais pour Bouira et Bordj B. Arreridj respectivement.

Table.3.2 : Valeurs de Q3 pour les stations disponibles

Stations	P	M	m	Q3
Larbaa Nath Irathen	819,2	30,5	3,5	104
Ain El Hammam	1072,2	30,8	2,6	130
Aghrib	1027,3	29,8	4,5	139
Tizi Ouzou	756,1	36,2	5,7	85
Bejaia	784	32,9	8,7	111
Bouira	430,8	35,8	4	46,5
Thala Guilef	987	25,7	1,7	138
Sidi Aich	598	31,7	5,9	80
Tikjda	1102	1,8	1,8	166
Bordj B. A	349,3	38,7	1,6	32,2

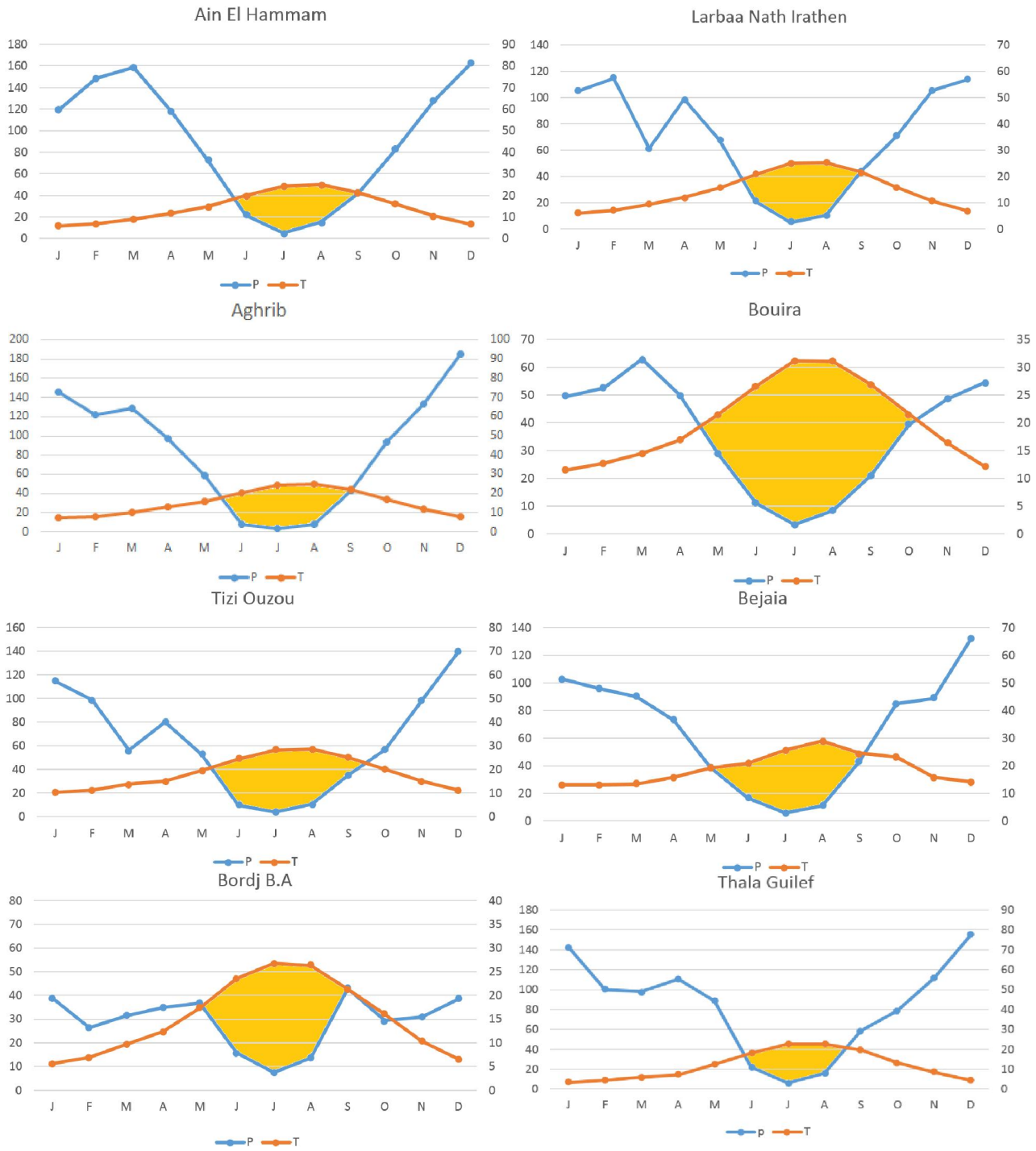


Figure.3.7 : Diagrammes ombrothermiques de Bagnouls & Gaussen de 8 stations réparties sur la zone d'étude

2. Echantillonnage et terrain

2.1. Période d'échantillonnage

A la mise en œuvre de cette étude et après consultation de la bibliographie traitant de notre sujet, la première étape du travail pratique a été d'arrêter un programme de sorties sur le terrain. Ces dernières ont été entamées à la fin du mois d'Octobre 2013 et se sont étalées régulièrement sur une durée de six mois, jusqu'à la fin du mois d'avril 2014, ce qui englobe trois saisons climatiques ; automne, hiver et printemps. Afin de maximiser nos chances de trouver les deux espèces d'urodèles objet de notre étude, le choix de la période n'était pas fortuit mais au contraire très favorable sur le plan écologique, du fait que les salamandridés rentrent en activité de reproduction à partir des premières pluies d'octobre.

2.2. Choix des sites

Dans l'ensemble de la zone d'étude, le choix des sites d'observation des amphibiens a été fait sur la base d'un repérage préalable sur Google Earth en mode satellite. Ce repérage a été effectué en simulant des zooms avant et arrière sur diverses localités afin d'identifier des zones sombres, qui se révélaient dans la plupart des cas comme des plans d'eau. Pour le cas des mares temporaires qui n'apparaissent pas dans les images datant de périodes d'assèchement estival, n'apparaissant donc pas sous forme de taches sombres, nous avons procédé à varier l'affichage des images satellites à différentes dates disponibles dans la base de données cartographique de Google Earth, puisque certaines mares n'apparaissent qu'à des dates allant de l'hiver au printemps (période de leur mise en eau).

Ainsi, à chaque fois qu'un plan d'eau est repéré, il est marqué par un symbole repère directement sur écran et on le sauvegarde dans la rubrique des Milieux préférés pour sa visualisation ultérieure. De même, sont sauvegardées également pour chaque site repéré, ses coordonnées géographiques et son altitude, à défaut de disposer d'un récepteur GPS utilisable sur le terrain. Ce mode de repérage cartographique des sites aquatiques a également été d'une aide précieuse dans l'établissement du calendrier de sorties sur le terrain, puisqu'il nous montre tous les sites présents dans la même localité ainsi que leur accès routiers, pouvant donc être explorés le même jour. A ces sites préalablement repérés (cours d'eau, mares, lacs, retenues collinaires), nous

profitons également de découvrir en cours de route d'autres sites aquatiques singuliers tels que les fossés inondés le long des routes, les bassins de sources et fontaines sauvages, les abreuvoirs et les zones inondées, très propices à la présence d'amphibiens, particulièrement la Salamandre algire.

2.3. Méthode d'échantillonnage

A l'arrivée sur le terrain de chaque site aquatique, des prospections et des observations sont réalisées au niveau du milieu aquatique proprement dit et dans le milieu terrestre environnant.

2.3.1. Echantillonnage en milieu aquatique

Au niveau des endroits accessibles du plan d'eau, deux techniques ont été utilisées pour l'observation des adultes et des larves :

a) Détection visuelle

Au niveau des mares, bassins de source ou fossés de route, l'observation visuelle consiste à rechercher dans l'eau la présence de pontes, de larves, voire d'adultes d'urodèles (Figure.3.8).

Figure.3.8: Larves de Salamandres dans un bassin de source**.**

Cette technique ne donne des résultats que dans les conditions où l'eau est claire et peu profonde, avec absence ou faible présence de matière végétale telle que la litière déposée au fond ou les tiges et racines de plantes aquatiques dont l'enchevêtrement diminue considérablement la visibilité du fond. Quand ces conditions favorables sont réunies dans un site aquatique donné, les larves de Salamandres et même les pontes du Pleurodèle deviennent facilement repérables.

Pour les pontes du Pleurodèle, elles apparaissent sous forme de grappes dans l'eau collées aux tiges de plantes aquatiques et, chaque grappe est constituée d'un amas de gel transparent enveloppant les embryons (Figure.3.9)

Figure.3.9 : Ponte (grappe) du *Pleurodeles nebulosus*

La détection visuelle permet ainsi d'établir assez aisément la présence des deux espèces à l'état larvaire dans l'habitat aquatique, pendant que les adultes sont réfugiés dans leurs caches en milieu terrestre environnant. Dans les conditions où l'eau est turbide ou chargée de divers débris végétaux ou de cailloux, on fait recours à d'autres techniques telles que la pêche à la petite épuisette.

b) Pêche à l'épuisette :

Cette technique (Figure.3.10) devient indispensable dans les points d'eau turbides, peu profonds (comme dans les mares et fossés de routes) et même profonds (profond. > 50 cm). La pêche à la petite épuisette consiste, dans un premier temps, à réaliser un aller-retour rapide pour que le contenu de la capture ne s'échappe pas, en veillant à racler le fond du plan d'eau et les plantes aquatiques qui constituent une cachette ou un support d'accrochage des pontes du *P.nebulosus*. Puis, dans un second temps, à soulever vers le haut l'épuisette et analyser le contenu

de la capture pour vérifier la présence ou l'absence de larves. Au besoin et quand la capture est très dense et très mélangée au substrat, le contenu du filet est transvasé dans une bassine à moitié inondée pour un triage détaillé du contenu de la capture.

Figure.3.10 : Echantillonnage du milieu aquatique avec un filet épuisette

L'opération d'échantillonnage peut être répétée une à deux fois dans le cas de bassins de sources. Dans le cas des mares et fossés de routes, cette opération est réalisée dans plusieurs endroits autour du plan d'eau, de telle façon à couvrir la diversité d'habitats disponibles.

2.3.2. Echantillonnage en milieu terrestre adjacent au plan d'eau

L'échantillonnage du milieu terrestre consiste à pratiquer la technique de fouille de microhabitats où se réfugient les urodèles adultes et juvéniles tout juste métamorphosés. Dans les cas où l'étendue des sites échantillonnés était trop importante pour être explorée entièrement, où quand la végétation terrestre était trop dense et ne permet pas d'accéder à tous les coins, l'échantillonnage s'est limité uniquement sur les parties accessibles du site, en délimitant deux ou trois transects en bande de 5 m de large et de 300 m de long, perpendiculaires au plan d'eau, comme par exemple, deux transects l'un vers l'aval et l'autre vers l'amont, voire aussi un troisième vers le coté latéral du plan d'eau.

La fouille concerne les microhabitats potentiellement favorables comme refuges aux juvéniles et aux adultes. Cela consiste à soulever les pierres, morceaux de bois (écorce de liège, troncs d'arbres morts) et tout autre objet naturel ou artificiel (vieux vêtements, bouteilles en plastique, sachets, cartons, pneus, …) (Figure.3.11)

Figure.3.11 : Echantillonnage du milieu terrestre

Chaque individu retrouvé est identifié et décrit dans son état biologique (juvénile ou adulte, mort, vivant ou écrasé). Sont réalisées également des prises de vue photo en mode macro pour chaque individu, en intégrant dans la photo un indicateur d'échelle, une petite règle de préférence, sinon un stylo ou une pièce de monnaie.

2.4. La description écologique du milieu :

Après avoir terminé toutes les observations sur les animaux étudiés, on s'attache à noter sur une fiche de terrain les principales caractéristiques biotiques et abiotiques du site. Les caractéristiques abiotiques concerne : la localisation géographique du site (coordonnées GPS), superficie et profondeur approximatives du plan d'eau ainsi que les conditions climatiques dans lesquelles le processus de la recherche s'est déroulé. Les caractéristiques biotiques concernant en

premier lieu l'espèce d'urodèle observée, le stade de développement, le nombre d'individus puis la végétation dominante et son recouvrement dans le milieu aquatique et dans le milieu terrestre environnant, ainsi que tous les autres animaux observés sur les lieux (amphibiens anoures, mammifères, oiseaux, reptiles et invertébrés aquatiques et terrestres.

2.5. Transfert au laboratoire

Pour les besoins de notre élevage au laboratoire, quelques individus (différents stades : larves et adultes) des deux espèces (*P.nebulosus* et *Salamandra. algira algira*) ont été transférés à partir de sites représentatif, le transfert de ces animaux a été effectué dans des boites en plastiques (Figure.3.12) remplies d'eau dans le cas des larves ou de mousses pour les adultes. Les boites ont été préparées de façon à assurer un climat humide et offrir aux animaux la possibilité de se cacher, et cela en rajoutant quelques plantes prélevées du milieu naturel. Le container ne doit pas être exposé directement aux rayons du soleil, de sorte que l'animal ne subisse pas des changements brusques de température.

Pour limiter les déplacements des individus dans la boite et éviter la déshydratation, des feuilles humidifiées ont été rajoutées et des cartons y ont été placés.

Figure 3.12 : boites de transfert des urodèles (photo prise au moment du transfert)

3. L'élevage en captivité des deux espèces étudiées

3.1. Mise en place du dispositif d'élevage

Parallèlement au travail de terrain, un dispositif d'élevage de ces deux espèces d'urodèles a été mis en place au niveau du laboratoire de recherche en écologie et environnement (université de Béjaia). Cet élevage a été envisagé à titre complémentaire des données notées sur le terrain. Le premier objectif s'est imposé par le fait que les premières larves rencontrées sur le terrain étaient difficiles à déterminer sur le plan taxonomique (grande confusion entre les larves de la Salamandre et celles du Pleurodèle). A cet effet, l'élevage de larves provenant de quelques sites différents (mares, bassins de sources, fossés de routes) a été suivi jusqu'au stade de développement montrant suffisamment de caractères distinctifs des deux espèces (couleur noir avec des taches jaunes pour la Salamandre, couleur gris olive pour le Pleurodèle).

En réussissant à maitriser les conditions d'élevage, l'objectif du départ a été par la suite étendu à l'étude d'autres aspects qui se sont révélés aussi très délicats à étudier sur le terrain, notamment ceux liés au traits généraux relatifs aux modes de reproduction, au comportement pendant et en dehors de la période de reproduction ainsi que l'établissement d'une synthèse caractérisant les différents stades de développement et leurs régimes alimentaires respectifs.

L'élevage s'est effectué en parallèle avec le travail de terrain, vers la fin du mois de décembre 2013, aussitôt les premiers individus capturés l'élevage est entamé. Les deux Salamandridés ont été maintenus en captivité au laboratoire où nous avons essayé de reproduire au mieux possible les conditions naturelles des deux espèces, quoique ce ne soit pas chose aisée vu que le contrôle de certains paramètres comme la température, la qualité physico-chimique de l'eau et la photopériode nécessitent des moyens matériels qu'on ne pouvait pas se procurer à temps.

Cependant, un dispositif d'élevage a été mis en place avec les moyens disponibles et est composé du matériel suivant :

- ✓ Six bacs de dimensions 40×40×60 cm et d'un volume de 96 litres, qui ont été aménagés en aquarium et en terrarium pour le Pleurodèle et la Salamandre respectivement,
- ✓ Quatre bacs en plastique d'un volume de 24 litres (40×30×20 cm),
- ✓ De l'eau de robinet qui est mise à décanter pendant 24h avant son ajout pour la déchlorer,

- ✓ Des morceaux de bois (bouts de lièges), des plantes aquatiques et des petits cailloux ont été aménagés comme des surfaces de repos et de cachettes (iles) à l'intérieur des aquariums,
- ✓ Une épuisette de 4 mm de maille est utilisée pour le nettoyage des aquariums,
- ✓ Des flacons a réactifs de 250 ml,
- ✓ Des gants médicaux pour la manipulation des spécimens,
- ✓ Une loupe binoculaire,
- ✓ Alcool (éthanol),
- ✓ Des pinces,
- ✓ Un appareil photo numerique,
- ✓ Un thermomètre électronique à affichage simultané (T de l'eau et de l'air).

3.1.1. Conduite de l'élevage

a) Cas de la Salamandre

❖ **Aménagement des terrariums (substrat et entretien)**

Trois aquariums ont été aménagés en terrariums pour accueillir les salamandres adultes provenant de différents sites naturels. Pour ce faire, nous nous sommes inspirés de la méthode d'élevage des urodèles utilisée par **(Raffaelli , 2007)**). Nous avons ajouté du substrat à base de terre garni de Mousses ainsi que d'écorces et de feuilles pour servir de cachettes, tout en gardant une partie aquatique nécessaire pour garantir un minimum d'humidité. La partie terrestre était arrosée deux à trois fois par semaine, selon la saison. De même, le substrat végétal est renouvelé aussi régulièrement ainsi que l'eau du bassin et les feuilles. Pour éviter les fuites d'individus, les terrariums sont recouverts d'un morceau de tissus du genre anti-moustique perméable à l'air.

Les larves sont placées par groupe de 3 à 8 individus dans des bacs en plastique (Figure.3.13) formant un milieu aquatique parsemé de feuilles et de bouts de liège pour servir de cachettes. Les ilots formés par les bouts de bois assurent une alternance entre milieu humide et sec. La partie aquatique assure une humidité favorable au développement et aux mues des jeunes.

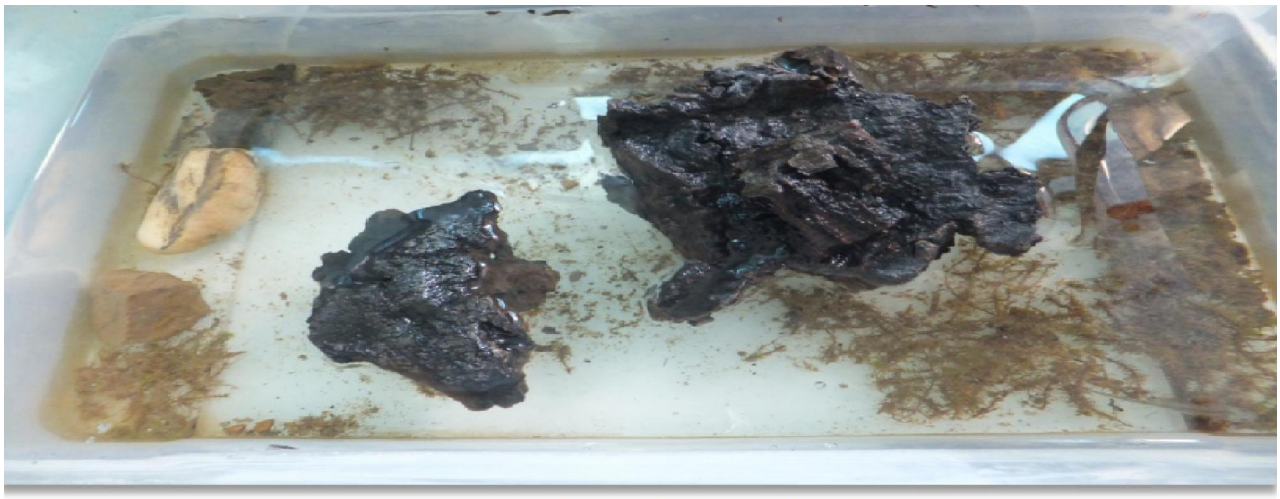


Figure.3.13 : Bac pour larves de salamandre

❖ Alimentation

Les larves et les adultes d'amphibiens ont un régime alimentaire dans la nature tout autre que celui offert en captivité, ce qui est sans nul doute à l'origine de la plupart des maladies nutritionnelles des amphibiens captifs. On connait assez peu le régime naturel réel, qui plus est de quelques espèces seulement. Heureusement, beaucoup des espèces communément élevées s'adaptent bien à des aliments facilement disponibles.

❖ Régime alimentaire et modalités de nourrissage des larves

Le régime alimentaire des larves des urodèles est généralement le même que les adultes mais avec une présentation plus petite en taille, dans notre cas les larves de salamandra algira algira sont nourries avec une variété de proies (invertébrés et vertébrés) selon leurs disponibilité. Les larves nouvellement nées peuvent êtres idéalement « démarrées » avec des macroinvertébrés prélevé par filtration de l'eau provenant des mares visitées dans le cadre de notre travail de terrain quand cela est possible, avant de leur offrir des proies plus conséquentes qu'elles ne pourraient consommer directement. Dans la même optique et afin de remédier au problème de la non disponibilité des proies capturées dans le terrain nous avons mis en place un élevage parallèle de proies qui consiste en la culture des vers de farine (*Tenebrio molitor*).

Dés que les larves ont atteint une certaine taille (50 mm environ) avec une bouche assez grande, des proies plus grosses leur sont servies, particulièrement des petits vers de terre ou portion de vers, larves de moustiques, vers de vase, des petites portions d'escargots ou de limaces récoltés sur le terrain.

Il est primordial de procéder à la distribution des aliments en début de soirée car elles chassent bien dans l'obscurité. Le nourrissage se fait simplement en déposant les proies dans les bacs à larves à l'aide d'une pince de manière a ce qu'elles soient bien visibles et détectables surtout pour les proies inertes. La quantité de nourriture et sa fréquence ont été adaptées en fonction de l'énergie dépensée par les larves à ce stade et peuvent varier du simple au triple de la quantité habituelle.

❖ Régime alimentaire et modalités de nourrissage des adultes

Le régime alimentaire des adultes (*Salamandra algira algira*) reste très peu connu et cela est du au manque d'études dans ce sens, durant notre élevage nous avons essayé de reproduire un régime proche de celui offert pour d'autres espèces en captivité du même ordre comme *Salamandra salamandra* Linné, 1758 en Europe **(French Urodela, 2007; Raffaelli , 2007)**.

Les adultes sont nourris principalement a base de vers de terre (*Lumbricus terrestris*) vu leurs disponibilité et leur abondance, cependant ce régime est parfois complété par d'autre proies comme des limaces, larves d'insectes et des portions d'escargots et d'asticots.

Les modalités de nourrissage des adultes sont nettement plus simples que les larves, les adultes sont nourris a raison d'un bon repas par deux jours et cela pour éviter plusieurs troubles nutritionnels comme l'obésité qui est fréquente et qui se reconnait par la réplétion du ventre, en effet il suffit de déposer les proies dans les terrariums a l'aide d'une pince en début de soirée et aussitôt vues elles sont dévorées par les adultes. A certaines périodes, les adultes non nourris sur plusieurs jours pour manque de proies au labo, ont montré une grande résistance à la faim en continuant à activer dans l'eau. Cette résistance démontre la capacité de ces animaux à estiver longtemps sous des pierres en milieu naturel.

❖ Manipulation

La manipulation des individus de *Salamandres* se fait toujours en portant des gants médicaux en raison de leurs secrétions corporelles, en effet malgré leur jolies couleurs, toutes les espèces du genre *Salamandra* possèdent des glandes parotoïdes situées de part et d'autres de la nuque et des pores situés le long de la colonne vertébrale. Ces glandes secrètent des neurotoxines stéroïdes alcaloïdes (samandarin, Samandaridin et Samanderon) qui irritent les muqueuses les yeux et le nez et qui sont mortelles pour les mammifères par ingestion **(Vences et al., 2014)**

b) Cas du *Pleurodeles nebulosus*

❖ Aménagement des aquariums

Comme pour *S.a.algira*, nous avons aménagé trois aquariums pour le pleurodèle d'Algérie (figure.3.14) tout en tenant en compte les différences en matière d'écologie de vie des deux espèces, en effet le *Pleurodeles nebulosus* préfère un milieu aquatique ou il passe le plus grand de son temps **(Ben Hassine et al., 2012)**, pour cette raison l'aménagement des aquariums s'est effectué en remplissant les aquariums à hauteur de 20 cm avec une eau de robinet laissée à décanter 24h avant son ajout, l'eau est changée chaque semaine a raison de ¼ du volume total. Pour les besoins des

Figure.3.14: Aquarium pour le Pleurodeles nebulosus

individus du pleurodèle d'Algérie en repos et cachettes des morceaux de chêne liège, des plantes aquatiques, et des petits cailloux (à rebords lisse pour ne pas blesser les animaux) sont déposés dans les aquariums.

Les larves du *Pleurodeles nebulosus* ont été gardées dans deux bacs en plastique aménagés à cet effet (figure.3.15), les conditions requises pour les larves différent de celles des adultes de par leur exigence en température et leur sensibilité par rapport a la qualité et à la pollution de l'eau **(Ben Hassine et al., 2012)**.

Pour réussir notre élevage de larves nous avons donné une attention particulière aux bacs à larves on les garnissant de feuilles de chêne, de petit bout de bois qui servaient comme des ilots et biensur un suivi rigoureux de la qualité de l'eau dans la mesure de nos possibilités. Les aquariums et les bacs sont rigoureusement nettoyés chaque semaine pour éviter le développement des champignons et des parasites. Il faut noter le fait que pour les larves la hauteur de l'eau ne dépassent pas les 10 cm, avec une telle hauteur l'eau se réchauffe plus rapidement et favorise un développement plus rapide des larves **(Ben Hassine et al., 2012)**.

Figure.3.15. : Bac pour les larves de Pleurodèle

❖ Alimentation

Le régime alimentaire du *Pleurodeles nebulosus* n'est pas très différent de celui du *Pleurodeles waltl* Michaelles, 1830, il est basé sur les proies habituellement rencontrées par l'espèce dans la nature comme les vers de terres et les limaces **(Raffaelli , 2007)**. Durant notre élevage nous avons essayé de reproduire le travail effectué par Ben Hassine en 2013 sur le *Pleurodeles nebulosus* en Tunisie et cela en adaptant le même régime pour nos larves et adultes.

❖ Régime alimentaire et modalités de nourrissage des larves

De par son mode de reproduction ovipare, le Pleurodeles nebulosus donne naissance à des oeufs qui après éclosion donnent des larves qui ne dépassent pas les 15 mm en règle général. La taille relativement petite des larves nécessite un régime alimentaire adaptée basé principalement sur des vers de farine (*Tenebrio molitor*) issus d'un élevage parallèle de proies mené au laboratoire. Cependant, un apport en proies capturées (macroinvertébrés) sur le terrain à partir des mares est assuré quand cela est possible.

Avec le développement des larves et une fois qu'elles ont atteint une certaine taille (30-50 mm environ) avec une bouche assez grande, un régime alimentaire semblable a celui des larves de *Salamandra algira algira* est assuré. Des proies plus grosses sont offertes (petit vers de terre ou portion de vers, larves de moustiques, vers de vase, des petites portions d'escargots que nous nous avons procurés auprès de nos camarades au laboratoire).

La distribution des aliments est faite en début de soirée car elles repèrent leurs proies plus rapidement dans l'obscurité. Le nourrissage se fait simplement en déposant les proies dans les bacs à larves à l'aide d'une pince de manière à ce qu'elles soient bien visibles et détectables surtout pour les proies inertes. La quantité de nourriture et sa fréquence ont été adaptées en fonction de développement.

❖ Régime alimentaire et modalités de nourrissage des Pleurodèles adultes

En s'inspirant de l'expérience acquise par (**Ben Hassine et al, 2013**) sur l'élevage de cette espèce à la faculté de Tunis, nous avons pu fixer au laboratoire un régime alimentaire assez semblable à celui suivi dans la nature par l'espèce. Il est basé sur des vers de terre, portions d'escargots et des limaces essentiellement. Cependant, il faut noter que dans le cas de pénurie des proies habituellement servies, les pleurodèles sont nourris avec de fines tranches d'abats de poulet procurés au le marché.

Les modalités de nourrissage des adultes sont nettement plus simples que les larves, les adultes sont nourris à raison d'un repas tout les deux jours et cela pour éviter plusieurs troubles nutritionnels comme l'obésité qui est fréquente et qui se reconnait par la réplétion du ventre, en effet il suffit de déposer les proies dans les aquariums à l'aide d'une pince en début de soirée et aussitôt vues elles sont avalées par les adultes

❖ Manipulation

Tout comme la manipulation des individus de *Salamandra algira algira,* la manipulation au laboratoire des spécimens du *Pleurodeles nebulosus* se fait toujours en portant des gants médicaux par précaution, malgré qu'aucune étude -a notre connaissance- n'a démontré la toxicité des secrétions corporelles du pleurodèle d'Algérie, il est semblerait que c'est le cas comme la plupart des amphibiens.

Il ya lieu de noter aussi que pour le besoins d'une étude scientifique approfondie en cours sur les salamandridés de Kabylie, tous les spécimens que nous avons perdus au laboratoire sont conservés dans de l'alcool pur (figure.3.16) et gardés au Laboratoire de Recherche en Ecologie et Environnement.

Figure.3.16 : Conservation dans l'alcool

4. Techniques de modélisation de la niche écologique des deux espèces étudiées

4.1. Données environnementales utilisées

4.1.1 Modèle numérique de terrain et données climatiques

a) Modèle numérique de terrain SRTM30

Le modèle (Digital Elevation Model) est téléchargé depuis *WorldClim Database* (http://worldclim.org/), voir **(Hijmans et al., 2005)**. Il est produit par « The Shuttle Radar Topography Mission » qui est un projet inter agences : NASA, NGA (National Geospatial-Intelligence Agency), agences spatiales italienne et allemande réalisé en 2010. Ce projet a produit les modèles numériques de terrain les plus complets et les plus précis du globe terrestre en utilisant l'interférométrie radar, à différentes résolutions : SRTM1 avec une résolution d'une seconde d'arc (31 m à l'équateur), le SRTM3 avec une résolution de trois secondes d'arc (93 m à l'équateur) et le SRTM30 que nous avons utilisé dans cette étude (Figure.3.17) avec une résolution de 30 seconde d'arc (926 m à l'équateur~1km ~0.008333°). La production de ce genre de modèles qui deviennent de plus en plus précis est devenue une nécessité pour plusieurs domaines (navigation aérienne, sciences hydrauliques,…) **(Farr et al., 2007)**

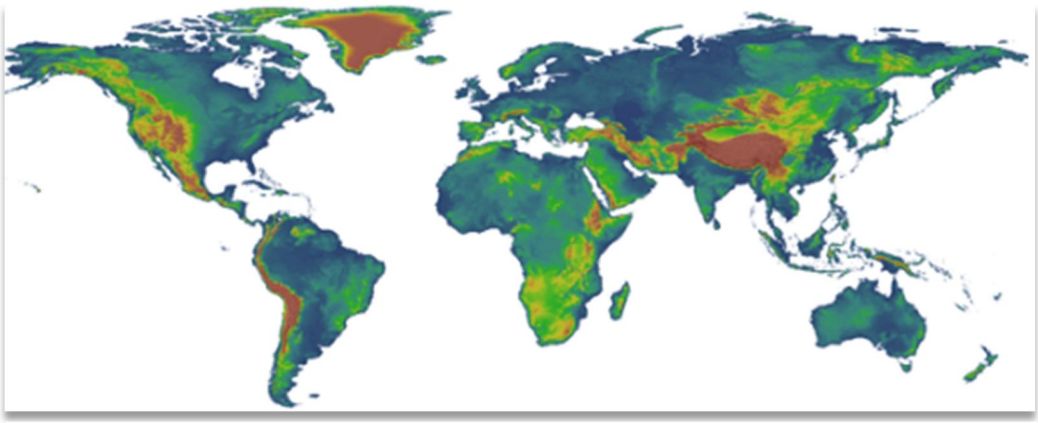


Figure.3.17. Raster du model numérique de terrain SRTM30

b) Les données climatiques

Les données climatiques utilisées sont au nombre de 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. (téléchargées de WorldClim database : http://www.worldclim.org/ sous le format BIL) : les moyennes des précipitations mensuelles, les moyennes des températures maximales mensuelles et les moyennes des températures minimales mensuelles de 1950 à 2000. Elles sont produites en utilisant les données de 87026 stations climatiques dans le monde **(Hijmans et al., 2005)** .

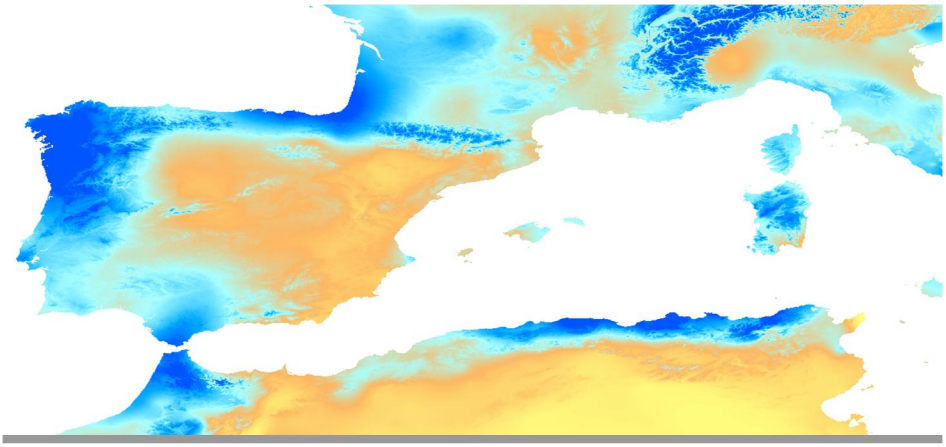


Figure.3.18. Raster des moyennes des précipitations de mois décembre

Les 19 variables bioclimatiques (Tableau.3.3) sont massivement utilisées dans plusieurs domaines de recherche notamment dans l'agriculture et les sciences biologiques comme la biogéographie et la macroécologie, on peut citer à titre d'exemple les travaux de **(Beukema et al., 2010; Bogaerts et al., 2013)** qui sont justement consacrés aux salamandridés.

Tableau.3.3: Les 19 variables bioclimatiques crées sous GIS

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)

4.1.2. Indice de différence de végétation normalisé (NDVI)

Les indices de végétation, très largement utilisés en télédétection, donnent une estimation de variables géophysiques : couverture de la végétation (densité, santé), teneur en eau des sols, etc. Ils sont obtenus par un calcul faisant généralement intervenir deux bandes spectrales. Ils permettent ainsi d'estimer rapidement et simplement des variables environnementales. Le NDVI ("Normalized Difference Vegetation Index") est l'indice le plus connu en télédétection. Il est calculé à partir des bandes Rouge (RED) et Proche Infra-Rouge (NIR). Les plantes vertes absorbent le rayonnement solaire dans la région spectrale « PAR » (photosynthétiquement active de rayonnement), qu'elles emploient comme source d'énergie en durant la photosynthèse. Les cellules de feuille ont également évolué pour disperser (se refléter et transmettre) le rayonnement solaire dans la région spectrale proche-infrarouge (qui porte approximativement la moitié de toute l'énergie solaire entrante. Il faut noter que pour la végétation, le canal du rouge, avec une longueur d'onde de 0,58 µm-0,68 µm se trouve dans la bande d'absorption de la chlorophylle, tandis que le canal de l'Infra Rouge Proche, entre 0,725 et 1,1 µm, se trouve dans la bande de forte réflectance. Les caractéristiques des canaux correspondent donc de près aux propriétés caractéristiques des feuilles ce qui rend le NDVI un bon indicateur de la biomasse du végétal. **(Zammit, 2008)** :

$$Ndvi = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

La plupart des satellites permettent de calculer cet indice afin de quantifier la densité et la vigueur de la végétation sur une zone donnée. Le NDVI fournit une valeur entre -1 et +1. Une valeur de NDVI nulle, indique une faible densité de végétation saine, une valeur proche de 1 indique une grande densité de végétation saine. Les nuages, l'eau, la neige, le sol et les roches ont généralement des valeurs de NDVI proches de 0 (même réflectance dans le Rouge et l'IR). Le NDVI est très utile pour la surveillance de la végétation à grande échelle puisqu'il est normalisé. Ainsi, il subit moins l'influence des changements de conditions d'illumination, de pentes de terrain et d'angle d'incidence de la visée satellitaire. Il est ainsi largement utilisé pour détecter les variations de biomasse et les zones brûlées.

Des rasters au format « HDR » d'une résolution de 250m des enregistrements des deux bandes spectrales infrarouge et proche infrarouge **(Carroll et al., 2014)** de Janvier 2014 ont été obtenus du site internet de l'institut d'études géologiques des États-Unis USGS (United States Geological Survey) https://mrtweb.cr.usgs.gov/ **(USGS, 2014)**. Ils sont produits par le radiomètre spectral MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) embarqué dans le satellite TERRA. L'indice (figure.3.19) a été calculé suivant la formule cité ci-dessus sous Qgis avec les deux bandes spectrales NIR et RED.

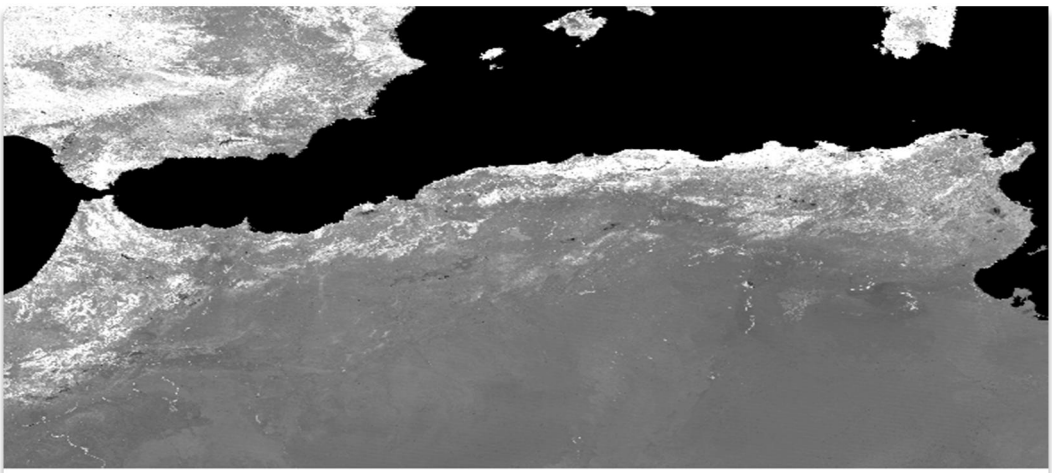


Figure.3.19. Raster du NDVI calculé (résolution de 250m)

Le NDVI est très utilisé dans la modélisation de distribution des espèces, car en plus d'améliorer ses résultats **(Beukema et al., 2010)** il convient pour les deux espèces forestières

étudiées étant donné que les zones à forte réflectance représentent une forte couverture végétale (forêts) ce qui va nous permettre de tester en quelque sorte la cohérence du modèle.

4.1.3. Occupation du sol (MERIS GlobCover2009)

Les techniques de télédétection sont utilisées pour produire des images thématiques contrairement à l'NDVI les rasters d'occupation du sol ne sont pas une mesure mais une interprétation par classification et catégorisation de la nature des objets associés aux pixels selon leur réflectance et ce par différentes approches **(Benhadj, 2008)**.

MERIS GlobCover 2009 (Figure.3.20) est un produit de l'agence spatiale européenne, qui est le résultat d'un projet initié en 2005 qui est de constituer une carte globale d'occupation du sol à l'aide du Spectromètre pour imagerie de moyenne résolution.

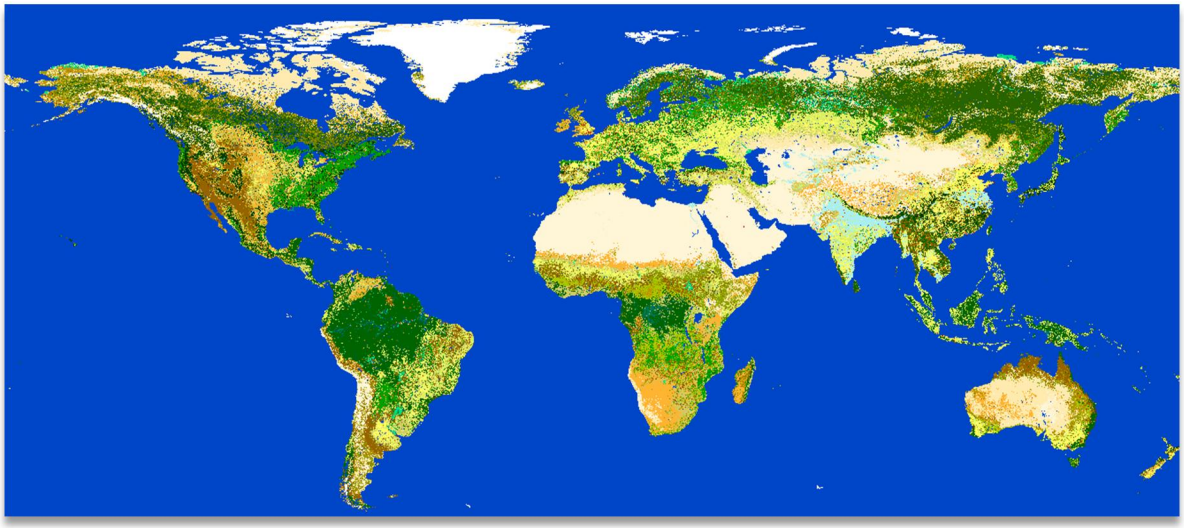


Figure.3.20. Raster du MERIS GlobCover (300m de résolution)

4.2. Préparation des données environnementales

4.2.1. Reclassification sous Quantum Gis

a) Quantum Gis 2.2.0

Quantum Gis est une suite de logiciels de système d'information géographique libre sous licence GNU General Public License. Il dispose d'une interface simple et intuitive (Figure.3.21). Il intègre plus de 400 algorithmes, dédiés au traitement d'images satellitaires, modélisation des risques sur l'environnement, traitement de l'information géographique, conception de carte et analyses thématiques …etc. Il a été utilisé tout au long de notre travail de recherche pour traiter et

formater les données recueillies sur le terrain (sites d'occurrences, visualisation des zones à échantillonner), seuillage des rasters générés par les modèles de distribution des deux espèces d'urodèles étudiées.

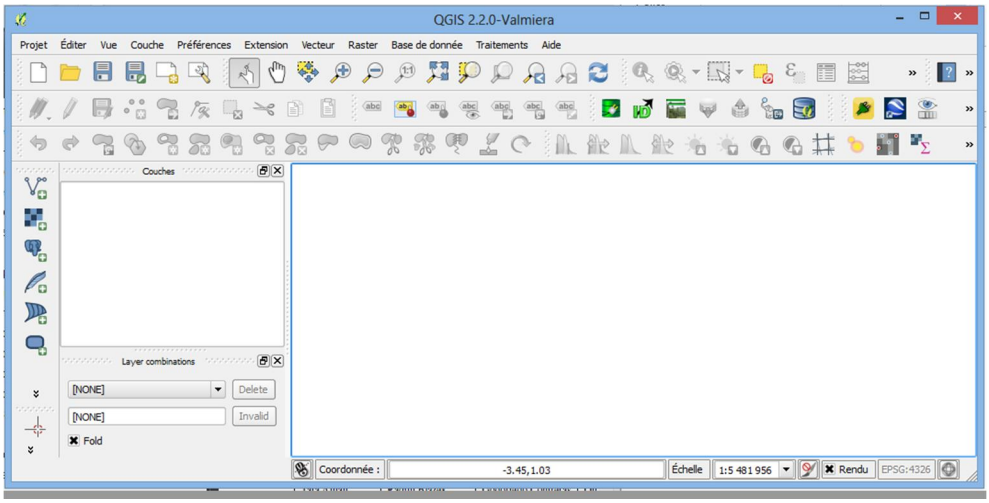


Figure.3.21. Interface de Qgis

b) Mise en conformité des rasters environnementaux

La mise en conformité des rasters environnementaux est une phase pré-modélisation obligatoire qui consiste à transformer tous les rasters environnementaux pour qu'ils aient la même étendue géographique, la même résolution (taille du pixel), le même format de fichier, et le même système de projection. Pour avoir un tel résultat, différents rasters d'une même variable environnementale ont été assemblés avec la fonction « merge » du géoalgorithme « GDAL » , d'autres ont été coupé pour coïncider à l'étendue géographique préétablie, et re-projetée au système de projection *WORLD GEOGRAPHIC WGS84 ,* et enfin les rasters NDVI, GlobCover2009, avec des résolutions de 250m et 300m respectivement ont été agrégé suivant la méthode *neirest neighbor* (du plus proche voisin) à une résolution de 30 secondes d'arc~1km.

4.2.2. Extraction des valeurs numériques des différents rasters

La mise en conformité et l'extraction des valeurs numériques contenues dans les rasters environnementaux (Figure.3.22.), sont des contraintes imposées par le logiciel *MaxEnt*. Tous les rasters vont subir une conversion au format *ASCII* (American Standard Code for Information Interchange) qui permet d'optimiser le temps de modélisation en ayant un gain de plusieures heures, MaxEnt étant compatible avec d'autres formats. Cette opération est délicate, sujette à des

erreurs éventuelles auxquelles il faut remédier en inspectant le résultat de la conversion, qui peut aussi révéler des incohérences dans les rasters utilisés.

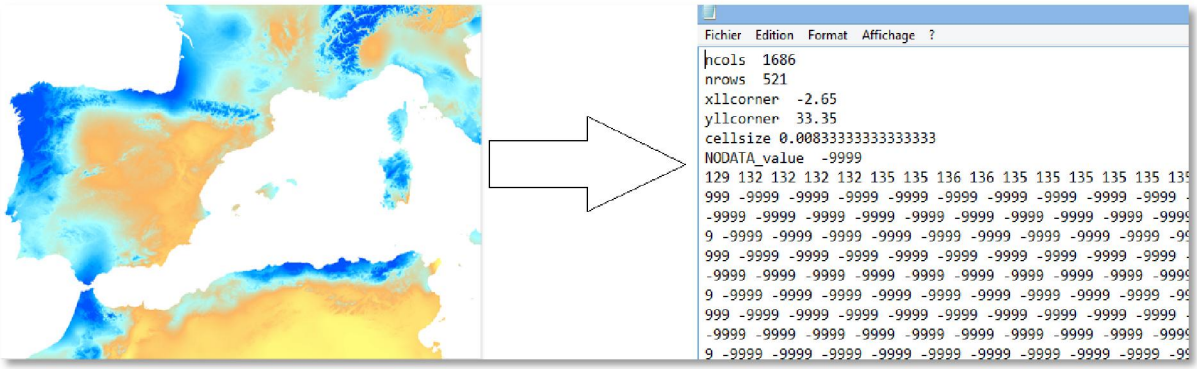


Figure.3.22. Conversion au format *ASCII* des rasters

4.2.3. Analyse de corrélation entre les rasters environnementaux sous *R*

Les différents rasters peuvent être corrélés deux à deux (négativement ou positivement), c'est-à-dire qu'ils sont liés par une causalité, faisant que si les valeurs d'une variables augmente, les valeurs d'une autre variable augmente aussi, ou au contraire diminue. Un simple exemple est que l'altitude est négativement corrélée avec la température, car en montant en altitude la température chute. Les rasters avec des données continues ont fait l'objet d'une analyse de corrélation de Pearson (r>0.70, Figure.3.23), sous *R* (langage et environnement de programmation orienté objet destiné à l'analyse de données) puis, ont fait l'objet d'un tri en essayant de garder les variables environnementales d'intérêt pour l'espèce qui fait l'objet du modèle **(Philips et al., 2006; Beukema et al., 2010)**.

	BIO1	BIO2	BIO3	BIO4	BIO5	BIO6	BIO7	BIO8	BIO9	BIO10	BIO11	BIO12
BIO1	____	-0.08	-0.23	0.18	0.71	0.80	0.06	0.80	0.92	0.94	0.91	-0.32
BIO2	____	____	0.75	0.49	0.54	-0.57	0.85	0.28	0.12	0.08	-0.32	-0.45
BIO3	____	____	____	-0.19	0.06	-0.36	0.30	0.07	-0.27	-0.29	-0.19	-0.12
BIO4	____	____	____	____	0.73	-0.37	0.87	0.32	0.55	0.51	-0.24	-0.50
BIO5	____	____	____	____	____	0.17	0.74	0.77	0.89	0.87	0.39	-0.58
BIO6	____	____	____	____	____	____	-0.54	0.45	0.53	0.58	0.96	0.09
BIO7	____	____	____	____	____	____	____	0.35	0.40	0.35	-0.32	-0.56
BIO8	____	____	____	____	____	____	____	____	0.81	0.80	0.64	-0.57
BIO9	____	____	____	____	____	____	____	____	____	1.00	0.68	-0.49
BIO10	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	0.72	-0.45
BIO11	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	-0.10
BIO12	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____
BIO13	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____
BIO14	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____
BIO15	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____
BIO16	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____
BIO17	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____
BIO18	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____
BIO19	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____
alt	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____
NDVI	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____	____

	BIO13	BIO14	BIO15	BIO16	BIO17	BIO18	BIO19	alt	NDVI
BIO1	-0.18	-0.73	0.31	-0.17	-0.82	-0.76	-0.17	-0.90	-0.16
BIO2	-0.51	0.47	-0.75	-0.52	0.35	0.11	-0.52	0.31	-0.36
BIO3	-0.16	0.45	-0.45	-0.19	0.39	0.30	-0.18	0.20	-0.07
BIO4	-0.54	0.10	-0.53	-0.52	0.00	-0.22	-0.52	0.21	-0.42
BIO5	-0.52	-0.26	-0.30	-0.51	-0.41	-0.54	-0.51	-0.40	-0.41
BIO6	0.24	-0.80	0.70	0.25	-0.79	-0.56	0.25	-0.94	0.16
BIO7	-0.61	0.32	-0.73	-0.61	0.19	-0.08	-0.60	0.30	-0.46
BIO8	-0.45	-0.42	-0.14	-0.46	-0.58	-0.65	-0.47	-0.60	-0.34
BIO9	-0.38	-0.59	0.04	-0.37	-0.71	-0.75	-0.37	-0.68	-0.31
BIO10	-0.33	-0.62	0.10	-0.32	-0.73	-0.75	-0.32	-0.71	-0.28
BIO11	0.06	-0.79	0.54	0.06	-0.83	-0.67	0.06	-0.97	0.03
BIO12	0.98	0.12	0.65	0.98	0.34	0.64	0.98	0.04	0.76
BIO13	____	-0.02	0.74	1.00	0.20	0.52	0.99	-0.11	0.77
BIO14	____	____	-0.58	-0.04	0.92	0.78	-0.05	0.74	0.03
BIO15	____	____	____	0.75	-0.45	-0.13	0.75	-0.56	0.54
BIO16	____	____	____	____	0.19	0.51	1.00	-0.11	0.77
BIO17	____	____	____	____	____	0.91	0.18	0.78	0.20
BIO18	____	____	____	____	____	____	0.50	0.61	0.44
BIO19	____	____	____	____	____	____	____	-0.11	0.76
alt	____	____	____	____	____	____	____	____	-0.06
NDVI	____	____	____	____	____	____	____	____	____

Figure.3.23. Matrice de corrélation entre les variables environnementales (modèle *S.a.a*) continues sous *R*

4.3. Modélisation de la niche écologique avec la technique d'entropie maximale

4.3.1. Principe de l'entropie maximale

Cette méthode permet de prédire la distribution potentielle d'une espèce ou d'une communauté à partir d'un jeu de données d'incidence incomplet dans le but de proposer un modèle de distribution potentielle sous forme de probabilités de présence en cherchant à atteindre un état d'équilibre, et en choisissant la distribution statistiquement la plus fréquente, qui est aussi la plus probable de toutes **(Philips et al., 2006)**.

En physique statistique, cet état d'équilibre correspond à une valeur d'entropie maximale. L'entropie est initialement une fonction d'état établie dans le cadre de la thermodynamique classique, pour qui on a ensuite interprétée statistiquement comme une mesure du degré de désordre d'un système au niveau microscopique. La notion d'entropie peut être également utilisée au niveau macroscopique, la valeur d'entropie étant maximale lorsqu'un système isolé, soumis à des contraintes définies a atteint un état d'équilibre. Dans le cas de la modélisation de distributions potentielles, le système correspond à l'aire d'étude et les contraintes aux informations incomplètes issues des données environnementales associées aux données d'occurrence. La distribution réelle (distribution observée) est alors prise comme l'état de référence du système qui correspond à l'entropie maximale, car cette distribution est considérée par approximation comme étant à l'équilibre sous l'ensemble des contraintes environnementales connues (modèle non dynamique). Il ne s'agit en effet que d'une approximation, la distribution des espèces n'étant pas forcément à l'équilibre, c'est-à-dire stable dans le temps. La méthode MaxEnt va alors calculer des distributions potentielles étendues à l'ensemble de l'aire d'étude (ou d'une aire de projection) en cherchant à se rapprocher au mieux de la valeur d'entropie maximale définie à partir de la distribution observée. Le modèle converge alors vers une distribution potentielle non aléatoire et produit des cartes d'habitat préférentiel **(Phillips et al., 2004)**.

4.3.2. MaxEnt

Maxent version 3.3.2k (http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/) est un algorithme d'apprentissage (**Philips et al., 2004**)(Figure.3.24) qui est utilisé 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. Il existe six « caractères » calculés pour chaque variable environnementale, 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. On peut aussi augmenter le nombre d'itérations maximales à ne pas dépasser. Plusieurs méthodes de réplication peuvent être appliquées aux modèles afin de tester les résultats obtenus :

- Méthode de bootstrap : où le groupe « training » est composé de données de présence échantillonnées avec remise jusqu'à ce que le nombre de données soit égal au nombre total de données de présence.
- Méthode par « validation croisée » qui sépare aléatoirement les données de présence en plusieurs groupes de taille égale. Le nombre de groupes est fixé en fonction du nombre de réplicats « n» souhaités. , ce qui induit « n » groupes pour la réalisation du modèle. Pour chaque réplicat, « n-1 » groupes sont sélectionnés pour créer la carte d'habitat potentiel et le groupe restant est utilisé pour la tester. L'opération sera répétée « n » fois en pour exploiter tous les cas possibles.

- Méthode de « sub-échantillonnage répété » (méthode utilisée) : où les données de présence sont séparées aléatoirement en groupe test (groupe de points à utiliser pour tester la robustesse du modèle) et training (base d'apprentissage qui correspond à la distribution observée) à chaque réplicat, qui donnera pour résultat « n » modèles qui correspond au nombre de réplicats .

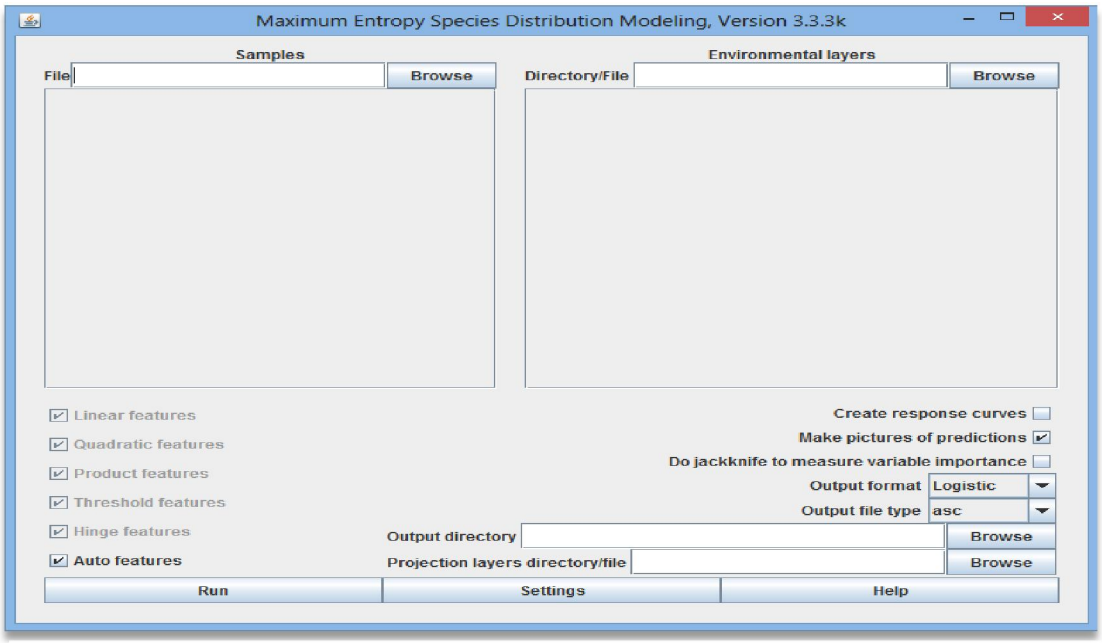


Figure.3.24: Interface principale de Maxent

a)Robustesse du modèle

i. Test AUC

La robustesse du modèle est testée par la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic), et le calcul de sa valeur d'AUC associée (Area Under Curve) qui exprime le rapport entre la sensibilité et la spécificité du modèle (Figure.3.25). 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 « absents » par le modèle. En corollaire, 1-spécificité est égal au nombre de pixels « présents » dans la réalité et prédits « absents » par le modèle. A partir de cette courbe, la valeur d'AUC est calculée pour tester la pertinence du modèle ; (1) Modèle parfait avec une valeur d'AUC égale à 1 ; (2) Modèle avec une valeur d'AUC entre 0.5 et 1, sachant qu'une valeur d'AUC supérieure à 0,9 correspond à un modèle exceptionnel, une valeur entre 0,9 et 0,8 suppose un excellent modèle et

une valeur entre 0,8 et 0,7 caractérise une simulation acceptable. (3) Modèle simulé aléatoirement avec une valeur d'AUC égale à 0,5 **(Phillips et al., 2004; Philips et al., 2006; Philips & Dudı´k, 2008)**.

En comparaison avec d'autres techniques de modélisation, Maxent est la méthode la plus

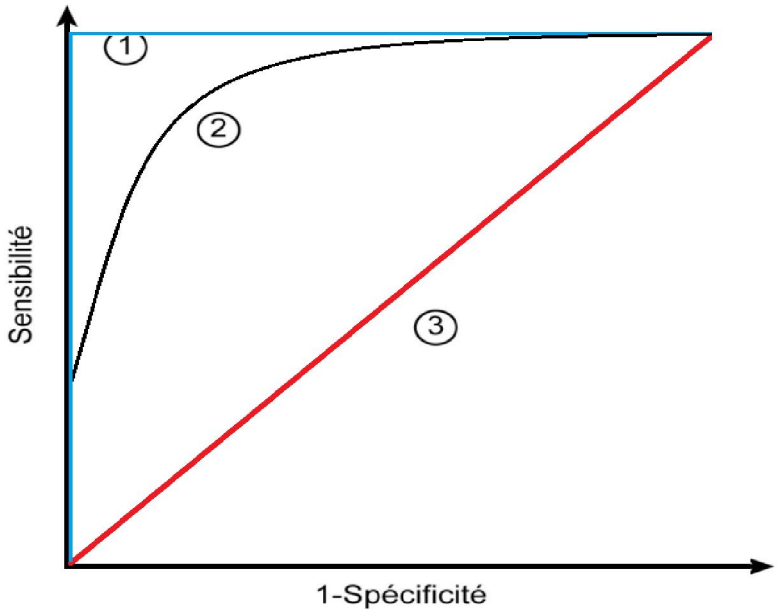


Figure.3.25 : Les cas théoriques pour l'analyse de l'AUC

performante **(Phillips et al., 2004; Philips et al., 2006; Philips & Dudı´k, 2008)**, et parait être relativement insensible à la réduction du nombre de sites d'occurrence utilisés dans la modélisation **(Philips et al., 2006; Pearson et al., 2007).**

i. Test Binomial

Pour savoir si les modèles sont significatifs et meilleurs qu'un modèle aléatoire un test statistique binomial est utilisé. P-value de chaque modèle est automatiquement calculée par Maxent, elle peut être utilisée directement pour évaluer la performance des prédictions avec des p-value<0.005et α=0.05 (niveau de confiance à 95%) **(Philips et al., 2006)**

b) Contribution des variables environnementales au modèle

La contribution relative de chaque variable environnementale dans la construction du modèle est également calculée. L'interprétation de ces contributions doit cependant être

effectuée avec précaution car les calculs prennent en compte les corrélations entre les variables **(Phillips et al., 2004)**.

c) Courbe de réponse écologique

La courbe de réponse (Figure.3.26.) de l'espèce aux différentes variables environnementales permet de tirer des conclusions sur les facteurs propices à son développement ou au contraire qui limitent sa distribution, en termes de probabilité d'occurrence en suivant le gradient écologique (pour chaque variable).

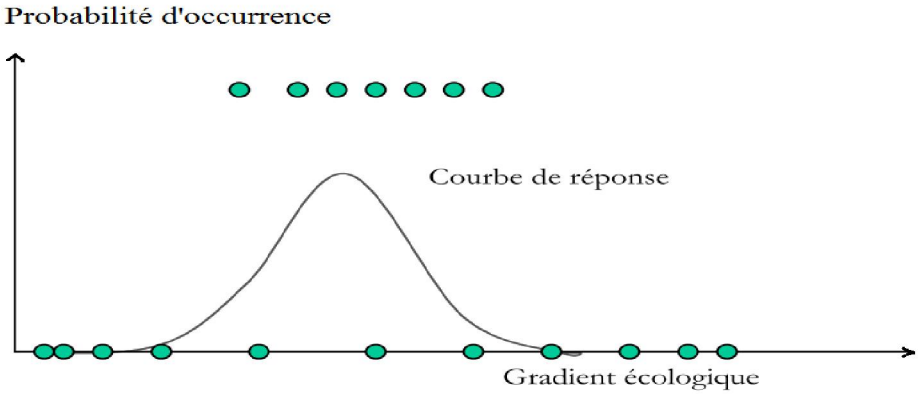


Figure.3.26: Courbe de réponse

4.3.3. Construction des modèles

a) Modèle *S.a. algira*

33 sites d'occurrence géoréférencés ont été utilisés par MaxEnt pour générer la carte de distribution potentielle de *S.a. algira*, en considérant les caractères linéaire, quadratique et dépondant **(Philips et al., 2006)**, en générant 100 réplicats (modèles) avec la méthode «sub-échantillonnage » fixant le nombre d'itérations pour chaque modèle à un maximum de 2000. On 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 **(Philips & Dudı´k, 2008; Beukema et al., 2010)** laissant les autres paramètres au réglage par défaut. L'aire prédite s'étant sur l'Algérie tellienne, elle est définie entre les latitudes « 34.12°N-37.45°N» et longitudes « -2.39°W-8.73°E ».

b) Modèle *P. nebulosus*

62 points d'occurrence constituent la base de données utilisée par MaxEnt, issues de notre compagne d'échantillonnage (11 sites de présence), et de celles d'anciennes publications **(Samraoui et al., 2012; Ben Hassine et al., 2012)**. Le paramétrage du modèle est identique à celui de *S.a. algira*. L'aire modélisée s'étant sur la Tunisie et l'Algérie septentrionales, entre les latitudes « 33.34°N-37.69° », et longitudes « -2.64°W-11.39°E ».

Chapitre 4

Chapitre 4 : Résultats et discussions

1. Donnés de présence et d'absence des deux urodèles

Sur un total de 62 sites explorés, la présence de la Salamandre algire a été confirmé dans 29 sites et celle du Pleurodèle dans 11 sites, et seulement 2 sites se sont révélés comme abritant les deux Salamandridés en même temps. L'observation directe d'adultes ou de juvéniles dans un site donné nous conduit à le considérer comme positif, mais 22 sites ont été marqués comme positif suite à la découverte de larves dans l'eau.

L'absence d'urodèles dans 20 sites, même apparaissant potentiellement favorable à leur existence, peut être considérée comme une vraie absence. Néanmoins, cela pourrait correspondre à une fausse absence car les urodèles pourraient y être présents avec une abondance très faible et une discrétion ne permettant pas de les repérer lors des échantillonnages sur le terrain. L'ensemble des sites abritant l'une ou l'autre des deux espèces sont représentés dans la carte suivante (Figure.4.1)

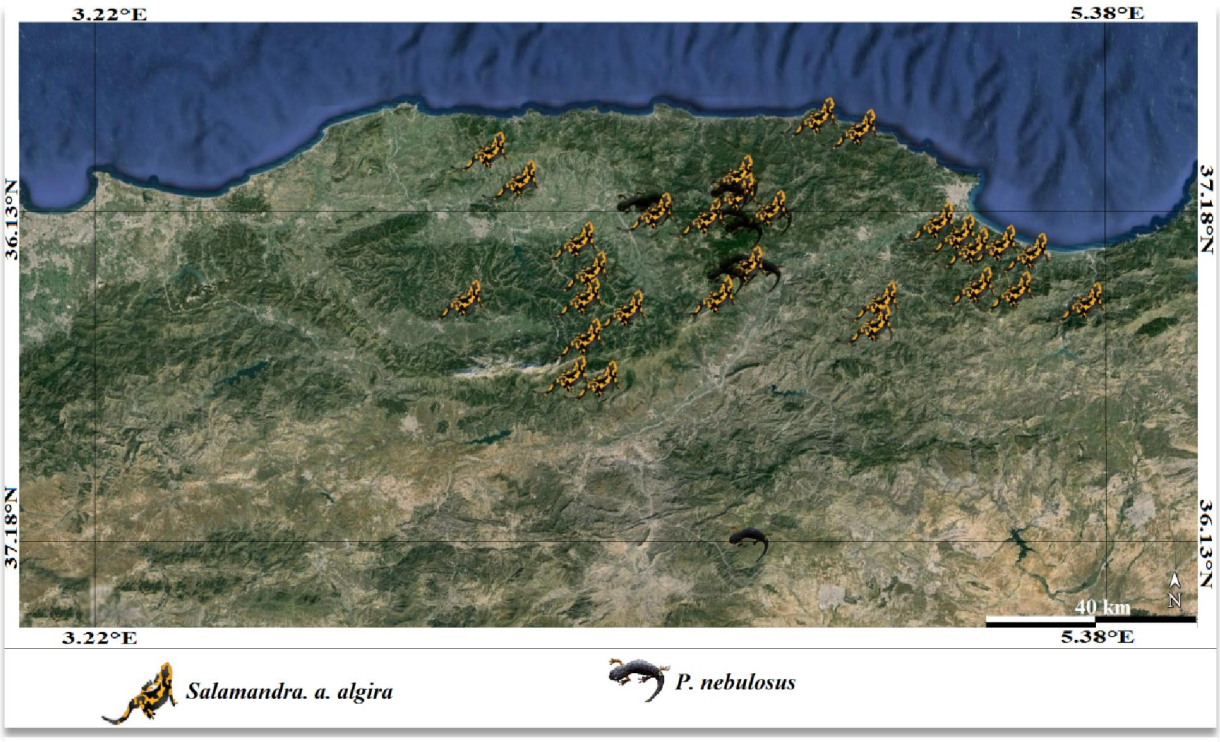


Figure.4.1 : La distribution des deux espèces en Kabylie

Pendant l'échantillonnage des stations ciblées, nous avons remarqué que les deux espèces étudiées existent seulement dans les mares temporaires, les mares permanentes, les fossés de piste et les bassins de source, cependant, la fréquence de ces deux espèces diffère d'un type d'habitat à un autre (tableau.4.1)

Tableau.4.1 : Pourcentage d'occurrences des deux espèces dans les différents habitats

	Nombre de sites échantillonnés	(%) de fréquence (*S.a.algira*)	(%) de présence (*Pleurodeles nebulosus*)
Les mares permanentes	19	15.28 %	36.36%
Les mares temporaires	18	13.14 %	63.63 %
Les fossés de pistes	06	20.14 %	0 %
Les bassins de source	19	51.42 %	0 %

Le tableau précédent montre qu'il y a une différence concernant la répartition des deux urodèles. Au niveau des bassins de source et les fossés de piste aucune présence du pleurodèle n'a été marquée (0%), en revanche on a marqué 51.42 % de bassins et 20.14 % de fossés comme des sites de présence de la salamandre. Les mares temporaires constituent le type recherché par *Pleurodeles nebulosus* avec pourcentage de fréquence le plus élevé (63.63 %), tandis que *Salamandra algira* montre un taux de présence le plus faible dans ce type d'habitat (13.14 %).

La fréquence de *Pleurodeles nebulosus* dans les mares temporaires et les mares permanentes (avec une nette préférence pour les premiers) mène a conclure que ces mares représentent un milieu d'excellence pour cette espèce, tandis que la salamandre algire manifeste une préférence quasi exclusive aux points d'eau singuliers tels que les bassins de source et de fontaines sauvages et les fossés inondés le long des routes.

2. Caractérisation de l'habitats des deux espèces d'urodèles

Tous les sites de présence que nous avons marqués, ils étaient soit des sites occupé par *S.a.algira* soit par le *Pleurodele nebulosus*, seulement deux sites ont été marqués comme sites de présence pour les deux urodèles ensemble, mais cela concerne seulement les adultes sur le milieu terrestre, mais sur les plan d'eau des deux sites, nous avons observé seulement la présence d'une seule espèce, soit les larves de Salamandres, soit celles du Pleurodèle, mais dans aucun cas des deux à la fois.

2.1 Habitat de *S.a.algira*

a) Habitat terrestre

S.a.algira est une espèce très liée a la présence de l'eau sauf que cette sous espèce est très difficile à trouvé, dans les rare fois où nous l'avons observé, elle était caché sous le sol à une profondeur qui dépasse 50 cm, entre les pierres et les racines de plantes (Figure4.2), d'autres directement sous les pierres dans les microhabitats humides. Tous les individus cachés que nous avons rencontrés n'étaient pas en hibernation mais en pleine activité, ce qui nous pousse à déduire que ces individus n'ont pas choisi ces cachettes pour hiberner mais en tant qu'abri diurne humide.

Figure.4.2 : Habitat terrestre de *Salamandra algira algira*

b) Habitat aquatique

Les larves de *S.a.algira* ont été observées dans les points d'eaux stagnantes telles que les mares temporaires, les mares permanentes, les fossés de pistes et les bassins de source avec une nette préférence pour ces derniers. Tous les bassins de sources que nous avons échantillonnés étaient sous forme d'un espace délimité par des lignes de partages où l'eau de source s'accumule (figure.4.3), sont en générale crée par l'homme dans le but de stocker l'eau pour l'utilisée dans l'agriculture ou le pâturage par exemple, la superficie moyennes de ces bassins varie entre 2 à 5 m² avec une profondeur de 20 cm à 1 m. L'alimentation en eau se fait directement par l'eau de source ou indirectement par les eaux de pluie. Malgré que ces bassins ont une superficie faible mais elle peut être un endroit approprie pour quelques espèces animale tel que la grenouille verte et espèces végétale tel que les algues.

Figure.4.3 : Bassins de source sur le terrain

2.2. Habitat de *Pleurodeles nebulosus*

D'après nos observations, *Pleurodeles nebulosus* est une espèce très liées à la présence de l'eau stagnante, les points d'eau où nous l'avons observée ils étaient proximité des forets. Malgré nos efforts de prospections, aucun animal retrouvé près d'un plan d'eau courante comme l'avait signalé Blanc en 1935.

a) Habitat terrestre

Nous avons observé que les adultes hiberne dans un périmètre d'environ trois cents mètres du plans d'eau, sous le couvert de la végétation, dans les crevasses des pierres, enfouie sous les feuilles mortes, de vieux cartons et des vêtements, ou dans tout autre endroit caché lui fournissant une humidité suffisante de la fraicheur. Ces observations notées sur le terrain de notre zone d'étude concordent avec celles rapportées par Ben Hassine en 2013 pour la Tunisie.

b) Habitat aquatique

Dans tous les points d'eau échantillonnés, les larves de *Pleurodeles nebulosus* ont été observées seulement dans les mares permanentes et les mares temporaires (Figure.4.4), avec une nette préférence pour ces derniers, ces mares temporaires que nous avons visitées généralement occupent des dépressions plus ou moins fermées, et leurs superficie varie de quelques dizaines de mètres carrés à quelques hectares, avec une faible profondeur (quelques centimètres à 2 m) permet généralement à toutes les couches d'eau d'être sous l'action du rayonnement solaire, ainsi qu'aux plantes de s'enraciner sur tout le fond. Parmi les plantes les plus rencontrées dans ces mares, on cite Polygonum amphibium, Scirpus maritima, Ranunculuc peltatus, Isoetes velata, Juncus acurus.

Les mares temporaires subissent en cours d'année, l'alternance d'une phase d'inondation et d'une phase d'assèchement. L'inondation se produit, généralement de la fin de l'automne à la fin du printemps. L'alimentation en eau se fait directement par les pluies, indirectement par les apports du bassin versant (ruissellement), et éventuellement par les eaux souterraines. Les amphibiens et les libellules sont les animaux que nous avons plus rencontrés dans ces mares temporaires.

Figure.4.4: Les mares temporaires

3. Sites de reproduction des urodèles

3.1. Cas du *Pleurodeles nebulosus*

Au cours de nos prospections de terrain, les pontes de *Pleurodeles nebulosus* ont été observées sur une période qui s'étale de décembre à fin avril, qui correspond à la fin avril, qui correspond à la fin de notre travail de terrain. Les larvaires ont été rencontrés exclusivement dans des plans d'eau peu à moyennement profonds (0,1 à plus 1,5 m), aussi bien temporaires que permanents avec une végétation aquatique, mais également dans des dépressions intraforestière. Les larves du Pleurodèle ont été observées avec des têtards des autres espèces d'amphibiens anoures rencontrées dans ces milieux comme la reinette méridionale (*Hyla meridionalis*).

3.2 Cas de S.a.algira

Sur le terrain, les larves et les pontes de *S.a.algira*, ont été observées un peu plus tôt que les larves de *Pleurodeles nebulosus* sur une période qui s'étale du début octobre à la fin avril, les stades larvaires ont été rencontrés surtout dans les bassins de source, mais aussi dans les mares permanentes, les mares temporaires et les fossés de piste, dans les plans d'eau les larves de

S.a.algira ont été observés avec des têtards des autres espèces d'amphibiens comme la grenouille verte (*Rana saharica*).

4. Donnés de l'élevage en captivité

Notre élevage a été entamé vers la fin du mois de Décembre 2013, cela est rendu possible après quelques sorties sur le terrain où nous avons eu la chance de trouver deux couples du *Pleurodeles nebulosus* ainsi que trois individus adultes de *Salamandra algira algira* (deux femelles et un male), ajouté à cela 5 larves qui ont été capturées dans le même site que les deux salamandres femelles.

Les individus capturés sur le terrain ont été mis dans des aquariums selon l'ordre suivant :

- Les deux couples de *Pleurodeles nebulosus* ont été capturés et mis dans deux aquariums séparément.
- Les deux femelles adultes de *Salamandra algira algira* ont été mises dans deux aquariums, où nous avons disposé des bouts de liège flottants comme surfaces de repos. Un autre terrarium a été réservé à l'adulte male.
- Les larves ont été gardées dans un bac en plastique rempli à hauteur de 20 cm.

4.1. Reproduction en captivité

Depuis nos sorties sur le terrain nous avons pu trouver deux couples adultes de *Pleurodeles nebulosus* le 25 janvier 2014, chose qui n'est pas facile quand on sait qu'il s'agit d'une espèce rare (**Samraoui *et al* 2012**). Pour les salamandres algire nous avons pu collecter deux femelles adultes et un male en plus de 5 larves le 24 novembre 2014, que nous avons gardé au laboratoire tout comme les deux couples de tritons. Avec les individus adultes collectés nous avons pu démarrer notre élevage. Notre élevage s'est déroulé comme décrit dans la partie "matériel et méthodes", nous avons respecté au mieux les règles d'hygiène, d'alimentation et de la qualité de l'eau.

4.1.1. Cas de *Salamandra algira algira :*

Au laboratoire nous n'avons pas eu la chance d'assister a un accouplement du moins en direct, mais en contrepartie, après une période de 28 jours des deux femelles, nous avons constaté la naissance de larves a une température moyenne de 15°C, de dans les deux aquariums contenant les salamandres adultes selon la chronologie suivante :

Tableau.4.2. Chronologie de ponte de deux adultes

Dates	Salamandre dans le terrarium N°01	Salamandre dans le terrarium N°02
17/12/2013	Une larve	Deux larves
18/12/2013	Trois larves de plus	Une larve de plus
20/12/2013	Deux larves de plus	Une larve de plus
24/12/2013	Pas de larves de plus	Neuf larves de plus
26/12/2013	Pas de larves de plus	Trois larves de plus
12/01/2013	Pas de larves de plus	Une larve de plus
Total	**Six larves**	**Dix-sept larves**

Les larves sont nées avec trois paires de branchies qui ne dépassent pas les pattes antérieures, une queue fortement aplatie avec une crête qui n'atteint pas les pattes antérieures (Figure.4.5). Elles sont discrètement colorées avec quatre taches distinctives au niveau de chaque insertion de patte.

Figure.4.5: Larve *S.a.algira* née au laboratoire

Comme expliqué dans le (Tableau.4.2), les pontes se sont étalées sur une période de trois jours pour la femelle du terrarium N° 1 et 25 jours pour la femelle du terrarium du N°2. Les larves avaient une taille moyenne de 35mm.

Ce résultat peut être expliqué par le fait que les femelles sont capturées gravides car leur période d'accouplement a lieu en général au début de l'automne, et qu'elles ont pu pondre des larves avant leur transfert au laboratoire, vu qu'en moyenne elles pondent plus d'une vingtaine dans la nature (**Donaire-Barroso & Bogaerts 2003**). Ce résultat nous a permis de mieux comprendre le mode de reproduction ovovivipare de cette espèce. Les larves pondues au laboratoire sont suivies tout au long de leur développement en vue de caractériser les différents stades larvaires.

4.1.2. Cas du *Pleurodeles nebulosus* :

Tout comme les femelles de la salamandre algire, nous n'avons pas pu assister à un accouplement au laboratoire, sauf à des tentatives trop brèves pour être prise en photos, mais après une période de 10 jours de captivité nous avons eu une ponte dans l'un des aquariums contenant les deux couples de pleurodèle. La ponte été sous forme d'une gangue (masse) gélatineuse accrochée à la végétation (Figure.4.6) qui a servie comme support, à l'intérieur du sac nous avons compté 10 œufs d'une taille de 3-5 mm.

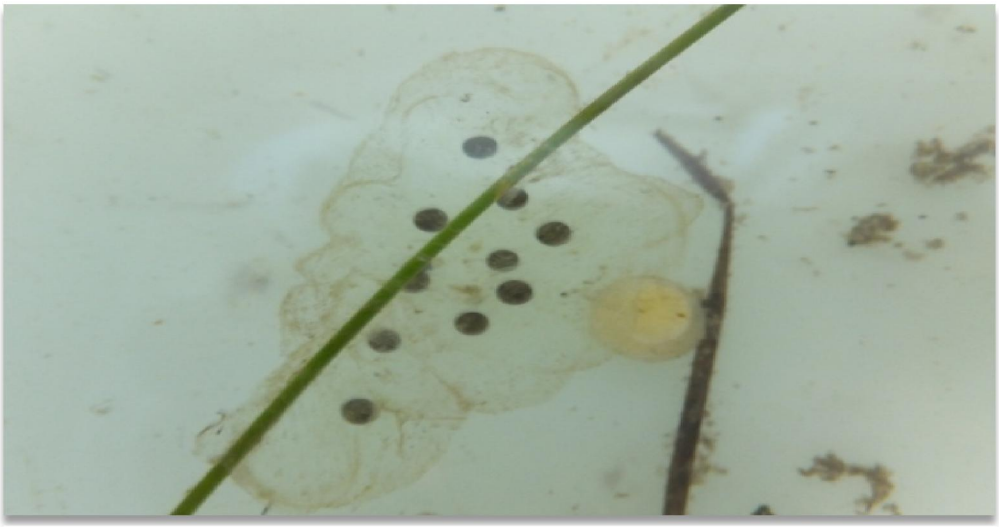


Figure.4.6 : Sac d'œufs du *Pleurodeles nebulosus*

Comparativement aux résultats d'élevage de Benhassine (2012) qui a travaillé sur la même espèce en Tunisie, le femelle pond de 100 à 200 œufs en plusieurs grappes, alors que dans notre cas la femelle n'a pondu qu'une seule gangue ce qui peut être expliqué par le fait le femelle a probablement pondu dans la mare près de la quelle nous l'avons capturée, avant même qu'on le trouve.

La ponte a eu lieu la nuit à une température de 16°C ce qui est favorable d'après les résultats de Benhassine (2013). Les œufs se sont éclos après huit jours de la date de ponte à une température variant entre 15 et 19°C (Figure.4.7)

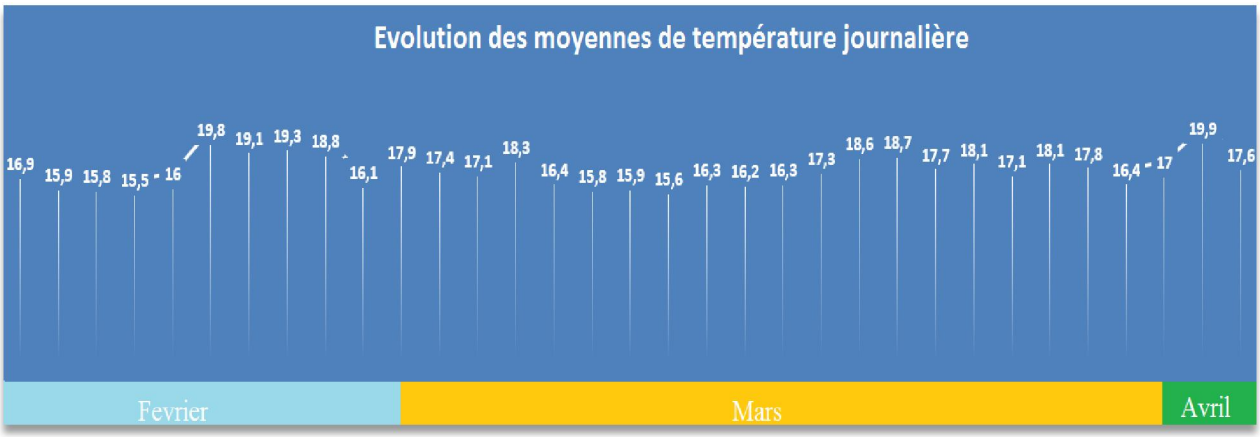


Figure.4.7 : Evolution des moyennes de température journalière

Cette ponte nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Confirmer le mode de reproduction ovipare pour les populations de Kabylie.
- ✓ Comprendre et voir de pré a quoi ressemblent les pontes du triton afin de les reconnaitre facilement sur le terrain.
- ✓ Estimer la durée nécessaire pour l'éclosion des œufs.
- ✓ Pouvoir suivre et caractériser les différents stades de développement.

4.2. Alimentation et comportement en captivité

4.2.1. Le régime alimentaire durant l'élevage

Le régime alimentaire des larves des urodèles est généralement le même que les adultes mais avec une présentation plus petite en taille, dans notre cas les larves de *Salamandra algira algira* et du *Pleurodeles nebulosus* sont nourries avec une variété de proies (morceau de vers de terre, vers de farine, asticots et larves de moustiques) selon leurs disponibilité.

Le régime alimentaire des adultes (*Salamandra algira algira* et *Pleurodeles nebulosus*) reste très peu connu et cela est dû au manque d'études dans ce sens, durant notre élevage nous avons nourris les adultes des deux espèces avec des lombrics principalement, ainsi qu'avec d'autres macroinvertébrés (aillant une taille ne dépassant pas la bouches de urodèles) capturés sur le terrain, a raison d'un repas tous les deux jours. le régime que nous avons adopté durant notre élevage a bien fonctionné dans l'ensemble vu que nos animaux se sont bien porté durant toute la période de captivité.

4.2.2. Le comportement alimentaire

Durant notre élevage nous avons pu noter quelques observations relatives aux comportements alimentaires des urodèles (larves et adultes) qui peuvent être résumées comme suit :

- **Cas des adultes**

Pendant le nourrissage des salamandres et des tritons adultes au laboratoire, nous avons remarqué qu'ils ont deux méthodes de chasse, pendant la journée (disponibilité de la lumière), ils n'attaquaient une proie que si cette dernière est en mouvement et ignoraient les proies immobiles. En revanche, pendant la nuit (absence de lumière), les urodèles attaquaient la proie même si elle ne bougeait pas ce qui est en concordance avec les résultats d'autres études sur ce même taxon. Ce qui confirme que la vision chez les salamandridés ne devient optimale que sous de faibles intensités lumineuses, expliquant ainsi leur efficacité de chasse pendant la nuit (**Silvestre, 2011**).

Chez les deux espèces, a la vue d'une proie vivante une sorte de compétition est enclenchée entres les individus (Figure.4.8) qui peut aller jusqu'à mordre pour s'accaparer la proie. Dans ces duels les tritons males sont moins féroces que les femelles ce qui peut être expliqué par leurs

tailles relativement petites par rapport aux femelles. Chez les salamandres, le male évite carrément de se confronter aux femelles et s'éloigne souvent a la vue d'une proie (il ne se nourris que rarement). Aucune préférence alimentaire n'a pu être notée, mais appart le penchant pour les proies vivantes (mobiles) qui stimulent et incitent les adultes à se nourrir.

Figure.4.8: Compétition alimentaire entre salamandres, deux femelles adultes

- **Cas des larves**

Les larves des deux espèces s'alimentaient convenablement avec les proies mises à leurs dispositions, à la vue d'une proie vivante les larves deviennent très agiles et voraces. Aucune préférence alimentaire n'a pu être notée, toutes les proies servies sont dévorées pourvu qu'elles n'aient pas une taille dépassant la bouche des larves. Parmi les observations étonnantes faites au laboratoire nous avons pu assister au phénomène de cannibalisme chez les larves des deux espèces (Figure.4.9) ce qui peut être expliqué par l'absence de nourriture pendant trois jours pour cause

d'inaccessibilité au laboratoire. les larves de grande taille s'attaquaient aux petites en les avalant peu à peu du bout de la queue jusqu'à la tête. Il faut noter que ce phénomène est très courant aux stades larvaires.

Figure.4.9: Phénomène de cannibalisme entre larves de salamandres

4.3. Activité et déplacements

Durant l'élevage les des deux espèces adoptent des comportements différents :

Les salamandres se cachent à l' abri de la lumière et restent sous les mousses et bouts de liège humides presque toute la journée et ne sortent que lors du nourrissage, leur activité est alors au plus bas et se déplacent lentement.

Les tritons sont presque actif toute la journée et sembles pas gênés par la lumière, ils passent la plus grande partie de la journée dans l'eau et ne la quittent que pour se reposer le soir entre les bouts de lièges et la végétation.

Cependant chez les deux espèces des phénomènes de mue sont observés périodiquement, où l'on peut voir nettement les exuvies qui gardent exactement la même forme que les animaux (Figure.4.10) Dans de rares cas cette exuvie est mangée par les urodèles.

Figure.4.10 : exuvie du pleurodèle d'Algérie

Les larves de deux espèces sont très proches dans leurs activités et déplacements, où elles restent en mouvement le plus grand de la journée, elles préfèrent les endroits ombragés des bacs plutôt que ceux exposés à la lumières. Après leurs métamorphoses les larves de la salamandre algire ne rejoignent l'eau que rarement, elles deviennent essentiellement terrestre tout comme les adultes.

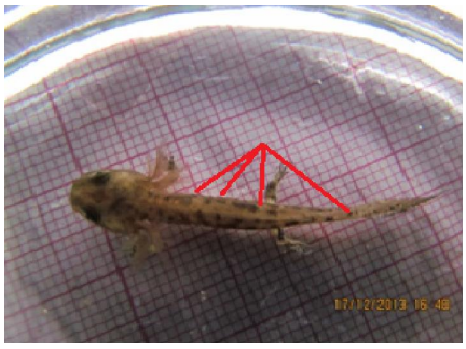
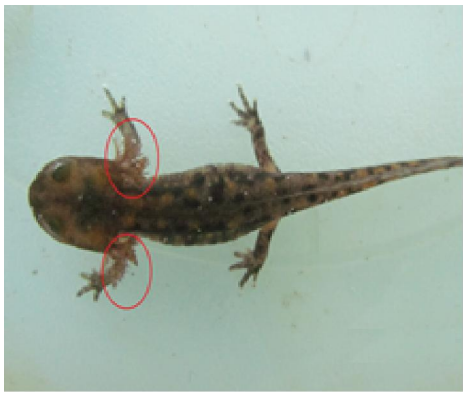
4.4. Caractérisation des différents stades de développement

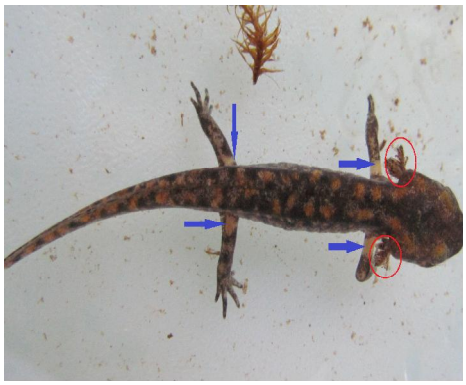
Tout au long de notre élevage nous avons pu observer les différentes étapes par les quelles passent les larves du triton d'Algérie et la salamandre algire, nous avons noté les observations suivantes :

- **Cas de *Salamandra algira algira*:**

Après une période d'élevage de six mois au laboratoire nous avons pu obtenir des données intéressantes sur l'écologie de *Salamandra a. algira*, nous avons pu voir sa façon de se reproduire et ainsi caractériser certaines étapes de son développement, de la ponte jusqu'à la métamorphose. Les principales observations ont été résumées dans le tableau suivant :

Tableau.4.3: Stades de développement de *S.a. algira*

Date	observations	illustrations
Le: **14/12/2013** (Une Journée après la ponte)	• À la naissance, les larves mesurent 30-40 mm, avec quatre pattes entièrement formées, trois paires de branchies externes ne dépassant pas les pattes antérieures. • Une queue aplatie latéralement et pointue à l'extrémité, avec des taches noirâtres de part et d'autre. • Une crête dorso caudale allant jusqu'aux pattes postérieures discrètement colorée. • Une tête relativement grande et aplatie	
Le: **24/12/2013**	• Après dix jours de la ponte, nous avons noté une coloration plus marquée sur tous le corps avec quatre taches claires distinctives du genre, au niveau de l'insertion de chaque membre.	
Le: **08/01/2014**	• Après 24 jours de la ponte, les larves ont une taille moyenne de 49 mm. • les branchies commencent à se rétrécir (figure en face). • Une coloration plus contrastée, avec des taches en jaune et noire qui commencent à se dessiner. • Les pattes sont relativement plus grandes avec des doigts (orteils) distingués. • La queue commence à s'arrondir.	

Le: **28/01/2014**	• Après un mois et demi de la ponte, les larves ont une taille moyenne de 54mm. • nous remarquons les branchies très régressées inversement aux pattes qui grandissent. • Le motif de coloration devient plus clair, il est sous forme de deux lignes tout au long du corps avec quatre taches sur la tête. • La tête gagne en volume ce qui explique les proies plus grandes consommées par les larves à ce stade.	
Le: **17/02/2014**	• Après exactement 64 jours de la ponte toutes les larves se sont métamorphosées à une taille moyenne de 66 mm, avec ce phénomène elles marquent le passage de la vie aquatique a la vie terrestre. La métamorphose s'est distinguée par ; • la disparition complète des branchies, • une queue arrondie et pointue à l'extrémité. • Des pattes larges et solides. • Une coloration d'adulte claire en orange (jaunâtre) et noir qui ne laisse apparaitre aucune ambigüité.	

Comme résumé dans le (tableau.4.3)**,** le suivi des animaux en captivité a montré que le mode de reproduction chez la salamandre algire est ovovivipare. Durant notre élevage nous n'avons pas assisté à des accouplements, de ce fait le nombre exact de larves pondues par une femelle adulte ne peut être estimé car il est possible que d'autres larves ont été déjà pondues avant la capture.

De façon globale nous estimons que notre travail en laboratoire nous a permis de comprendre certains comportements et activités de la salamandre algire relatifs à la reproduction. En allant de la ponte des larves jusqu'à la métamorphose. La larve de la *Salamandra a. algira* passe par plusieurs étapes, dès le premier jour de leur naissance les larves possèdent déjà une forme semblable au adultes mais appart la coloration et les branchies, qui disparaissent au fur et à mesure qu'elles grandissent (environ un mois et demi). Les larves sont très voraces et dévorent toutes les proies dont les tailles ne dépassent pas leurs museaux.

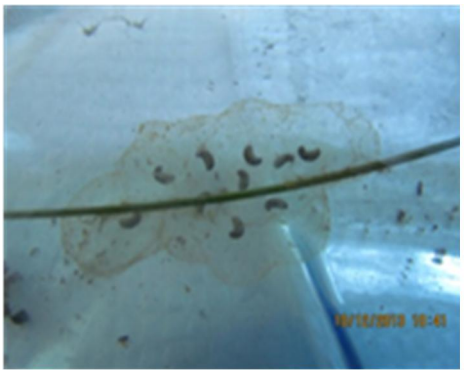
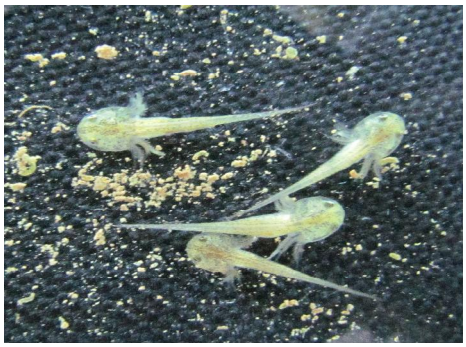
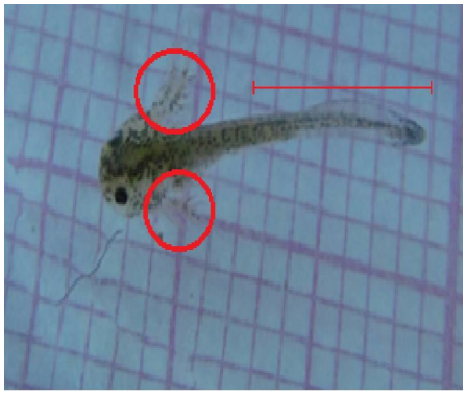
Après environ deux mois de la date de ponte, la métamorphose a donné des petites salamandres entièrement formées d'une taille moyenne de 6,5 cm avec une coloration semblable à celle des adultes.

- **Cas du *Pleurodeles nebulosus***

Après une période d'élevage de six mois en laboratoire nous avons pu obtenir des données fort intéressantes sur l'écologie du triton d'Algérie, nous avons pu voir sa façon de se reproduire et ainsi caractériser certaines étapes de son développement, de la ponte jusqu'à des stades larvaires avancés.

Comme résumé dans le (Tableau.4.4) le pleurodèle d'Algérie se reproduit par mode ovipare, par la ponte d'œufs entourés d'une membrane gélatineuse, nos résultats d'élevage montrent que la ponte se fait en déposant un amas d'œufs (une dizaine) fixé à un support (tiges végétales), une température variant de 14 à 18°C semble ne pas entraver la ponte. Après dix jours l'éclosion a donné dix larves très petites, elles ressemblaient aux l'adultes, sans les membres, avec l'ébauche des trois paires de branchies. La bouche et les fentes branchiales s'ouvrent précocement. La queue et le dos développent une crête faisant office de nageoire. Les larves sont carnivores comme les adultes.

Tableau.4.4: Stades de développement de *P.nebulosus*

Date	observations	illustrations
Le: **07/02/2014**	• À la ponte, les œufs mesurent 1-3 mm, ils ont une forme ovale caractérisée par la présence d'une couverture gélatineuse transparente • Les œufs sont déposés sur un support en un amas de dix œufs.	
Le: **21/02/2014**	• 15 jours après la ponte, nous avons noté l'éclosion des œufs une température variant entre 13 et 19°C, ils ont donné des petites larves d'une taille de 13-16 mm dépourvues de membres. • Trois paires de branchies externes sont visibles de part et d'autre de la tête. • Une tête fortement déprimée, plate et remarquablement grande. • La coloration des larves est claire parsemée de taches verdâtres. • Une queue aplatie latéralement et pointue.	
Le: **13/03/2014**	• Après 22 jours de l'éclosion, les larves ont atteint une taille moyenne de 36 mm. • une coloration qui tourne vers le vert olive avec des taches noires de part et d'autre du corps. • Une crête dorso caudale qui apparait aplatie latéralement et qui atteint l'abdomen contrairement aux larves de salamandre.	

Le: **28/01/2014**	• Après 52 jours nous avons noté ce qui suit : • Augmentation du volume corporel des larves (appareil squelettique formé) • Quatre pattes antérieures et postérieures ont fait leur apparition respectivement, au début les pattes ne dépassaient pas les branchies mais par la suite elles ont grandi inversement par rapport aux branchies qui ont régressé.	

Durant notre élevage nous n'avons pas eu la chance d'assister a la métamorphose des larves du pleurodèle d'Algérie vu que nous les avons toutes perdues a des stades précoces où le taux de mortalité est élevé comme le confirme les travaux de Benhassine (2012) sur la même espèce en Tunisie Lors de la métamorphose, les membres antérieurs précèdent les postérieurs. Les dernières étapes de la métamorphose sont rapides : régression puis perte des branchies, pigmentation de la peau et acquisition des caractères adultes **(Ben Hassine et al., 2012)**.

5. Distributions potentielles prédites

5.1. Modélisation de la distribution potentielle de *S.a. algira*

5.1.1. Performance du modèle

a) Test AUC

Le résultat de la modélisation est très satisfaisant avec AUCm (moyenne des 100 modèles générés) égale à **0.977 ± 0.006** (Figure: 4.11.), indiquant que le modèle est très performant. Cela témoigne des valeurs importantes de "Sensivity" et faibles de "1-Specificity", indiquant que le modèle a un niveau élevé de prédiction **(Phillips et al., 2004; Elith et al., 2006; Elith et al., 2011)**. Les variables environnementales qui ont participé le plus à la production du modèle (à plus de 90%) sont les précipitations du trimestre le plus froid (BIO19 à 87.4 %) et l'Isothermalité (BIO3 à 5.5%). Les autres variables sont peu significatives pour l'interprétation du modèle.

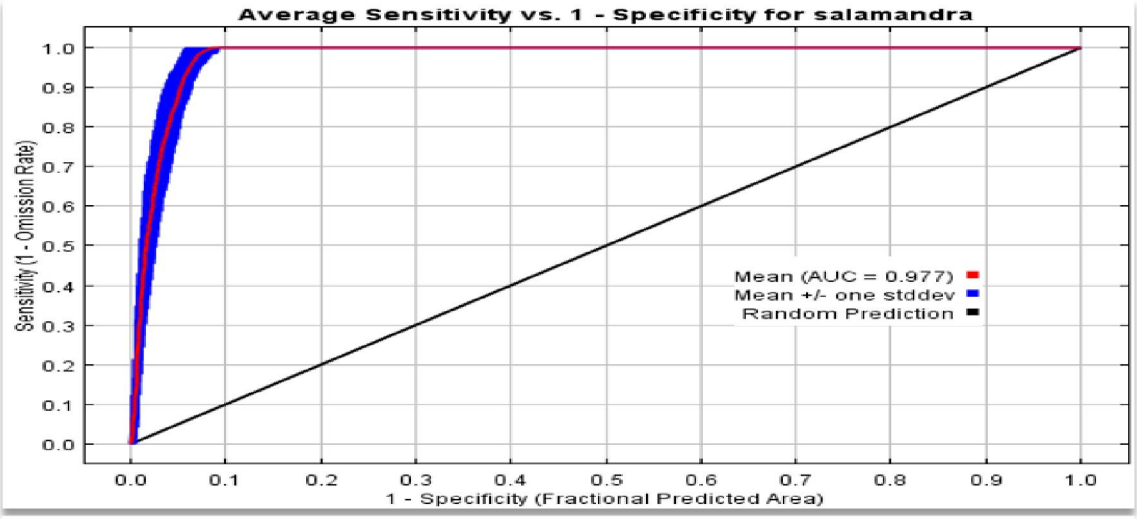


Figure.4.11: Valeur de l'AUCm de la moyenne des 100 modèles de *S. algira*

Tableau.4.5 : Contribution des variables environnementales au model

Variable	Percent contribution
BIO19	**87.4**
BIO3	**5.5**
BIO18	3.1
ALT	2.5
BIO5	0.8
LandCover	0.7

b) Test binomial

Les résultats de p-values du test binomial a révélé que tous les 100 modèles générés sont meilleurs qu'un modèle aléatoire, vue que leurs p-value<0.005 (α=0.05) ce qui permet de rejeter l'hypothèse H_0 avec un niveau de confiance de 95%, et confirmer la robustesse des modèles.

5.1.2. Distribution potentielle

La Figure.4.12, représente la distribution potentielle de *S.a. algira*. Elle s'étale sur le nord de l'Algérie, principalement à travers les wilayas d'El Tarf et Souk Ahras, Annaba, Guelma, Skikda, Jijel, Mila, Bejaia, Tizi Ouzou, Bouira, Boumerdès, Blida, Aïn Defla, Tipaza et Chlef. La probabilité d'occurrence telle que Maxent la produit, varie de 0 à 1. Pour que ces probabilités puisse être interprétée facilement, nous avons procédé à leurs seuillage, pour produire une carte de distribution potentielle à trois niveaux (Très favorable, Favorable et Peu favorable) de convenance des conditions environnementales.

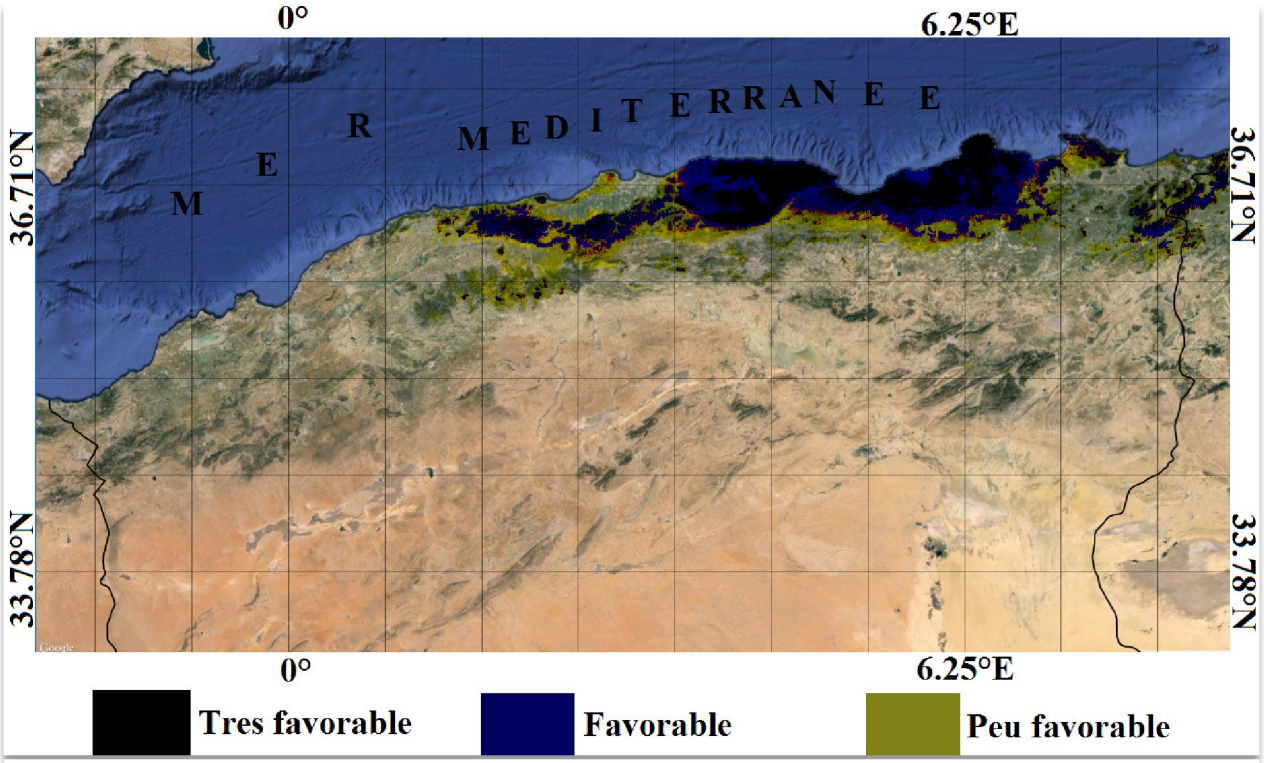


Figure.4.12 : Carte de distribution potentielle de *S.a. algira.*

Cette distribution est fortement conditionnée par la variable bioclimatique « précipitations du trimestre le plus froid ». La Figure.4.3, montre que les zones les plus favorables à l'espèce sont les plus arrosées (>350mm), avec une probabilité d'occurrence " >0.5" qui augmente jusqu'à "0.8" pour des précipitations dépassant les 690mm durant le trimestre froid. Cette préférence est expliquée par le fait que le mode de reproduction ovovivipare oblige *S.a. algira* à se cantonner aux zones à fort taux d'humidité nécessaire à la formation des mares qui sont le lieu de développement des larves. *Salamandra algira tingitana* (sous espèce marocaine) a le même mode de reproduction que *S. algira algira*, elle est aussi conditionnée dans sa répartition par les précipitations du trimestre le plus froid **(Beukema et al., 2010)**.

L'isothermalité « BIO3 » est positivement corrélée avec l'amplitude thermique diurne, ce qui implique que les probabilités d'occurrence >0.5 observées (Figure.4.13) entre les valeurs de BIO3 (26-30), qui sont des classes isothermes faibles, correspondent à des valeurs d'écart thermique diurne faibles, indiquant que les salamandres ont une préférence pour les régions où il n'y a pas de grandes fluctuations thermiques (zones arides et semi-arides). Ce constat confirme la

finesse de prédiction du modèle, qui est en adéquation avec le fait que l'échantillonnage soit négatif dans les stations arides et semi-arides à Bordj B. A. Arreridj.

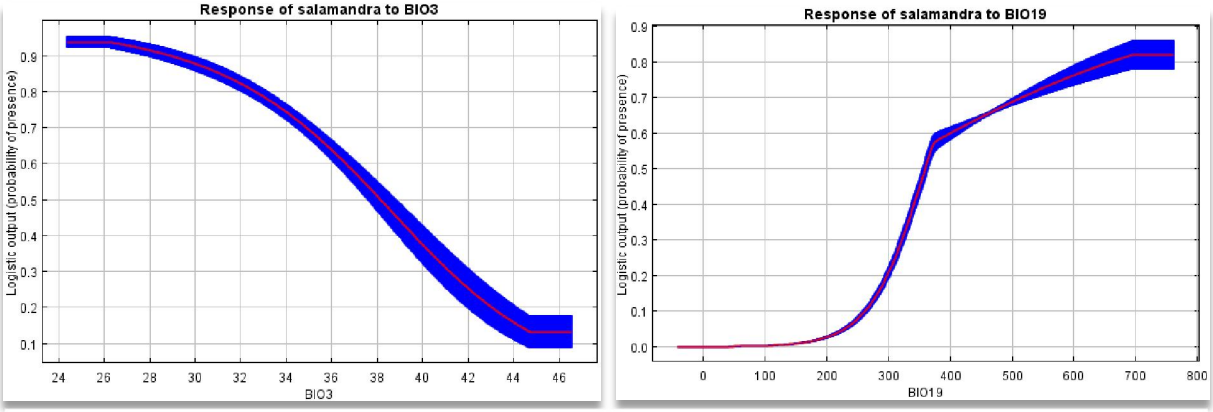


Figure.4.13 : Réponse de *S.a. algira* à BIO19 et BIO3

En superposant la carte des étages bioclimatiques (Figure.4.14), avec la carte de distribution potentielle de *S.a. algira,* il apparait clairement que la prédiction du modèle concernant les fortes probabilités d'occurrence (Très favorable), se limite principalement à l'étage bioclimatique humide, confirmant ainsi les conclusions tirées sur l'importance de la hauteur des précipitations pour cette espèce.

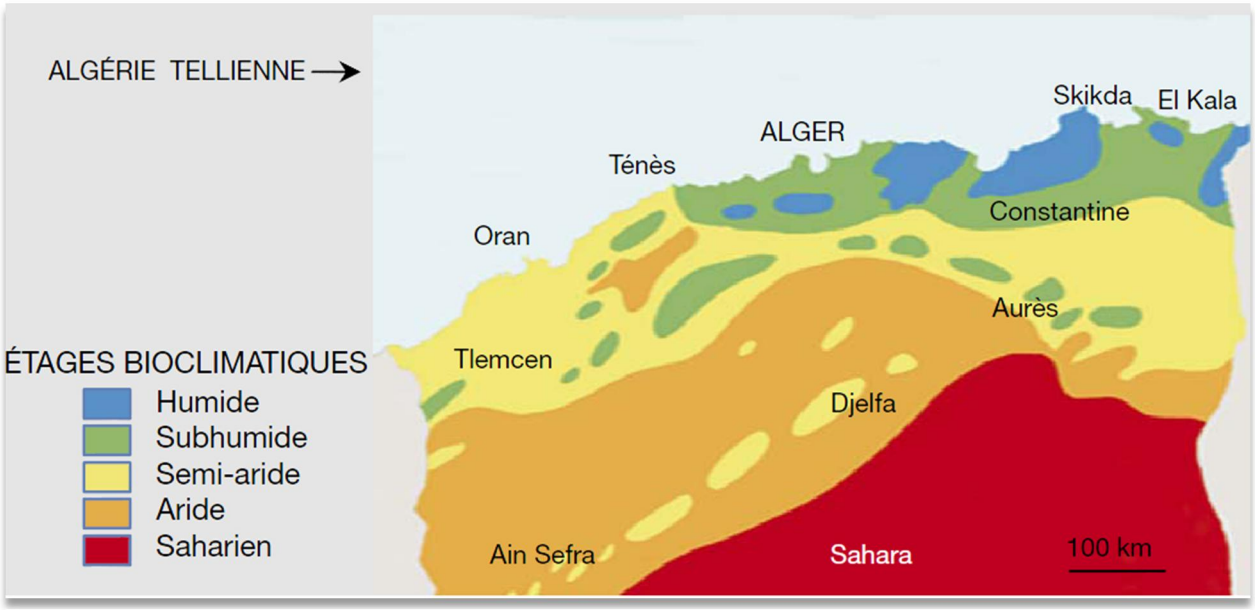


Figure.4.14: Contexte bioclimatique de l'Algérie Tellienne selon Stewart (1974) in ***(Amirouche & Misset, 2009)***

La distribution des populations de salamandre algire d'Algérie **(NatureServe & IUCN, 2012)** représentée sur la figure.4.15, est incluse dans l'aire prédite, sauf une population isolée de Tlemcen, que le modèle a omit de ses prédictions. Encore une fois, ce résultat confirme la justesse de prédiction du modèle. L'omission de la population de Tlemcen n'ampute rien à la qualité globale de prédiction, mais elle peut être expliquée par le fait que la base d'apprentissage du modèle n'est pas représentative à 100% afin d'inclure cette population isolée. La sensibilité du modèle augmente avec le volume de la base d'apprentissage (sites d'occurrence), qui permet à l'algorithme de détecter les infimes variations de l'entropie maximale dont le modèle va se rapprocher le plus dans ses prédictions.

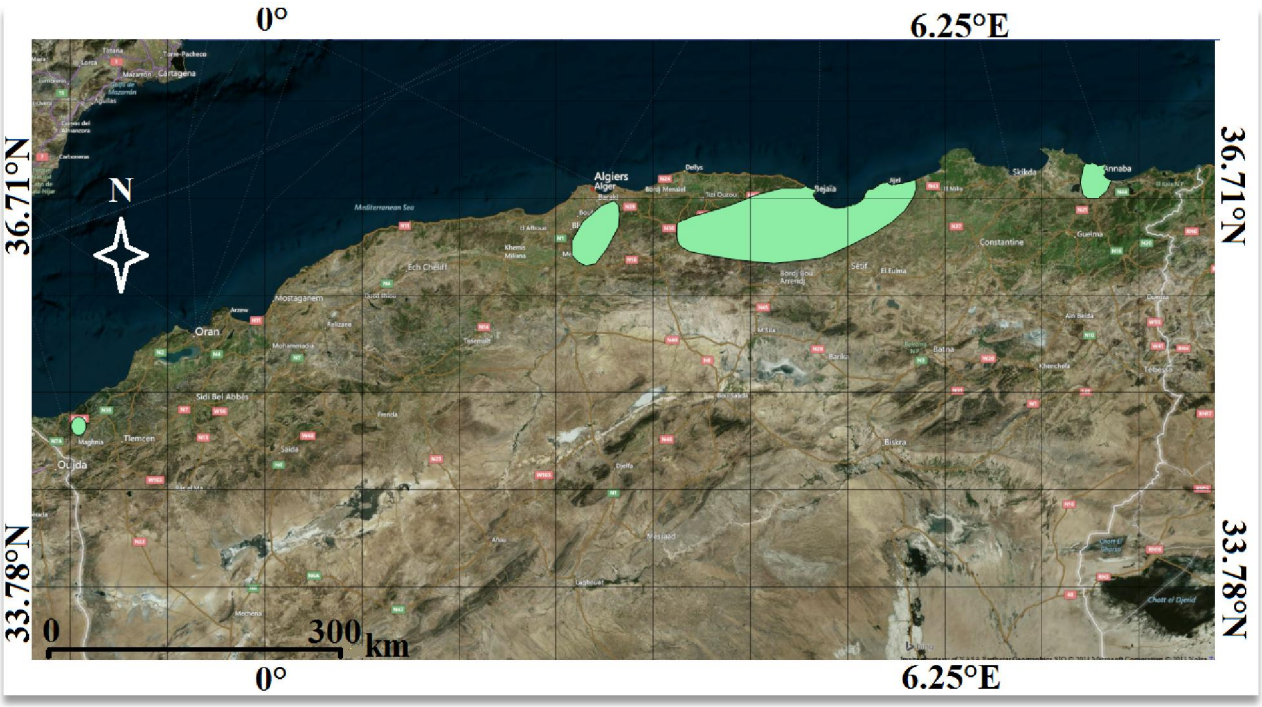


Figure.4.15 : Distribution des populations de *Salamandra algira* en Algérie, données *IUCN 2012* (Préparée sous Qgis)

5.2. Modélisation de la distribution potentielle de *P.nebulosus*

5.2.1. Performance du modèle

a) Test AUC

Le résultat des 100 modèles générés est excellent, étant donné que l'AUCm est égale à **0.966 ± 0.009** (Figure: 4.16.), ce qui implique une très bonne performance largement supérieure à une AUC avec une prédiction aléatoire **(Phillips et al., 2004)**. Les principales variables environnementales qui ont participé à la production du modèle à plus de 90% sont les précipitations du trimestre le plus froid (BIO19 à 68.3%), l'altitude (ALT à 13.5%) et les moyennes mensuelles de l'amplitude diurne de la température (BIO2à9%).

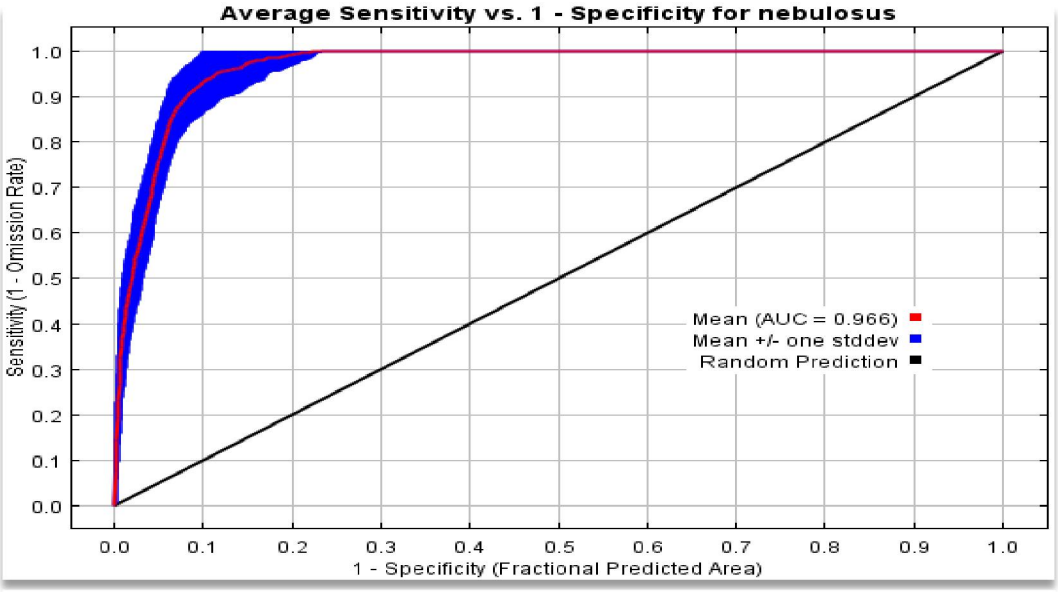


Figure.4.16: Valeur de l'AUCm de la moyenne des 100 modèles de *P. nebulosus*

Tableau.4.6 : Contribution des variables au model

Variable	Percent contribution
BIO19	**68.3**
Alt	**13.5**
BIO2	**9**
BIO3	3.4
LandCover	3.3
BIO6	1.5
BIO18	0.5
BIO5	0.4
BIO8	0.3

b) Test binomial

Comme pour *S. a. algira* les modèles de distribution potentielle de *P. nebulosus* sont meilleurs qu'un modèle aléatoire p-value étant inférieure à 0.005 (α=0.05) rejetant ainsi l'hypothèse nulle à un niveau de confiance de 95%.

5.2.3. Distribution potentielle

La distribution potentielle prédite s'étant de l'extrême est de la Tunisie jusqu'aux wilayas de Tissemsilt et Aïn-Defla, puis marque une discontinuité jusqu'à l'extrême ouest de l'Algérie, ou elle prédit une aire potentiellement favorable à la wilaya de Tlemcen. Nous remarquant aussi des aires prédites allant de l'atlas Tellien (du sud de Blida) jusqu'à la région des Aurès marquée par des discontinuités. (Figure: 4.16)

Cette répartition potentielle est expliquée par les précipitations du trimestre le plus froid. Selon les prédictions du modèle, les probabilités d'occurrence augmentent suivant le gradient de cette variable (Figure.4.17).

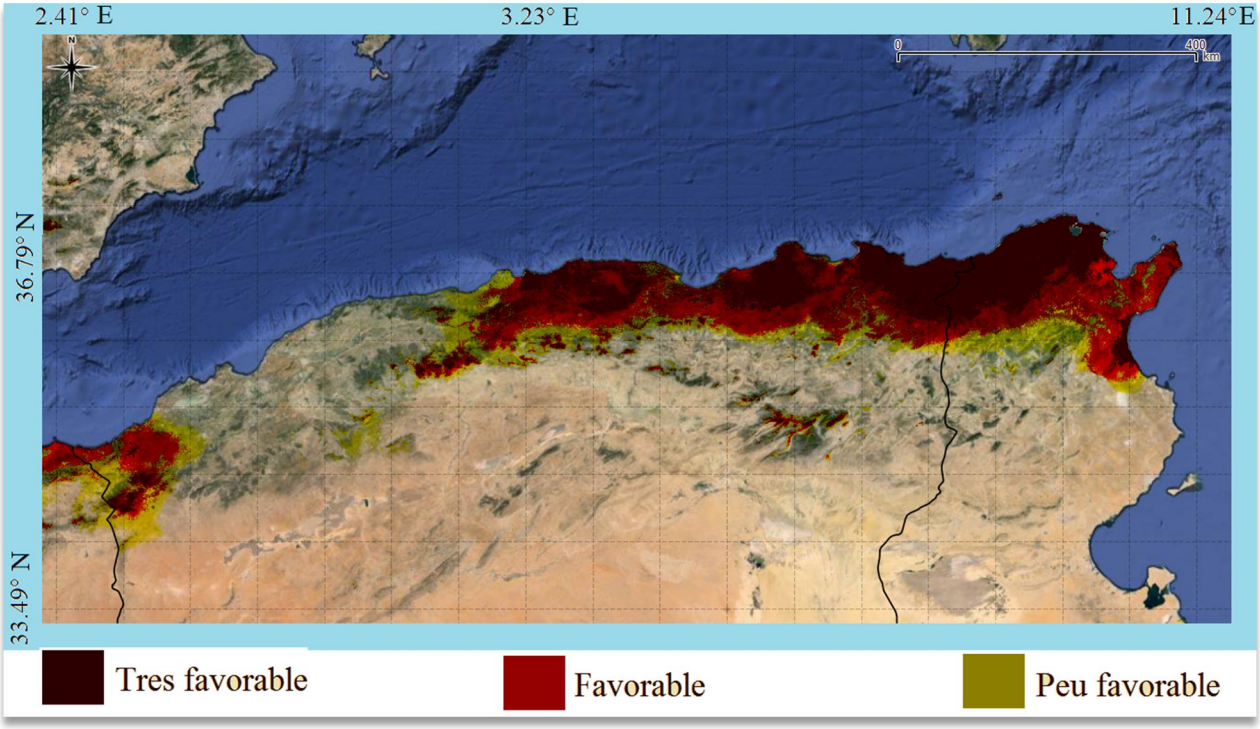


Figure.4.17 : Carte de distribution potentielle de *P. nebulosus*

Nous constatons que les zones potentiellement favorables à *P. nebulosus* ont un taux de précipitations (durant le trimestre le plus froid) supérieur à 200mm. La probabilité d'occurrence augmente dans les zones plus arrosées jusqu'à atteindre une probabilité de 0.8 à des précipitations supérieures à 690mm.

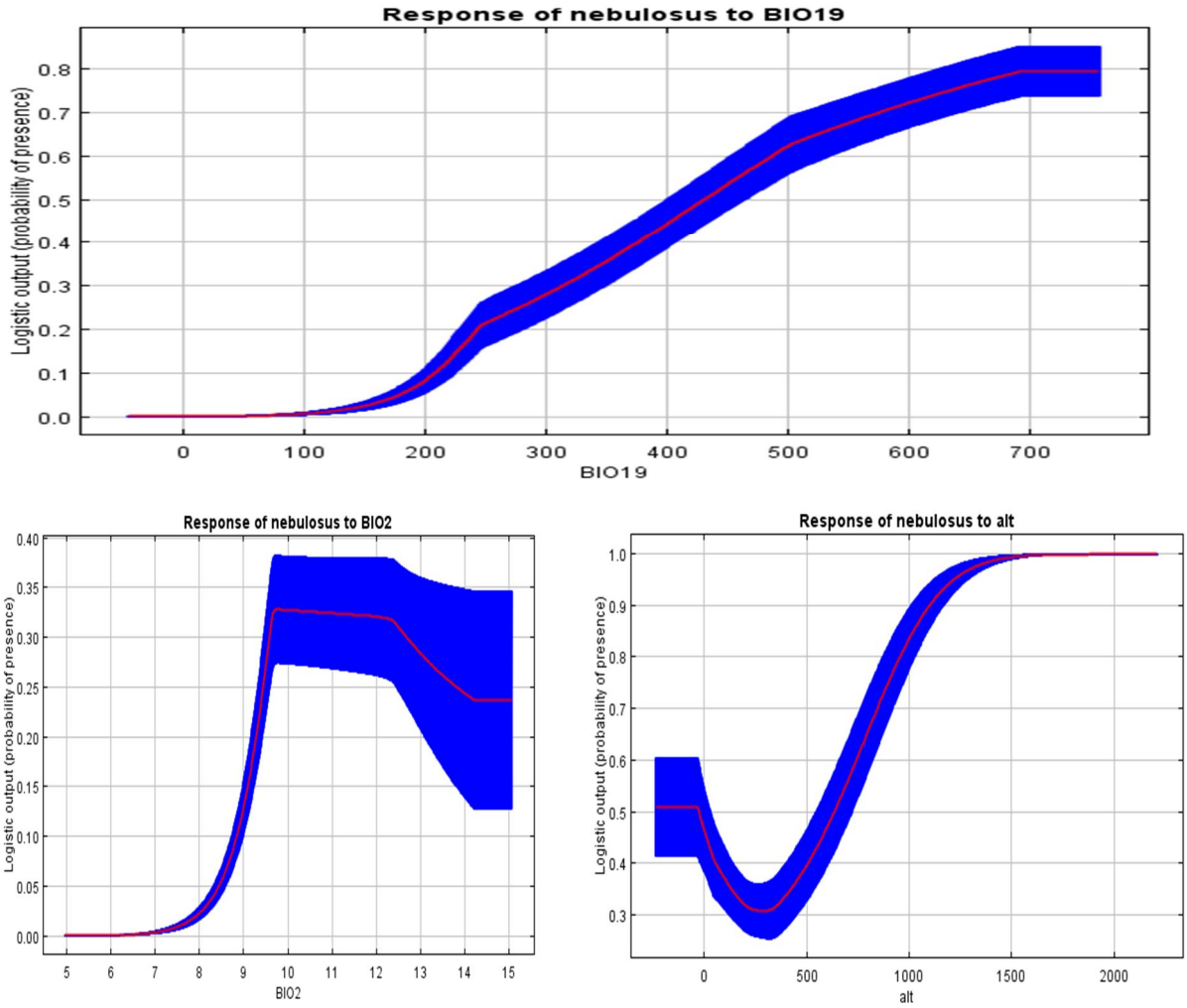


Figure.4.18: Réponses de *P. nebulosus* à BIO19, l'altitude et BIO2

13.5% de la répartition potentielle de *P. nebulosus* varie en suivant les classes d'altitude. La probabilité d'occurrence dans les basses altitudes est égale à 0.5, ce qui pourrait coïncider au littoral, puis chute avec l'augmentation de l'altitude et augmente à partir de 250m pour atteindre des probabilités élevées à partir de 900m allant jusqu'à 1 à partir de 1500m d'altitude (Figure.4.18).

Les moyennes mensuelles de l'amplitude diurne de la température (BIO2) sont peu explicatives de la répartition potentielle de *P. nebulosus,* car comme on peut le voir elles ne participent au modèle qu'à 9%, ajouté à ça l'écart type important. Selon Maxent, les aires peu favorables peuvent correspondre aux écarts de températures mensuelles compris entre 9.5°C et

12.5°, situées en dehors des zones à fortes probabilité d'occurrence, vu que la probabilité d'occurrence maximale est inférieure à 0.35.

Selon la carte des étages bioclimatiques **(Amirouche & Misset, 2009)** (Figure.4.4), de l'Algérie Tellienne, la répartition potentielle de *P. nebulosus* est située principalement dans les étages bioclimatiques humide (forte probabilité d'occurrence), subhumide (probabilité d'occurrence moyenne) et semi-aride (faible probabilité d'occurrence).

Ces résultats concordent avec la réalité du terrain et la biologie de *P. nebulosus,* sachant que sa survie est tributaire du milieu aquatique, ou il se reproduit, des précipitations qui le sortent de l'hibernation et des températures froides qui déclenchent l'amplexus et la ponte chez cette espèce. Ainsi, les conditions climatiques limitent directement le *P. nebulosus* d'étendre sa répartition, **(Ben Hassine & Nouira, 2010)**.

5.3. Futur échantillonnage ciblé

Au-delà des distributions observées et de l'étendue de la zone d'étude, selon les résultats des modélisations des deux espèces, leurs distributions potentielles sont principalement répondues aux étages bioclimatiques humide et subhumide, donc pour de futures compagnes d'échantillonnages il serait judicieux de cibler les régions les plus arrosées, afin de compléter la base d'occurrences observées dans les régions non échantillonnées. Mais, pour comprendre encore plus l'écologie des deux urodèles il faudra orienter l'échantillonnage vers les zones peu favorables, en en ayant pour but de vérifier la sensibilité et la justesse des modèles pour mieux caractériser les facteurs qui limitent leurs distributions. Les régions de Tbessa et des Aurès aux deux wilayas : Batna et Khenchela sont prédites comme étant des zones favorables à *P. nebulosus,* alors qu'il n'y a jamais été signalé auparavant. La distribution potentielle de *S. a. algira* dépasse largement celle de l'IUCN, sauf pour la région de Tlemcen à laquelle le modèle n'a pas étendue ses prédictions probablement à cause de non représentativité de la base d'apprentissage, cependant les cartes de distributions existantes pour les deux espèces d'urodèles, sont issues des relevés historiques qui remontent aux toutes premières compagnes d'échantillonnage, un fait qui remet en question l'existence actuelle des populations à cause de la destruction de leur habitat et du changement climatique.

Conclusion

Les Urodèles sont des animaux qui nécessitent beaucoup de soins et d'attention. Il est indispensable de leur fournir un environnement propre et sain et de veiller quotidiennement à ce qu'il le reste. La plupart des problèmes rencontrés dans les différentes étapes d'élevage est dû à une inadéquation entre les besoins des animaux et le milieu qui leur est proposé. Mais cette expérience au laboratoire nous a permis d'un coté de confirmer les deux modes de reproductions chez les deux espèces d'urodèle, le mode ovovivipare chez *Salamandra algira algira* et le mode ovipare chez le *Pleurodeles nebulosus*. Et d'un autre côté de suivre le développement des larves issues des femelles des deux espèces d'urodèles. A travers l'observation des deux espèces d'urodèles dans le milieu naturel, nous avons déduit que leur vie est tributaire du milieu aquatique, où la végétation et les basses températures sont indispensables. Cependant, il existe encore de nombreuses lacunes concernant la biologie des deux espèces d'Urodèles.

Les patrons de distribution des deux espèces sont variables, mais celui qui est le plus explicatif de leurs distributions semble être les précipitations. En fait les zones très favorables et favorables à leurs subsistances sont directement liées à la quantité des précipitations durant la saison froide. Les chutes de températures et les premières pluies les sortent de leur estivation et déclenchent la reproduction. Le *Pleurodeles nebulosus,* semble avoir une amplitude écologique plus importante que celle de *Salamandra algira algira,* qui contrairement à cette dernière est capable d'étendre sa distribution aux zones subhumides et même semi-arides, en supportant des fluctuations de température plus importantes. *S. a. algira* quant à elle est limitée dans sa distribution principalement aux zones humides étant sensible aux fluctuations des températures.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans la présente étude nous nous sommes intéressés aux amphibiens urodèles : *Salamandra algira algira* et *Pleurodeles nebulosus,* en ayant pour objectifs de caractériser leurs habitats préférentiels et leurs stades de développement, de déterminer leurs phénologies de reproduction, de déterminer et expliquer leurs patrons de distribution et de mettre en évidence l'étendue de leurs distributions potentielles, pour orienter de futurs échantillonnages ciblés.

Pour atteindre de tels objectifs nous avons entrepris une campagne d'échantillonnage à l'échelle de la Kabylie (Bejaia et Tizi Ouzou principalement), en vue de collecter les sites d'occurrence à travers 62 stations et avons entrepris un élevage expérimental au laboratoire. Nous avons aussi utilisé l'une des technique de modélisation de niche écologique les plus performantes du moment « Maximum Entropy ».

Durant notre campagne d'échantillonnage, nous avons pu identifier les habitats préférentiels des deux espèces. Les mares temporaires et permanentes sont les milieux préférés de *P. nebulosus* avec une nette préférence pour les premières. *S. a. algira* a été principalement retrouvée dans les bassins de source et fossés de piste. Les deux espèces ont été généralement trouvées à proximités des zones boisées.

Son mode de reproduction étant ovipare, le *Pleurodeles nebulosus* dépose des grappes d'oeufs dans le milieu aquatique. Ses pontes ont été observées dans le milieu naturel, de décembre à fin avril. Au laboratoire il a gardé le même comportement reproductif. L'élevage expérimental nous a permis, d'assister à une ponte (début février) à une température de 16°C, même si nous n'avons pas pu contrôler tous les paramètres souhaités (température, qualité de l'eau,…).

La courte durée de notre étude et la lenteur du développement des larves, associés au fort taux de mortalité aux stades précoces, ne nous ont pas permis d'assister à la métamorphose des larves de *Pleurodeles*, mais 52 jours après la naissance, les larves mesuraient 36mm avec une pigmentation prononcée.

La courte durée de notre étude et la lenteur du développement des larves, associés au fort taux de mortalité aux stades précoces, ne nous ont pas permis d'assister à la métamorphose des

larves de *Pleurodeles*, mais 52 jours après la naissance, les larves mesuraient 36mm avec une pigmentation prononcée.

Les pontes de *Salamandra algira algira* quant à elles, ont été observées un peu plutôt en octobre. La période a duré autant que celle de *P. nebulosus*. Son mode de reproduction est l'ovoviviparité, que ce soit dans son milieu naturel qu'au laboratoire. A la naissance les jeunes larves ont une apparence semblable à celle des adultes à l'exception de la couleur et des branchies. Elles se développent complètement en 2 mois d'élevage environs.

Durant l'élevage, les larves des d'eux espèces de salamandridés ont manifesté un comportement cannibale dès lors du manque de nourriture en proies. C'est une stratégie qui permet la survie des quelques larves plus robustes que les autres. Selon les observations faites sur les larves de salamandre cannibales, nous avons constaté qu'elles sont généralement favorisées à la naissance par la forme de leur museau qui est plus large que les autres larves.

A travers les résultats de la modélisation de niche écologique, nous avons pu déterminer le contexte environnemental adéquat à la présence des deux espèces, ainsi que les patrons de leurs distributions. Il en ressort qu'à l'échelle de l'Algérie Tellienne les paramètres environnementaux tels que les précipitations durant le trimestre le plus froid, l'altitude, l'écart des températures diurnes et l'isothermalité ont chacun une grande importance dans la localisation de ces deux espèces, mais que les précipitations durant le trimestre le plus froid joue un rôle majeur dans leurs distributions. Les zones les plus favorables à leur présence correspondent aux régions ou les précipitations (durant le trimestre le plus froid) atteignent les taux les plus élevés. Il apparait aussi que *Salamandra algira algira* soit moins tolérante aux fluctuations des températures comparée à *Pleurodeles nebulosus*. Les zones les plus favorables, pourraient faire l'objet de campagnes d'échantillonnage.

Les deux espèces d'urodèles étudiées, sont encore très méconnues en Algérie, pour cela nous espérons que ce modeste travail aura apporté un plus dans la compréhension de leur écologie, à une époque où le déclin des amphibiens est généralisé à l'échelle de la planète.

Perspectives

Durant notre travail nous avons noté la nécessité de continuité de notre travail concernant toutes les facettes de notre étude, notamment l'échantillonnage, l'élevage et la modélisation. Nous pouvons proposer les suggestions suivantes :

- ✓ Fournir un effort d'échantillonnage plus important sur les cours d'eaux pour essayer de détecter d'éventuelles pontes dans l'eau courante.
- ✓ Caractériser l'hydropériode des zones humides , pour voir si elle coïncide avec la période de développement des larves, ce qui pourrait donner des indications sur le degré de vulnérabilité de l'espèce sachant qu'une courte hydropériode menacera l'existence l'espèce, en l'absence de nouvelles générations.
- ✓ Intégrer les variables biotiques, géologiques, dans le processus de modélisation pour améliorer ces prédictions

- ✓ Cibler des populations représentatives pour étudier la variabilité intra populationnelle.
- ✓ Etudier les deux espèces sur une durée assez longue qui permettra d'identifier la durée sur laquelle s'étalent les pontes.
- ✓ Contrôler les paramètres liés à l'levage : la température, la qualité de l'eau, l'élevage parallèle de proies pour éviter les pénuries et le phénomène de cannibalisme entre les jeunes larves.

Bibliographie

Bibliographie

French Urodela, G. (2007). *Salamandra salamandra : Description et sousespèces.*

Abas, S., & Madoui, Z. (2008). *Evaluation de la diversité des communautés d'invertébrés aquatiques de la région de Bejaia : cas des insectes.* Bejaia: Université Abderrahmane Mira : Memoire d'ingenieur. p38.

Alik, A. (2010). *Les résultats préliminaires du projet de réintroduction du Cerf de Berbérie (Cervus elaphus barbarus Benett.,1833) dans la forêt de l'Akfadou.* Bejaia: Université Abderrahmane Mira. Memoire de Master en sciences naturelles del'environnement. p21.

Amirouche, R., & Misset, M.-T. (2009). Flore spontane´e d'Alge´ rie : diffe´ renciation e´coge´ographique des espe` ces et polyploïdie. *Cah Agric, 18*(6), 474-480.

Anderson, J. (1892). *On a small collection of mammals, reptiles and batrachians from Barbary.* London: Proccedings of the Zoological.

Azegagh , A., & Ghilas, R. (2006). *Etude de l'herpétofaune dans les zones humides de la basse vallée de la Soummam (Béjaia, centre nord-est algérien).* Mém. Ing. d'état en Ecologie et Environnement, opt. Pathollogie des écosystèmes (Dirigé par M. Dahmana A.) Univ. A-Mira de Béjaia, Algérie.

Barnosky, A., Matske, N., Tomiya, S., Wogan, G., Swartz, B., Quental, T., . . . Ferrer, E. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature, 471*(7336), 51-57.

Belguebli, N., & Mouzaoui , S. (2009). *Contribution à la connaissance de l'herpétofaune de trois régions de l'Algérie du nord. (Chréa, Réghaia et Edough).* Méoire d'Ing. Univ. de Tizi Ouzou.

Bellairs, D., & Shut, C. (1954). *Notes of the herpetology of an algerian beach.*

Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W., & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity: Biodiversity and climate change. *Ecology Letters, 15*(4), 365-377.

Ben Hassine, J., & Nouira, S. (2010). Premières données sur la biologie du pleurodèle d'Algérie Pleurodeles nebulosus (Guichenot, 1835) (Amphibia, Caudata) en Tunisie. in: Colloque international sur "la gestion et la conservation de la biodiversité continentale dans le bassin méditerranéen". Universite de Tlemcen, les 11,12 et 13 Octobre 2010.

Ben Hassine, J., Kassabi, A., & Nouira, S. (2012). Pleurodeles nebulosus (Guichenot, 1850) en Tunisie : répartition, habitat, reproduction et statut. *144*, 51-66.

Ben Hassine, J., Kassabi, A., & Nouira, S. (2013). Pleurodeles nebulosus (Guichenot, 1850) en Tunisie : répartition, habitat, reproduction et statut. *144*, 51-66.

Benhadj, I. (2008). *Observation spatiale de l'irrigation d'agrosystèmes semi-arides et Gestion durable de la ressource en eau en plaine de Marrakech.* Toulouse: Thèse de doctoorat de l'université de toulouse III - Paul Sabatier. p46.

Benslimane, M., Hamimed, A., El Zerey, E., Khaldi, A., & Mederbal, K. (2008). Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord. *Vertigo, 8*(3), [En ligne].

Benyakoub, R., & Rouag, R. (1996). Inventaire et écologie des reptiles du Parc national d'El Kala (Algérie). *Bull. Soc. Herp.*, 25-40.

Beukema, W., De Pous, P., Donaire, D., Escoriza, D., Bogaerts, S., Toxopeus, A., . . . Carranza, S. (2010). Biogeography and contemporary climatic differentiation among Moroccan Salamandra algira. *Biological Journal of the Linnean Society, 101*, 626-641.

Beukema, W., De Pous, P., Donaire-Barroso, D., Bogaerts, S., Garcia-Porta, J., Escoriza, D., . . . Carranza, S. (2013). Review of the systematics, distribution, biogeography and natural history of Moroccan amphibians. *Zootaxa, 3661*, 1-60.

Bogaerts, S., Sparreboom, M., Pasmans, F., Almarsi, A., Boukema, W., Shehab, A., & Amr, Z. (2013). Distribution, ecology and conservation of Ommatotriton vittatus and Salamandra infraimmaculata in Syria. *Salamandra, 42*(2), 87-96.

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 it's distribution in Morocco. *Boletin de la Asociacion Herpetologica Espanola, 14*, 47-51.

Bons, J., & Geniez, P. (1996). *Amphibiens et reptiles du Maroc (Sahara Occidental comrpris Atlas biogéographique).* Asociacoin Herpetologica Espanola.

Boulenger , G. (1891). *Catalogue of the reptiles and battrachians of Barbary (Moroco, Algéria, Tunisia) based chiefly on the notes and collections in 1880-1884 by M. Ferdinand Lataste* (éd. 13). London: Tronsactions of the Zoological Society of London .

Brown, J. (1995). *Macroecology, edn.* Chicago: University of Chicago Press. p10.

Cardona, J., & FLORES-VILLELA, O. (2010). Ecological-Niche Modeling and Prioritization of Conservation-Area Networks for Mexican Herpetofauna. *Conservation Biology, 24*(4), 1031-1041.

Carranza, S., & Arnold, E. N. (2004). History of West Mediterranean newts, Pleurodeles (Amphibibia : Salamandridae) inferred from old and recent DNA sequences. *Syst. Biodivers, 1*(3), 327-337.

Carranza, S., & Wade, E. (2004). Taxinomic revision of Algero-Tunisian Pleurodeles (Caudata : Sala¬mandridae) using molecular and morphological data. Revalidation of the taxon Pleurodeles nebulosus (Guichenot, 1850). *Syst. Biodivers, 488*, 1-24.

Carroll, M., DiMiceli, R., & Townshend, J. (2014). *250m MODIS Normalized Difference Vegetation Index, MOD13Q1.MRTWEB.A2013321.005.250m_16_days_NDVI.* (C. 4, Éd.) College Park, Maryland: University of Maryland .

Chirio , L. (1995). *Biogéographie des reptiles du massif de l'Aurès(Algérie).* Montpellier: Diplôme de l'E.P.H.E.

Cox, N., Chanson, J., & Stuart , S. (2006). *The status and distribution of Reptiles and Amphibians of the Mediterranean Basin.* IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, Uk.

Dahmana, A., Azegagh, A., Ghilas, R., Peyre, O., & Moali, A. (2006). *Etude de l'erpétofaune dans la basse valée de la soumam,communication afficgée lors des 1 ere rencontres méditerranées d'écologie, 7-9 Novembre 2006.*

Dahmani, W. (2007). *Contribution à l'études des reptiles et amphibiens de la région de Tiaret.* Mémoire Ing., Univ. Tiaret.

Dajoz, R. (2006). *Précis d'écologie* (éd. 8e). Paris: Dunod. p21.

Djirar , N. (1995). *Reconnaître les reptiles d'Algérie (clé préliminaire).* Alger: Office des Publications Universitaires.

Domergue, C. (1959). *Liste des batraciens, chéloniens de Tunisie et d'Afrique du Nord.* Bulletain de la Société des Science Naturelles de Tunisie.

Donaire-Barroso, D., Salvador, A., Slimani, T., El Mouden, E., Geniez, P., & Mateo, J. (2006). Pleurodeles nebulosus. . *In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2014.4 www.iucnredlist.org.* Consulté le Janvier 2014

Donaire-Brroso, D., & Bogaerts, S. (2003). A new subspecies of Salamandra algira Bedriaga, 1883 from northern Morocco. *Pod@rcis, 4*, 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 réptiles & batraciens du Maroc, de l'Algérie et de la Tunisie* . L. Fouque.

Duggen, S., Hoernle, K., Van den Bogaard, P., Rupke, L., & Morgan, J. (2003). Deep roots of the Messinian salinity crisis. *Nature, 6932*(422), Deep roots of the Messinian salinity crisis.

Elith, J., Graham, C., Anderson, R., Dudık, M., Ferrier, S., Guisan, A., . . . Zimmermann, N. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography, 29*(2), 192-151.

Elith, J., Philips, S., Hasitie, T., Dukit, M., Chee, Y., & Yates, C. (2011). A statistical explanation of MaxEent for ecologists. *Diversity and Distributions*(17), 43-57.

Emberger, L. (1955). Une classification biogéogr. *Recueil. Trav. Lab.Géol. Zool. Fac. Sci. Montpellier*, 3-43.

Escoriza, D., & Comas, M. D. (2007). Description of a new subspecies of Salamandra algira Bedriaga, 1883 (Amphibia: Salamandridae) from the Beni Snassen massif (Northeast Morocco). *Salamandra, 43*(2), 77-90.

Escoriza, D., Comas, M., Donaire, D., & Carranza. (2006). Rediscovery of Salamand¬ra algira Bedriaga 1883 from the Beni Snassen massif (Morocco) and phylogenetic relation¬ships of North African Salamandra. *Amphibia-Reptilia, 27*, 448-455.

Farr, T., Rosen, P., Caro, E., Crippen, R., Duren , R., Hensley, S., . . . Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics, 45*(2).

Franklin, J. (2009). Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction. *Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-87635-3*, 338.

Gauthier, R. (1967). *Ecologie et éthologie des reptiles du Sahara Nord-Occidental.* Mus.Roy d'Afrique centrale.

Gervais , P. (1836). *Enumération de quelques espèces de reptiles provenant de Barbarie.* . Paris: Annales des sciences naturelles, sér 2.6.

Guisan, A., & Wilfried, T. (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters, 8*(9), 993-1009.

Guisan, A., & Zimmermann, N. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*(135), 147-186.

Hijmans, R. J. (2014). *WorldClim Database*. Consulté le 01 03, 2014, sur http://worldclim.org/

Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology, 25*, 1965–1978.

Hutchins, M., Duellman, W., & Schlager, N. (2003). *Grzimek's Animal Life Encyclopedia* (éd. 2. Volume 6, Amphibians). Canada: Farmington Hills, MI: Gale Group.

Kearney, M., & Porter, W. (2009). Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' range. *Ecology Letters, 12*(4), 334–350.

Laland, K. N., & Boogert, N. (2008). Niche construction, co-evolution and biodiversity. *Ecological Economics*, 731-736.

Lallemant , C. (1867). *Erpétologie de l'Algérie ou catalague synoptique et analytique des reptils 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. *Thése de doctorat de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier*, 18-20.

Lescure, J. (2002). La naissance de l'Herpétofaune . *Bulletin de la société Herpétologique, 101*, 5-27.

Mateo, J., Geniez, P., & Pether, J. (2013). Diversity and conservation of Algerian amphibian assemblages. *Basic and applied herpetology Online*.

Meddour, R. (2010). *Bioclimatologie, phytogeographie et phytosociologie en Algerie exemple des groupements forestiers et preforestiers de la kabylie Djurjureenne.* (T. d. pp40-43, Éd.) Tizi Ouzou.

Merdas, S. (2007). *Bilan des incendies de forêts dans quelques wilayas de l'Est algérien; cas de Bejaia, Jijel, Sétif et Bordj Bou-Arréridj.* Constantine: Université Mentouri : Mémoire de Majistère.

Mouane, A. (2007). *Contribution à la connaissance des Amphibiens et des Reptiles de la région de l'Erg Oriental (Souf,Taibet, et Touggourt).* Memoire de Magistère en Ecologie Animale, Univ. Biskra.

NatureServe, & IUCN. (2012). *The IUCN Red List of Threatened Species*. Consulté le 12 3, 2013, sur http://www.iucnredlist.org

Newbold, T. (2009). *The value of species distribution models as a tool for conservation and ecology in Egypt and Britain.* University of Nottingham: for the degree of Doctor of Philosophy. 08p.

Olivier, E. (1894). *Herpétologie algérienne ou catalogue raisonné des reptiles et amphibiens observés jusqu'à ce jour en Algérie* . France: Mémoire de Société Zoologique de France.

Pearson, R., Raxworthy, C., Nakamura, M., & Peterson, A. (2007). Predicting species' distributions from small numbers of occurrence records: A test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography, 34*, 102-117.

Philips, S., & Dudı´k, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography, 31*(2), 161-175.

Philips, S., Anderson, R., & Schapire, R. (2006). Maxymum entropy modeling of species geographic distribution. *Ecological modeling, 190*, 231-259.

Phillips, S. J., Dud´ık, M., & Schapire, R. E. (2004). A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling. *In: Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning. ACM Press New York,*, 655-662.

Pierrat, B. (2011). *Macroécologie des échinides de l'océan Austral Distribution, Biogéographie et Modélisation.* Dijon: these de doctorat de l'universite de bourgogne. p13.

Pyšek, P., & Richardson, D. (2010). Invasive Species, Environmental Change and Management, and Health. *Annual Review of Environment and Resources, 35*(1), 25-55.

Raffaelli , J. (2007). *les urodèles du monde.* Penclen Edition, 377p.

Robertson, M. (2003). Comparing models for predicting species' potential distributions: a case study using correlative and mechanistic predictive modelling techniques. *Ecological Modelling, 164*(2-3), 153–167.

Rouag, R., & Benyacoub, S. (2006). Inventaire et écologie des reptiles du Parc national d'El Kala (Algérie). *Bulletin de la Société herpétologique de France*(117), 25-40.

Roux, E. (2002). Origine et évolution de l'appareil respiratoire aérien des Vertébrés. *Rev Mal Respir, 19*, 601-615.

Salvador, A. (1996). Amphibians of Northwest Africa. *Smithsonian Herpetological Information Service, 109*, 1-43.

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).

Samraoui, B., Samraoui, F., Benslimane , N., Alfarhan, A., & 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. *Revue d'écologie, 67*(1), 71-81.

Schleich, H., Kästle , W., & Kabisch, K. (1996). *Amphibians and Reptiles of North Africa: Biology, Systematics, Field Guide.* Koeltz Scientific Books.

Silvestre, M. (2011). *l'élevage des urodeles.* Indre.

Soberón, J., & Peterson, T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*(2), 1-10.

Sodhi, N., Bickford, D., Diesmos, A., Lee, T., Koh, L., Brook, B., . . . Freckleton, R. (2008). Measuring the Meltdown: Drivers of Global Amphibian Extinction and Decline. *PLoS ONE, 32*, e1636.

Steinfartz , S., Vaith, 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*, 397-410.

Strauch , A. (1862). *Essai d'une erpétologie de l'Algérie.* St-Pétersbourg: Mémoire de l'Académie Impériale des Sciences de St-Pétersbourg.

Suc, J.-P., Clauzon, G. J., Cravatte, F. G., & Violanti, D. (1994). Âge et durée de la crise de salinité messinienne. *Comptes-Rendus de l'Académie des sciences de Paris , 2*(318), 1103-1109.

Sura, P. (1983). Preliminary results of a collecting tripo to Algeria. *British herpetological society bulletin*.

Thireau, M. (1986). *Catalogue des types d'urodèles du Muséum National d'Histoire Naturelle.* Paris, France. 97 pp.

Urbina-cardona, & Nicolás, J. (2010). Ecological-Niche Modeling and Prioritization of Conservation-Area Networks for Mexican Herpetofauna. *Conservation Biology, 24*(4), 1031-1041.

USGS. (2014). *U.S. Geological Survey*. Consulté le Avril 02, 2014, sur https://mrtweb.cr.usgs.gov/

Vences, M., Ariel, R., Salvador, C., David, D., & Marcelo, G. (2014). Nuclear and mitochondrial multilocus phylogeny and survey of alkaloid. *Molecular Phylogenetics and Evolution*.

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. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(20), 8267-8272.

Waren, D., & Seifert, S. (2011). Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications, 21*(2), 335-342.

Zammit, O. (2008). *Détection de zones brûlées après un feu de forêt à partir d'une seule image satellitaire spot 5 par techniques svm.* Thèse de Doctorat Université de Nice - Sophia Antipolis. p5.

Zeraib, N. (s.d.). *Contribution à la connaissance de l'herpétofaune du parc national de Belezma(Batna).* Mém. Ing. Univ. Tiaret, Algérie.

Annexes

Annexes 1 : Données utilisées dans la synthèse climatique

Variables	Altitude	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Stations
P	940	104,9	114,8	61,5	98,8	67,5	21,6	5,3	10,7	44,1	71	105,4	113,6	Larbaa Nath Irathen
T(C°)		6,2	7,15	9,4	12,15	15,6	20,7	25	25,3	21,7	16	10,8	6,9	
M		8,9	10,3	13	16,1	19,9	25,4	30	30,5	26,4	19,8	13,7	9,5	
m		3,5	4	5,8	8,2	11,3	16	20	20,1	17	12,2	7,9	4,3	
P	1100	118,9	148,6	158,8	117,8	72,2	21,8	5	15	41,8	82,7	127,2	162,3	Ain El Hammam
T(°C)		5,8	6,7	8,95	11,55	14,85	19,95	24,2	24,95	21,25	15,85	10,55	6,65	
M		9	10,2	13,1	16	19,5	25,2	29,8	30,8	26,5	20,4	14,1	9,9	
M		2,6	3,2	4,8	7,1	10,2	14,7	18,6	19,1	16	11,3	7	3,4	
P	730	145,8	122,1	128,5	97,4	58,8	8,1	3,1	8,2	42,9	93,4	133,8	185,2	Aghrib
T(°C)		7,4	8,2	10,15	12,85	15,75	20,4	24,3	24,7	21,85	16,8	11,95	8,15	
M		10,3	11,5	13,8	16,8	20	25,1	29,5	29,8	26,5	20,8	15,3	11	
M		4,5	4,9	6,5	8,9	11,5	15,7	19,1	19,6	17,2	12,8	8,6	5,3	
	250	114,4	98,8	56,2	79,9	52,5	9,9	3,9	10,7	35,5	57	98	139,3	Tizi Ouzou
T(°C)		10,3	11,35	13,9	15,2	19,7	24,3	28,25	28,6	25,15	20,15	15,05	11,3	
M		14,9	16,7	19,4	20,6	26,1	31,7	35,7	36,2	32,2	26,1	19,4	15,9	
m		5,7	6	8,4	9,8	13,3	16,9	20,8	21	18,1	14,2	10,7	6,7	
P	450	117,9	76,7	53,7	67,4	49,7	10,8	3,2	9	37,9	48,6	68,1	108,9	Draa El Mizan
P	170	90	66	61	49	39	18	4	8	31	63	71	98	Sidi Aich

Variables	Altitude	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Stations
P	280	91	73	63	56	40	22	4	7	30	63	70	104	Akbou
P		39	26,5	31,4	35	36,7	15,7	7,6	13,6	43	29,4	30,9	38,5	Bordj B.A
T		5,6	7	9,6	12,4	17,3	23,6	26,7	26,3	21,3	16	10,4	6,6	
P	520	49,5	52,6	63	50	29	11,1	3,5	8,4	21,1	39,4	48,5	54,5	Bouira
T		11,5	12,75	14,5	16,95	21,45	26,55	31,1	31,05	26,9	21,55	16,4	12,125	
M		14	15,4	17,6	20,2	25	30,6	35,3	35,8	30,9	24,6	19,3	14,7	
m		9	10,1	11,4	13,7	17,9	22,5	26,9	26,3	22,9	18,5	13,5	9,55	
P	820	137,7	160,1	142,7	114,9	68	15,7	6,4	8,9	47,7	88,6	133,8	185	Yakouren
P	1450	142,7	99,6	98,1	110,6	88,5	22	5,9	15,9	58,7	78,7	111,5	154,8	Thala Guilef
T		3,4	4,3	6,1	7,1	12,4	18	22,5	22,7	19,6	13,3	8,5	4,5	
M		5,1	6	8,2	9,3	14,8	21,1	25,6	25,7	22,8	15,9	10,4	6,1	
m		1,7	2,8	3,9	4,8	10	14,8	19,4	19,6	16,4	10,6	6,6	2,9	

Stations climatiques & leurs quotients pluviométriques d'Emberger (Q3)

Stations	P	M	m	Q3
Larbaa Nath Irathen	819,2	30,5	3,5	104
Ain El Hammam	1072,2	30,8	2,6	130
Aghrib	1027,3	29,8	4,5	139
Tizi Ouzou	756,1	36,2	5,7	85
Bejaia	784	32,9	8,7	111
Bouira	430,8	35,8	4	46,5
Thala Guilef	987	25,7	1,7	138
Sidi Aich	598	31,7	5,9	80
Tikjda	1102	1,8	1,8	166
Bordj B. A	349,3	38,7	1,6	32,2937736

Annexes 2 : Classes d'occupation du sol dans le raster GlobCover2009

Value	GlobCover global legend	
11	Post-flooding or irrigated croplands	
14	Rainfed croplands	
20	Mosaic Cropland (50-70%) / Vegetation (grassland, shrubland, forest) (20-50%)	
30	Mosaic Vegetation (grassland, shrubland, forest) (50-70%) / Cropland (20-50%)	
40	Closed to open (>15%) broadleaved evergreen and/or semi-deciduous forest (>5m)	
50	Closed (>40%) broadleaved deciduous forest (>5m)	
60	Open (15-40%) broadleaved deciduous forest (>5m)	
70	Closed (>40%) needleleaved evergreen forest (>5m)	
90	Open (15-40%) needleleaved deciduous or evergreen forest (>5m)	
100	Closed to open (>15%) mixed broadleaved and needleleaved forest (>5m)	
110	Mosaic Forest/Shrubland (50-70%) / Grassland (20-50%)	
120	Mosaic Grassland (50-70%) / Forest/Shrubland (20-50%)	
130	Closed to open (>15%) shrubland (<5m)	
140	Closed to open (>15%) grassland	
150	Sparse (>15%) vegetation (woody vegetation, shrubs, grassland)	
160	Closed (>40%) broadleaved forest regularly flooded - Fresh water	
170	Closed (>40%) broadleaved semi-deciduous and/or evergreen forest regularly flooded - Saline water	
180	Closed to open (>15%) vegetation (grassland, shrubland, woody vegetation) on regularly flooded or waterlogged soil - Fresh, brackish or saline water	
190	Artificial surfaces and associated areas (urban areas >50%)	

Figure.1 : Légende de la carte d'occupation du son GlobCover

Annexes 3 : Matrice de corrélation des rasters environnementaux du *P. nebulosus*

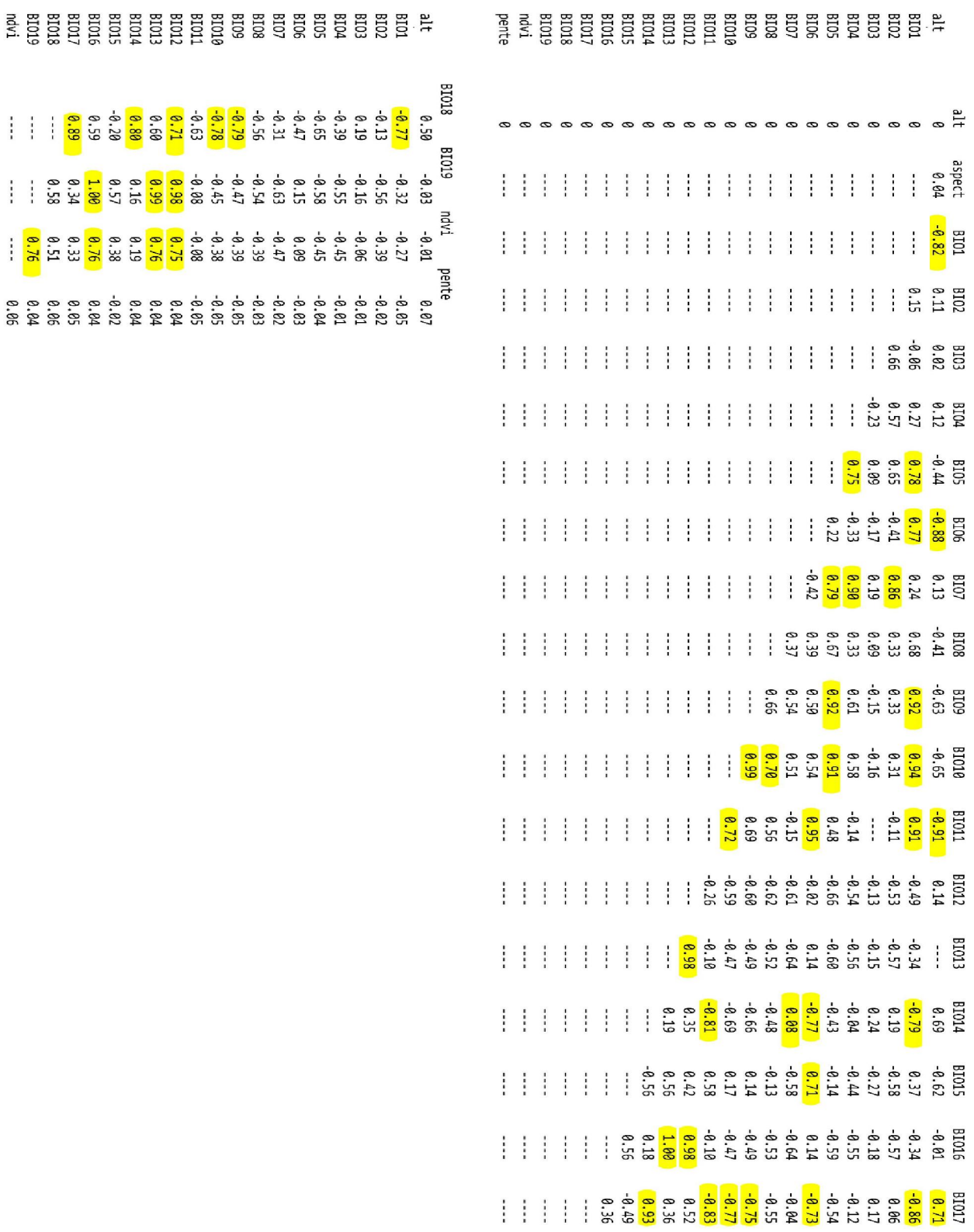


Figure.2 : Matrice de corrélation des rasters environnementaux (modèle *P. nebulosus*)

Annexes 4 :

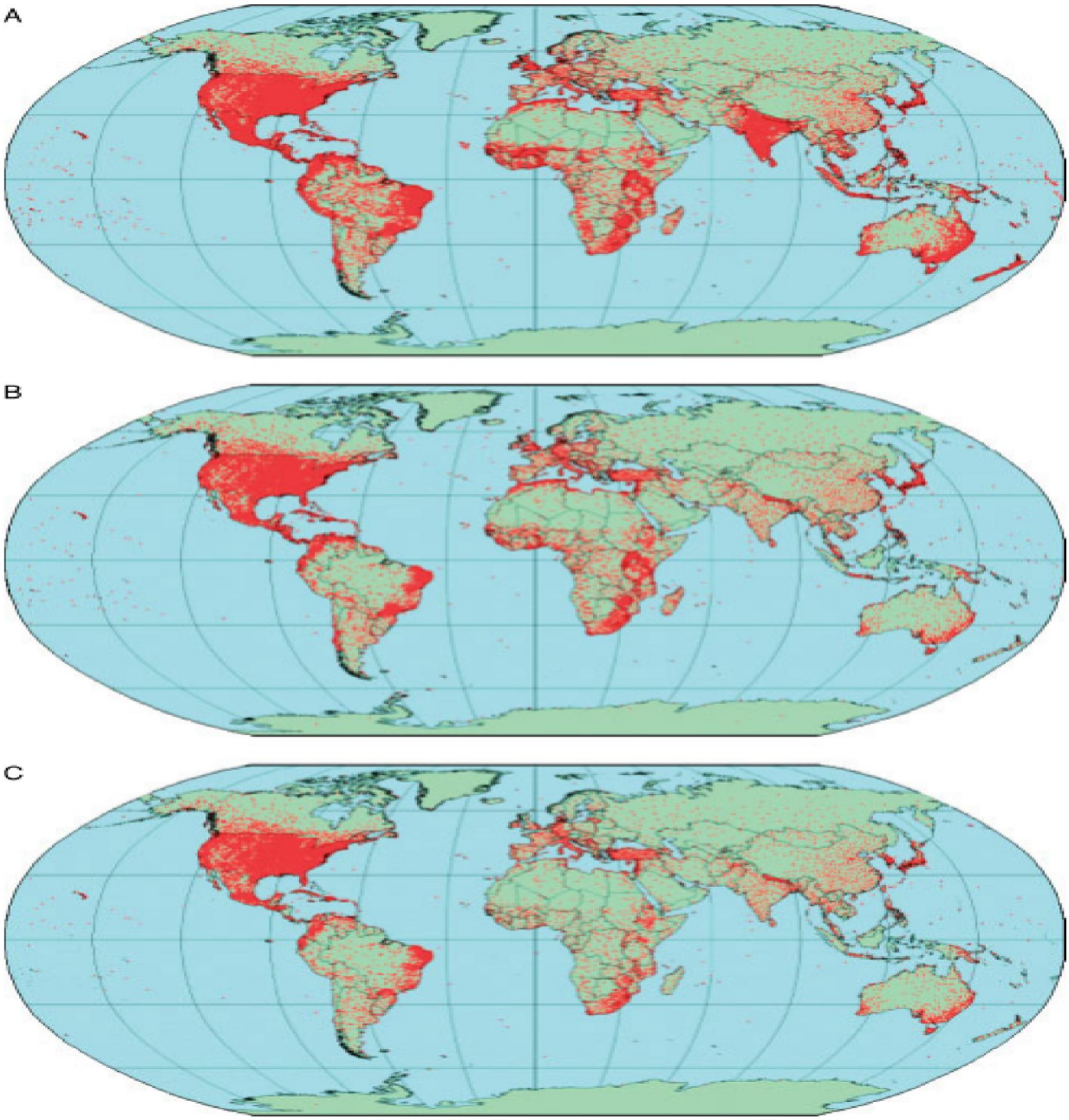


Figure.3 : Localisation des stations climatiques utilisées pour produire les variables climatiques. (A) précipitations (47554stations), (B) moyennes des températures (24542stations), (C) minimums et maximums des températures (14930stations)

Résumé

La biodiversité traverse une crise aigüe, le rythme d'extinction d'espèces étant 1 000 à 10 000 fois plus important que le rythme naturel d'extinction. Les amphibiens sont le taxon des vertébrés le plus touché. Notre connaissance du statut et de l'écologie des amphibiens d'Algérie reste limitée alors que les milieux naturels locaux subissent une pression anthropique intense.

Dans le but de connaitre l'écologie (habitat, phénologie de reproduction et développement) des deux espèces urodèles de Kabylie et de caractériser et expliquer les patrons de leurs distributions, nous avons échantillonné 62 stations réparties à travers la Kabylie. Nous avons réalisé un élevage expérimental, et utilisé la technique de modélisation de niche écologique "Maximum Entropy".

Les principaux résultats obtenus montrent que : les habitats préférés sont les mares temporaires pour *Pleurodeles nebulosus* et les bassins de source pour *Salamandra algira algira.* Les pontes durent jusqu'à fin avril débutant en octobre pour *S.a.algira* et décembre pour *P.nebulosus,* la mortalité des larves de ce dernier est élevée, le développement jusqu'à métamorphose d'une larve de *S.a. algira* dure environs 2 mois. Les précipitations durant le trimestre le plus froid joue un rôle majeur dans la distribution des deux espèces, de telle sorte que les régions qui leur sont favorables sont les plus arrosées.

Mots clés : Kabylie, *Salamandra algira, Pleurodeles nebulosus,* développement, biogéographie.

Abstract

Biodiversity is declining rapidly throughout the world, with a current rate of species loss estimated to be 1000 to 10000 times the normal rate of extinction. Amphibians are the most threatened taxon of verterates. Our knowledge of the status and ecology of amphibians of Algeria is still limited whereas local natural habitats are fast disappearing under a strong anthropogenic pressure.

In order to know the ecology (habitat, breeding phenology and development) of the two urodela species of Kabylie; characterize and explain the patterns of their distributions, we sampled 62 stations across Kabylie. We conducted an experimental breeding, and used the technique of ecological niche modeling "Maximum Entropy".

The main results show that: the preferred habitats are temporary pools for *Pleurodeles nebulosus* and ponds source for *Salamandra algira algira.* Spawns start in October for *S.a.algira* and in December for *P.nebulosus* until the end of April. *P.nebulosus* larval mortality is high. *S.a.algira's* larval development until metamorphosis occurs 2 months after spawn. Precipitation in the coldest quarter plays a major role in the distribution of both species, so that the most favorable regions are the wettest.

Keywords: Kabylie, *Salamandra algira, Pleurodeles nebulosus*, development, biogeography.