

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

UNIVERSITE MOHAMED KHIDER DE BISKRA

Département des sciences
agronomiques

Faculté des sciences exactes et
sciences de la nature et de la vie



N°d'ordre :.....

N°de Série :.....

THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par

Chaouch Khouane Hind

THÈME

**Biodiversité des steppes d'alfa (*Stipa tenacissima* L.) en Algérie :
état actuel et évolution**

Soutenue publiquement le 11/12/2018

DEVANT LE JURY

Président	Mr. Si Bachir A.	Pr. Univ. Batna 2
Directeur	Mr. Belhamra M.	Pr. Univ. Biskra
Examineurs	Mr. Aidoud A.	Pr. Univ. Rennes 1
	Melle Farhi K.	MCA Univ. Biskra

Année universitaire 2018-2019

Remerciement

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, je voudrais présenter mes vifs remerciements au directeur de Thèse Monsieur **Belhamra Mohamed**, Professeur de département des sciences agronomiques de l'université de Biskra, au Monsieur **Aidoud Ahmed**, Professeur de l'université de Rennes 1, et au Monsieur **Ainouche Abdelkader**, Maitre de conférences de l'université de Rennes 1, de m'avoir proposé ce sujet intéressant et pour avoir accepté de diriger ce travail et avoir bien voulu y consacrer leur temps. Je voudrais également leur témoigner ma gratitude pour leur patience et leur soutien qui m'a été précieux afin de mener mon travail à bon port, leurs précieux conseils et leur aide durant toute la période du travail.

De plus, je suis honorée que Monsieur **Si Bachir A.**, Professeur de l'Université de Batna 2, a accepté de présider le jury de ma thèse.

Ainsi, je remercie Monsieur **Aidoud Ahmed**, Professeur de l'université de Rennes 1, et Mademoiselle **Farhi Kamilia** Maitre de conférences de l'université de Biskra, ainsi que Monsieur **Ainouche Abdelkader** d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse et d'avoir consacré un peu de leur temps précieux pour juger mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos vifs remerciements vont également aux responsables et personnels : de HCDS (haut-commissariat de développement des steppes), de Conservation Des Forêts de la wilaya de Laghouat et Djelfa, et de laboratoires de département des sciences agronomiques de l'université de Biskra et de l'université de Batna1, et particulièrement le laboratoire ECO-BIO de l'unité mixte de recherche (UMR-CNRS) de l'université de Renne1, qui par leur compréhension et leur aide, on a pu accomplir notre travail.

Ma profonde reconnaissance à ma chère famille et mes amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.

Enfin, nous voudrions saisir cette opportunité pour manifester notre gratitude et nos remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin nous ont aidé ou accordé des facilités dans la réalisation de ce travail.

Table des matières

- Résumé	
- Abstract	
- Index des tableaux	
- Index des figures	
- Abréviations	
- Introduction générale	1

Partie1: Synthèse bibliographique

Chapitre 1 : Biodiversité : concepts, intérêts et méthodes d'étude	4
1.1.Définitions	4
1.2.Les niveaux de la biodiversité.....	6
1.2.1 La diversité génétique	6
1.2.1.1.Définitions et sources de variabilité	6
1.2.1.2.Mesure de la diversité génétique	8
1.2.2.La diversité interspécifique	11
1.2.2.1.Définition	11
1.2.2.2.La valeur de la mesure de la biodiversité interspécifique	11
1.2.3.La diversité des écosystèmes	13
1.3.Importance et menaces de biodiversité	14
1.4.Gestion et conservation de la biodiversité	15
Chapitre 2 : Présentation de cadre d'étude	18
2.1. Le milieu steppique algérien	18
2.1.1.Délimitation géographique	18
2.1.2.Caractéristiques climatiques.....	19
2.1.3.Caractéristiques édaphiques.....	20
2.1.4.Typologie et végétation de la steppe algérienne	21
2.2.Les steppes d'alfa (<i>Stipa tenacissima</i>) : végétation et état actuel.....	22

2.3. Menaces et facteurs de dégradation des steppes en Algérie	27
2.4. Etats de connaissance sur <i>Stipa tenacissima</i>	31
2.4.1. Nomenclature et position systématique	31
2.4.2. Origine et répartition	31
2.4.3. Ecologie de l'espèce.....	32
2.4.3.1. Facteur climatiques	32
2.4.3.2. Facteurs édaphiques	33
2.4.4. Biologie de l'espèce	33
2.4.4.1. Morphologie.....	33
2.4.4.2. Phénologie	35
2.4.5. Importance et usages.....	37

Partie 2 : Etude de l'évolution de la biodiversité des communautés végétales des steppes de *Stipa tenacissima*

Chapitre 1 : Matériel et méthodes	40
1.1. Présentation du milieu d'étude.....	40
1.2. Méthodes d'échantillonnage	41
1.2.1. Recensement de la flore	42
1.2.2. Recouvrement global de la végétation et contribution de <i>Stipa tenacissima</i>	43
1.3. Méthodes de traitement statistique.....	43
Chapitre 2 : Résultats	44
2.1. Bilan des occurrences des espèces en 1960 et 2017	45
2.2. Le groupe d'espèces apparues dans les relevés de 2017.....	45
2.3. Le groupe d'espèces non apparues dans les relevés de 2017.....	46
2.4. Analyse de variation de richesse floristique, de contribution de <i>S.tenacissima</i> et de couvert végétal	47
2.5. Résultats de l'analyse des données par classification et par ordination	48

2.5.1. Classification des relevés	49
2.5.2. Ordination des relevés par DCA	50
2.5.3. Ordination des espèces.....	53
Chapitre 3 : Discussion	54

Partie 3 : Evaluation de la diversité et la structure génétique de *Stipa tenacissima*

Chapitre 1 : Matériel et méthodes	59
1.1. Le matériel végétal.....	59
1.2. Extraction d'ADN.....	59
1.3. Amplification par PCR des marqueurs ISSR.....	63
1.4. Analyse des données	63
Chapitre 2 : Résultats	67
2.1. Diversité génétique de <i>Stipa tenacissima</i>	67
2.2. Structure génétique de <i>Stipa tenacissima</i>	68
2.3. Intégration des variables environnementales	71
Chapitre 3 : Discussion	73
- Conclusion générale	77
- Références bibliographiques	80
- Annexes	

Résumé

L'objectif de ce travail de thèse est de cerner les processus évolutifs de *Stipa tenacissima* et les steppes où elle domine en Algérie, en visant à évaluer et à comprendre l'impact de dégradation sur la biodiversité des steppes d'alfa, et sur sa diversité et sa structure génétique. Il borde deux volets complémentaires :

Etude de l'évolution des communautés végétales des steppes à dominance d'alfa (*Stipa tenacissima*) situées dans la région sud-Algérois, via une étude diachronique basée sur deux échantillonnages floristiques réalisés à une cinquantaine d'années d'intervalle. Les résultats font ressortir une régression de la végétation qui se traduit par un changement de composition floristique, accompagné d'une réduction de couvert végétal et de la contribution de *Stipa tenacissima* au tapis végétal ainsi qu'un appauvrissement floristique. Ils montrent également que le surpâturage et la sécheresse sont les principaux facteurs impliqués dans cette situation.

Evaluation de la diversité et la structure génétique de *Stipa tenacissima*. Pour cela 48 échantillons sont collectés de 27 stations distribuées le long de la région steppique algérienne. L'analyse est réalisée avec l'utilisation de marqueur moléculaire PCR-ISSR. Les résultats montrent une grande diversité génétique entre les groupes d'individus/populations étudiés et marquent une certaine divergence écotogéographique. Une différenciation génétique est révélée avec un flux génique élevé, laisse suggérer que ceci, en plus des facteurs naturels et anthropiques, contribue dans l'organisation de la structure génétique de l'espèce dans la steppe algérienne.

Mots clés :

Biodiversité, steppe; *Stipa tenacissima*; communauté; évolution; régression; marqueur; différenciation; fragmentation

Abstract

The objective of this thesis is to identify the evolutionary processes of *Stipa tenacissima* L. and the steppes where it dominates in Algeria, aiming to assess and understand the impact of degradation on the biodiversity of the Alfa steppes, and on its diversity and its genetic structure. It borders two complementary aspects:

Study of the evolution of plant communities in the Alfa-dominated steppe (*Stipa tenacissima*) located in the South-Algiers region, via a diachronic study based on two floristic sampling carried out about fifty years apart. The results show a regression of the vegetation which results in a change of floristic composition, accompanied by a reduction of vegetal cover and the contribution of *Stipa tenacissima* to the vegetal carpet as well as a floristic impoverishment. They also show that overgrazing and drought are the main factors involved in this situation.

Evaluation of the diversity and genetic structure of *Stipa tenacissima*. For this 48 samples are collected from 27 stations distributed along the Algerian steppic region. The analysis is performed with the use of PCR-ISSR molecular marker. The results show a great genetic diversity between the groups of individuals / populations studied and mark a certain ecogeographical divergence. Genetic differentiation is revealed with high gene flow, suggesting that this, in addition to natural and anthropogenic factors, contributes to the organization of the genetic structure of the species in the Algerian steppe.

Keywords:

Biodiversity, steppe; *Stipa tenacissima*; community; evolution; regression; molecular marker; differentiation; fragmentation

Index des tableaux

Tableau	Titre et source	Page
Tableau 1	Evolution des faciès steppiques entre 1978 et 2005 dans la région Sud-ouest Oranais (Salamani et Hirche, 2006)	24
Tableau 2	Evolution de l'occupation du sol steppique entre 1985 et 2000 (DSA, 2003)	25
Tableau 3	Evolution de la production pastorale entre 1978 et 2005 dans la région Sud-ouest Oranais (Salamani et Hirche, 2006)	25
Tableau 4	Effectif de cheptel en région steppique en (10 ³ têtes) (DSA, 2003; ONS, 2013)	28
Tableau 5	Distribution et effectif de la population Algérienne (ONS, 2013)	29
Tableau 6	Localisation et caractéristiques des stations sources des relevés	42
Tableau 7	Répartition des présences d'espèces dans les listes floristiques échantillonnées en 1960 et en 2017	45
Tableau 8	Liste des espèces végétales apparues dans les relevés de 2017	46
Tableau 9	Richesse floristique, contribution de <i>S. tenacissima</i> et couvert végétal des relevés de 1960 et de 2017	47
Tableau 10	Corrélations des variables introduites dans l'analyse DCA	52
Tableau 11	Localisation et caractéristiques des stations sources d'échantillons de <i>Stipa tenacissima</i>	60
Tableau 12	Séquences et pouvoir de résolution des amorces PCR-ISSR utilisés	64
Tableau 13	Indices de diversité génétique des groupes de <i>Stipa tenacissima</i>	67
Tableau 14	Distances et identités génétiques non biaisées de Nei	70
Tableau 15	Résultats d'analyse d'AMOVA	71
Tableau 16	Corrélations des variables introduites dans l'analyse nMDS	71

Index des figures

Figure	Titre et source	Page
Figure 1	Dimensions et niveaux d'organisation de la biodiversité d'après Noss (1990) <i>in</i> Du Bus De Warnaffe (2002)	5
Figure 2	Localisation et délimitation de la région steppique algérienne (nedjraoui, 2004)	18
Figure 3	Modèle prédictif de succession des steppes d'alfa dans la région sud-Oranis (Chott Chergui) (Aidoud- Lounis, 1984)	26
Figure 4	Carte de sensibilité à la désertification en Algérie (Salamani et <i>al.</i> , 2012)	27
Figure 5	Evolution de la pluviosité (1907-2003) dans une station du Sud Algérois (Djelfa) et du Sud oranais (Saida) (Hirche et <i>al.</i> , 2010)	30
Figure 6	Carte de répartition des steppes d'alfa en Algérie en 1950 (d'après Lacoste, 1955 <i>in</i> Slimani, 2012) et en 2000 (d'après HCDS, 2001)	33
Figure 7	L'espèce <i>Stipa tenacissima</i> , a : panicules, b : touffe (cliché personnel, 2010) c : herbier (Vázquez Borrego et <i>al.</i> , 2008)	36
Figure 8	Steppes à <i>Stipa tenacissima</i> sous différentes conditions climatiques et édaphiques (Cliché personnel, 2013, 2014)	38
Figure 9	Traces des touffes de <i>Stipa tenacissima</i> (Messaad-Djelfa)(Cliché personnel, 2017)	39
Figure 10	Steppes à <i>Stipa tenacissima</i> dégradés (Cliché personnel, 2017)	39
Figure 11	Distribution géographique des relevés dans la steppe Algérienne	41
Figure 12	Valeurs de richesse floristique dans les relevés de Celles et de 2017	48
Figure 13	Valeurs de contribution de <i>S. tenacissima</i> dans les relevés de 1960 et de 2017	48
Figure 14	Valeurs de couvert végétal dans les relevés de 1960 et de 2017	49
Figure 15	Dendrogramme obtenu par la classification des relevés	50
Figure 16	Projection des relevés sur le plan des axes 1 et 2 de la DCA	51
Figure 17	Projection des variables environnementales et des relevés sur le plan des axes 1 et 2 de la DCA.	52
Figure 18	Projection des espèces sur le plan des axes 1 et 2 de la DCA	53
Figure 19	Distribution géographique des stations sources d'échantillons de <i>Stipa tenacissima</i> dans la steppe Algérienne	62
Figure 20	nMDS des données PCR-ISSR des échantillons de <i>Stipa tenacissima</i>	68
Figure 21	Dendrogramme obtenu par UPGMA basé sur la distance de Jaccard	70
Figure 22	Dendrogramme obtenu par UPGMA basé sur la distance génétique non biaisée de Nei).	70
Figure 23	nMDS des données PCR-ISSR des échantillons de <i>Stipa tenacissima</i> avec intégration des variables environnementales.	72

Liste des abréviations

ACEE : Agence Canadienne D'évaluation Environnementale

ADN : acide désoxyribonucléique

AFC : analyse factoriel des correspondances

AFLP : *Amplified Fragment Length Polymorphism* - Polymorphisme de longueur des fragments d'amplification.

AMOVA : analyse de la variance moléculaire

C.P.C.S : Commission de pédologie et de cartographie des sols

CAPS : (*Cleaved Amplified Polymorphic Sequence*) - Digestion des produits d'amplification polymorphes

CDB : Convention sur la diversité biologique

CHA : classification hiérarchique ascendante

CSi : Contribution spécifique

DCA : (*Detrended Correspondence Analysis*) analyse de correspondance "détendancée"

dl : Degré de liberté

DSA : Direction des statistiques agricoles

FAO : (*Food and Agriculture Organisation*) - L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

FSCi : Fréquence centésimale spécifique

Gst : Différentiation génétique (remplace le Fst)

h : Diversité génétique de Nei (1973)

HCDS : Haut commissariat de développement des steppes

Hs : Diversité génétique intragroupe

Ht : Diversité génétique totale

I : Indice de Shannon

ISSR : *Inter Simple Sequence Repeats* Amplification intermicrosatellites

MCE : Moyennes des carrés des écarts

MS : Matière sèche

na : Nombre observé d'allèles

ne : Nombre effectif d'allèles

Nm : Flux de gène

nMDS : (*non-metric multidimensional scaling*)- Une analyse par positionnement multidimensionnel non-paramétrique

OCDE : Organisation de coopération et de développement économique

ONM : Office Nationale de Météorologie

ONS : Office national des statistiques

OTA : (Office of Technology Assessment)- Office de l'évaluation de la technologie

PCR : (*Polymerase Chain Reaction*) - Amplification en chaîne par polymérase

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'environnement

PPB : Taux de polymorphisme total

QTL : (*Quantitative Trait Loci*) - Locus de caractères quantitatifs

RAPD : (*Randomly Amplified Polymorphic DNA*)-ADN polymorphe amplifié au hasard

RFLP : (*Restriction Fragment Length Polymorphism*) - Polymorphisme de longueur des fragments de restriction

Rp : (*Resolution power*)-pouvoir de résolution

SCE : Somme des carrés des écarts

SNP : (*Single nucleotide polymorphisms* : les polymorphismes de simple base)

SSCP : (*Single Strand Conformation Polymorphism*) - Polymorphisme (ou Profil) de conformation simple brin

SSR : (*Simple Sequence Repeats*)- Répétitions de séquences simples

UBC: University of British Columbia-Canada

UF : Unité fourragère

UICN : Union internationale de conservation de la nature

UNEP : Union Nationale des Entreprises du Paysage

Unesco : L'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture

UPGMA : (*Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages*) méthode non pondérée-groupe de paires en utilisant une moyenne arithmétique.

UV : Ultra violet

Introduction générale

Introduction générale

La biodiversité constitue le fondement nécessaire au fonctionnement de la planète terre et elle assure, en quelque sorte, sa pérennité. Elle ne se résume pas à un catalogue statique d'espèces mais au contraire, elle résulte de l'évolution et de la dynamique du monde vivant (Dajoz, 2003 ; Blondel, 2006). Le concept de biodiversité, en tant que problème d'environnement, s'est formalisé au début des années 1980, et s'est concrétisé lors de la Conférence sur le développement durable de Rio de Janeiro en 1992, avec la signature de la Convention sur la diversité biologique (CDB) (Lévêque et Mounolou, 2008). Depuis, elle est devenue une question de société et l'un des enjeux majeurs de développement durable, ce qui a réattiré l'attention du monde sur le rapide déclin de la biodiversité, causé principalement par les activités humaines et le changement climatique (Probst et Cibien, 2006). Ce déclin s'est encore accru, et sans actions fortes, la perte associée de services écosystémiques s'accélérera, entraînant des changements sur la structure des paysages, sur la composition des communautés animales et végétales et sur le fonctionnement et l'évolution des populations (UICN, 2002).

Plusieurs éléments sont à l'origine de l'intérêt grandissant à prendre comme objet d'étude, l'espèce *Stipa tenacissima* (L.) et les steppes où elle domine en Algérie :

- *Stipa tenacissima*, une poacée vivace, caractéristique de domaine steppique (Ozenda, 1977). Prédomine la majorité des groupements végétaux des régions steppiques arides d'Afrique du nord, soit à l'état pur, soit en mélange avec les espèces forestières (Kaabèche, 2000). Rustique bien adaptée morphologiquement et anatomiquement à l'aridité et la sécheresse (Trabut, 1889). Endémique de la région Ouest de méditerranée, elle se développe dans différents habitats et conditions écologiques ; en Algérie, Italie, Maroc, Portugal, Espagne, Baléares, Lybie et Tunisie (Djebaili, 1988 ; Le Houerou, 2001 ; Vázquez et Barkworth, 2004).

- L'immense étendu des steppes dominée par cette plante couvrant de vastes zones, environ 70% des hauts plateaux algériens, constituant ainsi de plusieurs formations steppiques (Mathieu, 1891).

- La grande importance qu'elle présente dans la région, de point de vue écologique, hébergeant une diversité floristique et faunistique importante (Le Houerou, 1995; Khelil, 1995; Benchrik et Lakhdari, 2002; Kadi-Hanifi, 1998) et jouant un rôle primordiale dans la lutte contre la désertification et la protection du sol (Trabut, 1889; Le Houerou, 1969, Cerdà, 1997; Jeddi et Chaib, 2014) et de point de vue socioéconomique, de sorte que cet espèce fournit la matière première pour l'industrie papetière et plusieurs d'autres produits (Harche,

1978; Akchiche et Messaoud, 2007; Dallel, 2012). Comme elle occupe un rôle important dans le bilan des ressources fourragères notamment en période de disette (Harche, 1978).

- La dégradation de plus en plus accentuée des composantes des steppes dominées par cette espèce sous l'effet de plusieurs facteurs d'origine naturelle et anthropique (Le Houerou, 1996; Aidoud et Touffet, 1996); c'est ainsi que la surface occupée par cette plante, en Algérie, est passée, en un siècle, de 4 millions d'hectares signalé par Boudy en 1950 à deux millions d'hectares selon le dernier recensement de Haut-Commissariat de Développement des Steppes (HCDS) (Moulay et *al.*, 2011). Sa régression, bien que progressive, entraîne des modifications profondes, complexes et surtout très néfastes vis-à-vis du fonctionnement du système, ce qui affecte son équilibre, engendrant la réduction de potentiel biologique et la destruction du milieu (Le Houerou, 1996, Aidoud et Touffet, 1996 ; Slimani et *al.*, 2010; Aidoud et *al.*, 2011).

- La requête de description et d'estimation de la biodiversité, ce qui présente un élément essentiel de toute politique de conservation des ressources génétiques et la contribution dans le développement durable des écosystèmes au niveau mondial.

- La nécessité de compléter et d'approfondir, la multitude des travaux réalisés sur la biologie, l'écologie, la caryologie et la génétique de cet espèce au niveau national (Trabut 1889, Achour, 1983; Abdelkrim, 1984; Abdelkrim et Bensettiti, 1988; Harche, 1978 ; Aidoud, 1989; Nedjraoui, 1990; Bouazza, 1991; Djebaili, 1988; Aidoud, 1992; Aidoud et Touffet, 1996; Le Houerou, 1996, Aidoud-Lounis, 1997; Kadi-Hanifi, 1998; Mehdadi et *al.*, 2006; Moulay et *al.*, 2011; Aidoud et *al.*, 2011; Slimani, 2012 ; Dallel, 2012 et Boussaid, 2013).

L'objectif de ce travail de thèse consiste à cerner les processus évolutifs de *Stipa tenacissima* et les steppes où elle domine en Algérie, en visant à évaluer et à comprendre l'impact de dégradation sur la biodiversité des steppes d'alfa, et sur sa diversité et sa structure génétique. Ainsi, nous disposons devant trois parties complémentaires :

La première partie c'est une synthèse bibliographique contenant un bilan de connaissances sur la biodiversité (intérêts et méthodes d'étude), et le cadre d'étude : *Stipa tenacissima* et les steppes où elle domine en Algérie (biologie, écologie, importance et causes de dégradation).

L'étude de l'évolution de la composition floristique dans les steppes d'alfa de plaines sera l'objectif de deuxième partie. Pour cela, des relevés floristiques réalisés en 2017 dans les mêmes stations échantillonnées (Celles, 1975) entre 1960 et 1969, situées dans la région Sud-Algérois, en vue de retracer via une approche diachronique, les modifications de la flore qui ont pu survenir durant une cinquantaine d'années et d'en tirer les explications écologiques de ces changements. Le processus de régression de la végétation alfatière est amorcé depuis les

années 1975 par plusieurs auteurs, notamment dans la région sud-Oranais (Aidoud, 1983, 1989, 1994, Benabdeli, 1983 ; Nedjraoui, 1990, Melzi, 1993 ; Le Houérou, 1996 ; Aidoud et Touffet, 1996 ; Slimani et *al.*, 2010; Aidoud et *al.*, 2011). L'approche dynamique via la surveillance continue à long terme en sites permanents ou plus simplement par la comparaison diachronique d'écosystèmes à des intervalles de temps plus ou moins grands a été souvent considérée comme le meilleur moyen de connaître l'histoire de l'écosystème dégradé et de comprendre les changements. Cette approche vise également l'amélioration des connaissances relatives aux facteurs responsables et d'évaluer leurs impacts, comme elle semble fondamentale pour définir et orienter les actions de restauration, de réhabilitation et de lutte contre la désertification, le stade le plus avancé de dégradation (Melzi, 1993, Aidoud et *al.*, 2011; Jing et *al.*, 2013 et Nedjraoui et *al.*, 2016).

La troisième partie ayant comme objectif l'évaluation de la diversité et la structure génétique de *Stipa tenacissima*, à une échelle plus large en incluant la diversité des populations de l'est algérien. Etant donné que en dehors de quelques études caryosystématiques (Bensettiti, 1985 ; Labadie, 1979 et Tazairt, 1992), un seul travail a permis d'apporter quelques informations sur la variation génétique de l'alfa en Algérie avec un échantillonnage restreint à des populations du centre et de l'ouest de la steppe algérienne (Boussaid et *al.* 2010). Ces travaux nécessitent non seulement d'être poursuivis et valorisés, mais également d'être largement approfondis et complétés par des études de la diversité génétique des populations qui peuvent fournir des informations capitales pour l'exploitation et la protection rationnelles des espèces dominantes et l'évaluation de l'état de leur écosystème (Gustafson et *al.* 1999). Pour cela, les marqueurs moléculaires sont d'un grand intérêt. Ils sont très utiles, autant pour l'investigation de la variation génétique au sein du genre ou de l'espèce, ce qui permet leur identification ou classification taxonomique (Henry, 2012), pour la caractérisation et la gestion des ressources génétiques (Lefort-Buson et *al.*, 1988), que pour la restauration écologique (Reynolds et *al.*, 2012 et Mijangos et *al.*, 2015) et la conservation de la faune et de la flore (Arif et *al.*, 2011). Pour cela, nous nous sommes appuyés sur un échantillonnage de plantes provenant de vingt-sept localités distribuées tout le long de la steppe algérienne, d'Ouest en Est. Des marqueur de type PCR-ISSR (*inter-simple sequence repeats*), permettant de révéler le polymorphisme de séquences amplifiées à l'aide d'amorces microsatellites (Zietkiewicz et *al.*, 1994), sont utilisés pour évaluer la diversité et la différenciation génétique, ainsi que les facteurs intervenant dans l'organisation de la structure génétique de cette espèce.

Partie1: Synthèse bibliographique

**Chapitre 1 : biodiversité : concepts,
intérêts et méthodes d'étude**

1.1. Définitions

Le concept de la Biodiversité est apparu vers la fin des années 1970. Il signifie la diversité de vie et donc des êtres vivants qui peuplent la biosphère (Dajoz, 2003 ; Ramade, 2009). Bien avant, Wilson en 1986, introduit la biodiversité, à l'occasion du forum national américain sur la diversité biologique. Elle a eu immédiatement du succès et est mondialement utilisée depuis la conférence de Rio de Janeiro, 1992, sur l'environnement et le développement (Du Bus De Warnaffe, 2002).

La prise en compte des divers niveaux de complexité des systèmes écologiques auxquels se manifeste la diversité du vivant a conduit à des définitions plus générales de la biodiversité (Ramade, 2009) :

« La diversité biologique se rapporte à la variété et à la variabilité parmi les diverses formes de vie et dans les complexes écologiques dans lesquelles elles se rencontrent » (OTA, 1987 *in* Ramade, 2009).

« La diversité biologique englobe l'ensemble des espèces de plantes, d'animaux et de micro-organismes ainsi que les écosystèmes et les processus écologiques dont ils sont un des éléments, c'est une forme générale qui désigne le degré de variété naturelle incluant à la fois le nombre et la fréquence des écosystèmes, des espèces et des gènes dans un ensemble donné » (McNeely et *al.* (IUCN), 1990).

La Convention de Rio de Janeiro sur l'environnement et le développement ou Sommet de la Terre, organisée en 1992 par l'ONU définit la diversité biologique comme étant la «variabilité des organismes vivants de toutes origines y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres systèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces ainsi que celle des écosystèmes» (Lévêque et Mounolou, 2008).

Blondel (2006) a donné une définition qui a élargi le sens du mot, au point qu'il existe une multitude de définitions de ce concept qui concerne aussi bien les sciences de la nature que celles des sciences de l'homme et de la société :

- Une hiérarchie d'entités objectives (populations, espèces etc.) organisées en systèmes (peuplements, biocénose) en perpétuelle évolution (dimension du temps) et animées d'une dynamique (régulation dans l'espace) et assurant des fonctions (de production, de régulation climatique, hydrologique etc.),

- Une construction sociale, économique et politique dont les enjeux relèvent de ses interactions avec les sociétés humaines : accès, usages, bénéfiques, partage, gestion, durabilité des ressources qu'elle représente,

- Un concept abstrait désignant la « variété de la vie ». Il s'agit alors d'une vision holistique et généraliste irréductible à la connaissance scientifique. Un archétype est l'hypothèse.

Noss (1990) a proposé un schéma conceptuel permettant de percevoir le concept de biodiversité dans sa globalité (figure 1). La biodiversité recouvre selon lui plusieurs dimensions et différents niveaux d'organisation. Les dimensions sont la structure, la composition et le fonctionnement et les niveaux d'organisation de la population, la communauté, le paysage et la région.

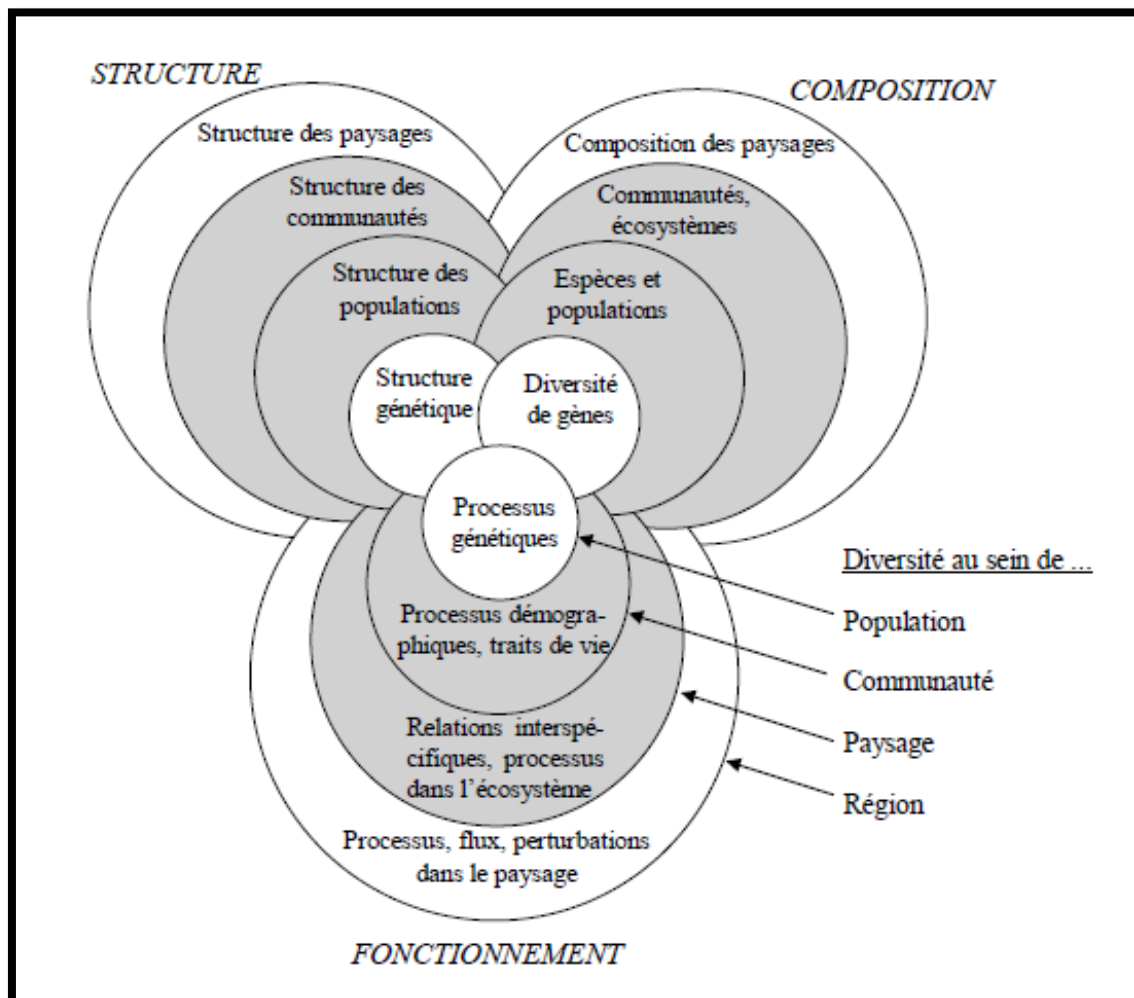


Figure 1 : Dimensions et niveaux d'organisation de la biodiversité d'après Noss (1990)

La biodiversité se caractérise par deux dimensions (Probst et Cibien, 2006) :

- Dans sa dimension temporelle, la biodiversité est un système en évolution constante. Elle n'est pas statique et doit être vue comme un processus. Elle résulte de la création et de l'extinction des éléments qui la composent (gènes, espèces, écosystèmes) à un instant donné.

- Dans sa dimension spatiale la biodiversité résulte de très nombreux critères comme le climat, les sols, l'altitude, et bien sûr l'activité humaine. Elle n'est pas distribuée de façon régulière sur Terre et la majeure partie des espèces se situe dans la zone intertropicale.

1.2. Les niveaux de la biodiversité

La biodiversité est la manifestation de la complexité du vivant, elle permet de caractériser l'environnement de manière assez complète. Elle regroupe trois principaux niveaux (Dajoz, 2003; Ramade, 2009); la diversité interspécifique désigne la diversité génétique, la diversité interspécifique désigne la diversité des espèces et la diversité des écosystèmes désigne la diversité des milieux :

1.2.1. La diversité génétique

1.2.1.1. Définitions et sources de variabilité

La diversité intraspécifique désigne la diversité génétique, qui correspond à la diversité des gènes au sein des espèces (variabilité génétique, mutations, races, variétés,...). Elle est selon Freeland (2005), l'étendue de la variabilité génétique mesurée dans un individu, une population, une métapopulation, une espèce ou un groupe d'espèces.

Différents types et sources de variabilités entre les individus peuvent être rencontrés (Hulliburton, 2004 ; Henri et Gouyon, 2008) :

- **Variabilité morphologique**, mais cette dernière est soumise à l'environnement, qui peut la modeler. Deux plantes génétiquement identiques pourront avoir des morphologies différentes selon le milieu.

- **Variabilité chromosomique**, comme l'ordre des gènes, scission ou fusion chromosomique, position du centromère : télacentrique (au bout), acrocentrique (tailles inégales de part et d'autre du télomère), métacentrique (au milieu).

- **Variabilité comportementale**

- **Variabilité physiologique**, qui correspond aux différences de fonctionnement de l'organisme

- **Variabilité biochimique**, quand les protéines n'ont pas la même fonction

- **Variabilité moléculaire**, avec des différences au niveau des protéines et ADN

La source de la variabilité génétique est principalement la mutation, qui est un phénomène totalement aléatoire, et qui n'est en aucun cas influencé par l'environnement (qui n'augmente que la fréquence de mutation) (Hulliburton, 2004 ; Henri et Gouyon, 2008). Ces mutations se font sur l'ADN, par substitution (remplacement d'une base), délétion (perte d'un ou plusieurs bases) ou insertion (addition d'une, mais plus généralement plusieurs bases) (Lunardi, 2011).

La diversité génétique est la résultante aussi de la sélection, la migration, la dérive génétique et/ou la recombinaison, qui provoquent des changements dans les fréquences de gènes et d'allèles, conduisant à l'évolution des populations (De Vicente et Fulton, 2003).

La génétique des populations étudie la variabilité génétique présente dans et entre les populations avec 3 principaux objectifs (Fleury, 2000) :

- 1- mesurer la variabilité génétique, appelé aussi diversité génétique, par la fréquence des différents allèles d'un même gène.
- 2- comprendre comment la variabilité génétique se transmet d'une génération à l'autre
- 3- comprendre comment et pourquoi la variabilité génétique évolue au fil des générations.

Les applications de la génétique des populations se retrouvent notamment dans la médecine et l'étude des maladies génétiques, l'amélioration génétique (végétal, animal), l'écologie et la biologie de conservation, la théorie de la génétique des populations (Hulliburton, 2004 ; Henri et Gouyon, 2008).

Une population est l'ensemble des individus de la même espèce qui ont la possibilité d'interagir entre eux au moment de la reproduction. Elle représente une communauté génétique constituée par l'ensemble des génotypes des individus qui la composent (Fleury, 2000), l'ensemble des allèles qu'ils partagent, pour chacun des gènes de l'espèce, en constitue le patrimoine génétique (pool allélique) (Serre, 2006).

La notion de population fait donc appel à des critères d'ordre spatiaux, temporels et génétiques et résulte du fait que les individus d'une même espèce n'ont pas tous la possibilité de se rencontrer et de se croiser (Fleury, 2000), limités par l'isolement géographique, lié à l'existence d'une barrière naturelle ou à l'éloignement, comme il peut s'agir d'un isolement écologique, lié à l'hétérogénéité de l'habitat (Serre, 2006). Elle est donc à distinguer de la notion d'espèce qui est par définition un groupe génétiquement fermé au sein duquel les organismes sont susceptibles, par l'alternance méiose-fécondation de séparer ou de réunir les divers allèles de chacun des gènes et de concevoir des combinaisons génétiques nouvelles par la

recombinaison génétique (Serre, 2006), ainsi tous les individus sont interfertiles même si ceux-ci n'ont jamais la possibilité de se croiser (Fleury, 2000).

1.2.1.2. Mesure de la diversité génétique

La variation génétique peut être mesurée à deux niveaux (De Vicente et Fulton, 2003) : le phénotype qui est la combinaison de caractères individuels résultant d'un génotype et son interaction avec l'environnement, et le génotype – la composition génétique particulière d'un organisme.

En biologie végétale les marqueurs génétiques sont toujours synonymes de locus marqueurs ; un locus polymorphe qui renseigne sur le génotype de l'individu qui le porte et/ou sur les génotypes des locus voisins, ils sont par définition des caractères héréditaires (Santoni et *al.*, 2000), elle peuvent être morphologiques, biochimique ou moléculaire (De Vicente et Fulton, 2003).

Le développement de la biologie moléculaire du gène et le séquençage de l'ADN, puis le séquençage des génomes, ont permis de mettre en évidence l'existence de polymorphismes moléculaires de l'ADN, qui se répartit sur l'ensemble du génome, aussi bien dans les séquences signifiantes (codantes ou non codantes) que dans les séquences intergéniques (Serre, 2006). Elle se réfère aux variations dans : la séquence d'ADN, la quantité d'ADN par cellule, ou le nombre et la structure des chromosomes (De Vicente et Fulton, 2003).

Ce polymorphisme est très utiles dans plusieurs applications de la génétique des populations à la biodiversité, à l'étude des QTL (*Quantitative Trait Loci*) ou à l'épidémiologie génétique (Serre, 2006). Ainsi, le marqueur moléculaire présente actuellement un grand intérêt. C'est un outil très utile pour l'investigation de la variation génétique au sein du genre ou de l'espèce, ce qui permet leur identification ou classification taxonomique (Henry, 2012), la gestion des ressources génétiques (Lefort-Buson et *al.*, 1988) et leurs programmes d'améliorations (Santoni et *al.*, 2000), l'amélioration de la réussite de la restauration écologique (Reynolds et *al.*, 2012; Mijangos et *al.*, 2015) et la conservation de la faune et de la flore (Arif et *al.*, 2011). Comme ils servent aussi à préciser les mécanismes évolutifs des populations (Santoni et *al.*, 2000).

L'Avantage de marqueur moléculaire est qui est non soumis à l'influence de l'environnement, Potentiellement en nombre illimité et il Mesure objective de la variation, alors que son inconvénient majeur c'est qu'il nécessite un équipement technique plus complexe (De Vicente et Fulton, 2003). Un bon marqueur moléculaire doit avoir des caractères mendéliens à hérédité simple ; avoir plusieurs allèles ; être codominants ; ne pas avoir d'effet pléiotropique ou

épistatique ; être dispersés le long du génome; ne pas être liés entre eux ; être insensibles au milieu ; être stables à tous les stades du développement ; ne pas avoir d'effet sur la croissance ou la reproduction sexuée ; être sélectivement neutres ; être facilement observables et sans ambiguïté (Bretting et Widrechner 1995) .

Le choix des marqueurs dépend de l'objectif précis fixé et des moyens des utilisateurs, leurs caractéristiques permettent de les séparer en deux familles (Santoni et *al.*, 2000) :

La première est constituée par les marqueurs codominants et révélés individuellement dont les plus courants sont :

Marqueurs révélés par la technique RFLP : *Restriction Fragment Length Polymorphism* (Bostein et *al.*, 1980)- Polymorphisme de longueur des fragments de restriction. Le polymorphisme de la longueur de fragments d'ADN générés par une hydrolyse par une enzyme de restriction. Celui-ci est révélé après hybridation avec une sonde marquée sur les fragments séparés par électrophorèse sur gel et transférés sur membrane.

Marqueurs obtenus grâce à une amplification PCR ciblée : Le procédé PCR (*Polymerase Chain Reaction*) (Saiki et *al.*, 1988 in Santoni et *al.*, 2000) permet l'amplification d'un fragment donné d'ADN, dans toute une série d'individus même si celui-ci est en simple copie au milieu d'un génome de grande taille. Ceci impose de connaître la séquence du fragment « ciblé » ou au moins celle de ses extrémités, afin de définir des amorces oligonucléotidiques spécifiques.

Techniques de digestion du produit d'amplification : PCR/RFLP ou STS en CAPS : *Cleaved Amplified Polymorphic Sequence* (Konieczny et *al.*, 1993) - Digestion des produits d'amplification polymorphes. Un fragment d'ADN génomique amplifié est digéré par des enzymes de restriction afin de détecter les profils électrophorétiques polymorphes des fragments de restriction.

Techniques d'analyse globales de la conformation du fragment : STS en PCR-SSCP : *Single Strand Conformation Polymorphism* (Orita et *al.*, 1989) - Polymorphisme (ou Profil) de conformation simple brin . Cette méthode suit la digestion de l'ADN génomique avec des endonucléases de restriction, la dénaturation en solution alcaline et l'électrophorèse sur gel de polyacrylamide neutre. Après transfert sur une membrane de nylon, le déplacement de mobilité dû à une substitution nucléotidique d'un fragment d'ADN simple brin a pu être détecté par hybridation avec un fragment d'ADN translaté ou plus clairement avec des copies d'ARN synthétisées sur chaque brin du fragment d'ADN comme sondes.

Marqueurs microsatellites SSR : *Simple Sequence Repeats* (Tautz, 1989) - Répétitions de séquences simples. Le processus de réaction en chaîne de la polymérase (PCR) est utilisé pour montrer que plusieurs locus de séquence simple choisis au hasard avec une composition nucléotidique différente et provenant d'espèces différentes montrent des polymorphismes de longueur étendue.

- La seconde famille est constituée par les marqueurs dominants et révélés « en masse » :

Technique RAPD : *Randomly Amplified Polymorphic DNA* (Williams et al., 1990) - ADN polymorphe amplifié au hasard. Le polymorphisme de l'ADN est basé sur l'amplification PCR de segments d'ADN aléatoires avec des amorces uniques de séquence nucléotidique arbitraire.

Technique ISSR : *Inter Simple Sequence Repeats* (Zietkiewicz et al., 1994) – Amplification intermicrosatellites . C'est une amplification sur de l'ADN génomique avec des amorces constituées d'un motif répété dinucléotidique, de type microsatellite, associé à des bases (2 à 6) définies au hasard placées en 3' ou en 5'. Les fragments amplifiés sont donc situés dans le génome entre deux locus microsatellites.

Technique AFLP : *Amplified Fragment Length Polymorphism* (Vos et al., 1995) - Polymorphisme de longueur des fragments d'amplification. Elle est basée sur l'amplification par PCR sélective de fragments de restriction provenant d'un digestat total d'ADN génomique. La technique comprend trois étapes : (i) la restriction de l'ADN et la ligature des adaptateurs oligonucléotidiques, (ii) l'amplification sélective des ensembles de fragments de restriction, et (iii) l'analyse sur gel des fragments amplifiés.

Il existe actuellement des stratégies plus récentes pour déterminer le polymorphisme de l'ADN : comme le séquençage d'ADN, puces à ADN, SNP (*Single nucleotide polymorphisms* : les polymorphismes de simple base) et bien d'autres (De Vicente et Fulton, 2003).

Le séquençage de l'ADN, consiste à déterminer l'ordre d'enchaînement des nucléotides d'un fragment d'ADN donné. Les premières techniques de séquençage ont été développées au milieu des années 1970, depuis 2005, l'émergence de nouvelles technologies considérées comme la nouvelle ou seconde génération de séquençage a permis de séquencer avec des débits qui évoluent encore aujourd'hui de façon phénoménale (Sengenès, 2012). Deux méthodes principales existent : Maxam-Gilbert et Sanger (séquençage dideoxy ou terminaison de chaîne), la méthodologie est généralement comme suit (De Vicente et Fulton, 2003):

L'ADN est coupé en fragments, qui sont ensuite sous-clonés

Chaque petit morceau est utilisé comme matrice pour générer un ensemble de fragments qui diffèrent en longueur l'un de l'autre par une seule base.

Les fragments sont séparés par gel d'électrophorèse

La base terminant chaque fragment est identifiée

La séquence originale est recrée pour chaque petit morceau généré dans la première étape

Les petites séquences sont assemblées en une séquence plus longue.

1.2.2. La diversité interspécifique

1.2.2.1. Définition

La diversité interspécifique correspond à la diversité des espèces, ainsi, chaque groupe défini ou zone donnée, elle peut alors être caractérisée par le nombre et la variété des espèces qui le composent (Dajoz, 2003). Elle est plus facile à comprendre et à mesurer que la diversité génétique et la diversité écosystémique. En effet, la majorité des recherches concernant la biodiversité sont souvent axées sur la diversité spécifique (Le Part, 1997).

L'évaluation de la diversité spécifique peut se réaliser à des échelles d'organisation spatiale différentes (Ramade, 2009), Whittaker (1960) *in* Boussaid (2011) l'a divisée en trois composantes : alpha, bêta et gamma : la diversité alpha exprime le nombre d'espèces qui vivent dans un même site et leur abondance respective. La diversité bêta représente le coefficient de changement dans la composition des espèces le long de gradients environnementaux et la diversité gamma est une mesure de la diversité spécifique au niveau du paysage.

La systématique est une manière d'analyser la biodiversité dans sa capacité à distinguer un organisme d'un autre. Cette démarche est confrontée aux problèmes de temps et de nombre : 1,75 millions d'espèces ont été décrites (Wilson, 1993), environ 6700 espèces décrites par an (Pouillandre, 2005) cependant, les estimations du nombre d'espèces vivantes vont de 3,6 à plus de 100 millions, d'où il faut 1,500 et 15,000 ans pour inventorier la biodiversité (Pouillandre, 2005).

1.2.2.2. La valeur de la mesure de la biodiversité interspécifique

Afin d'être gérée, la diversité biologique doit être mesurée. Rappelons que si l'expression biodiversité s'utilise pour parler de tout ce qui relève des interactions entre l'homme et la biosphère, la diversité biologique définit les actions opératoires qui relèvent traditionnellement de l'inventaire et de la connaissance du monde vivant (Levêque et Mounolou, 2001).

Grâce aux données des mesures de biodiversité, nous pourrions aussi mieux orienter à l'avenir et la protection des espèces et engager les fonds avec davantage de précision. Comme ils sont

indispensables pour donner plus de poids à la biodiversité au niveau de la politique et du grand public (Kohli, 2005). En plus, les pays signataires de la Convention sur la diversité biologique se sont engagés à mesurer et à surveiller leur biodiversité et à faire figurer celle-ci dans leurs évaluations environnementales (ACEE, 2009).

Les mesures ont pour objet de faciliter la communication de l'information entre les personnes et en particulier entre les scientifiques et les gestionnaires de l'environnement. Les modes de mesure de la biodiversité doivent donc représenter une langue commune compréhensible par les scientifiques, les gestionnaires de l'environnement et le public (Schiller *et al.*, 2001).

Théoriquement, pour quantifier la diversité biologique de manière optimale, il faudrait pouvoir évaluer tous ses aspects dans un contexte spatial temporel défini. Cela étant pratiquement irréalisable et relativement difficile en raison de son caractère multidimensionnel et complexe, l'observateur se contente habituellement d'estimer la diversité biologique en se référant à des indicateurs (Gros-Desormeaux, 2008). Ils concernent la génétique, les espèces, les peuplements, la structure de l'habitat ou toutes les autres combinaisons qui fourniraient une estimation plus ou moins pertinente de la diversité biologique. L'usage d'indicateurs biologiques se justifie donc dans bien des cas, qui est par définition, permet d'éviter l'observation complète de l'objet sur lequel il porte (Blandin, 1986). Un taxon indicateur, qui se soit végétal, animal ou microorganisme, doit être sensible aux modifications de l'habitat et permettre, mesuré de manière répétée et continue, de mettre en évidence l'évolution du biotope ou de caractères d'autres taxons (Simberloff, 1998).

Selon Marage (2009) la surveillance de ces indicateurs de biodiversité peuvent servir à la détermination de l'état de la biodiversité par la détermination de seuils d'action ; niveaux auxquels une action doit être prise pour prévenir une perte plus grande de biodiversité. De façon générale ces indicateurs ne permettent pas réellement d'évaluer la biodiversité, mais plutôt l'état du milieu dont dépend la biodiversité naturelle, elles peuvent refléter les répercussions des activités humaines ou le déclin d'une espèce au lieu de décrire la biodiversité d'un secteur donné (ACEE, 2009).

En pratique, la biodiversité ne peut être résumée ou caractérisée par un seul indicateur, nous disposons de toute une série de méthodes et d'indices qu'on devrait avoir recours, pour la mesurer et pouvoir l'aborder (Probst et Cibien, 2006). Plusieurs scientifiques se sont attachés depuis longtemps à définir des indices numériques destinés à résumer par une valeur réelle ou naturelle le niveau de biodiversité d'une communauté. En écologie, on mesure généralement la

diversité d'un échantillon ou d'un secteur à échantillonner soit par le nombre d'espèces présentes, soit par un indice de leur abondance relative (Lacoste et Slanon, 1999 ; Dajoz, 2003 ; Ramade, 2009).

Cousins (1991) *in* Du Bus De Warnaffe (2002) classe les indices en « cardinaux » et « ordinaux » : ceux du premier groupe traitent toutes les espèces comme égales ; des exemples bien connus d'indices cardinaux sont la richesse spécifique (le nombre total des espèces que comporte le peuplement considéré dans un écosystème donné), l'indice de Shannon (mesure d'hétérogénéité), l'équitabilité (dimension fondamentale qui tient en compte l'abondance relative des espèces) et la courbe de rang d'abondance des espèces (Lacoste et Slanon, 1999; Ramade, 2009). Tandis que ceux du second produisent une représentation de la diversité basée sur la différence entre les espèces pour un ou plusieurs caractères (abondance, taille, valeur patrimoniale, ... etc.), selon l'objectif poursuivi. Les indices basés sur le spectre des tailles des espèces sont des exemples d'indices ordinaux. Selon Cousins (1991) *in* Du Bus De Warnaffe (2002), l'utilisation d'indices ordinaux permet de corriger l'erreur consistant à estimer la stabilité des communautés par la richesse spécifique ou des indices dérivés, approche qui a montrée d'importantes limites en la matière.

De toute évidence, il n'est pas facile d'observer, d'échantillonner, d'identifier et de décrire chacune des espèces et des processus présents dans un écosystème donné. Pour effectuer une évaluation de la biodiversité, on doit disposer d'un ensemble de mesures complémentaires et économiques (Costello et *al.*, 2001).

1.2.3. La diversité des écosystèmes

La diversité des écosystèmes correspond à la diversité structurale et fonctionnelle des écosystèmes qui sont présents dans une région, elle résulte de la diversité des sols et du substrat géologique, des climats, et de nombreux autres facteurs (Dajoz, 2003).

Cette diversité est étudiée au niveau local ou régional, mais elle est plus difficile à évaluer que la diversité génétique et interspécifique car les limites entre les écosystèmes ne sont pas nettes (Dajoz, 2003).

1.3. Importance et menaces de biodiversité

Les bénéfices de la biodiversité sont souvent présentés en termes de « services écosystémiques » ou services fournis par les écosystèmes (Dajoz, 2003). Ceux-ci comprennent les services d'approvisionnement (nourriture, eau, bois,...) et les services de régulation (régulation des inondations et des maladies, par exemple) montrant ses valeurs agricoles et industrielles, en plus des services culturels (bénéfices spirituels, récréatifs et culturels) et les services de soutien qui maintiennent des conditions favorables à la vie sur Terre (le cycle des éléments nutritifs, par exemple). Ce qui lui attribue une valeur socio-économique très importante.

On ne peut aborder la notion de biodiversité sans évoquer la crise à laquelle elle est confrontée. On estime qu'environ 1,5 milliards d'espèces ont vécu sur Terre depuis le début de la vie. Des espèces apparaissent et d'autres disparaissent au rythme de 1 espèce sur un million par an (Wilson *in* Le Duc, 2005). A cette extinction de routine, se sont rajoutées cinq crises d'extinctions, dans un laps de temps très court, qui ont éliminé 12 à 75% des familles et jusqu'à 95% des espèces (Erwin, 1989 *in* Blondel, 2006). Chaque année, entre 17000 et 100000 espèces disparaissent définitivement de notre planète. Certains avancent également qu'un cinquième de toutes les espèces vivantes pourrait disparaître dans les 30 ans (Probst et Cibien, 2006).

En plus des coûts écologiques, la perte de la biodiversité engendre des coûts économiques importants. Une première tentative de mesure du coût de l'inaction a été présentée dans une étude commandée par l'Union européenne en 2008 : selon les premières conclusions, en 2050, la perte de la biodiversité représenterait au moins 7 % du PIB mondial (ENVEROPEA, 2009).

A l'origine de cette situation on trouve la croissance de la population humaine mondiale et de ses activités non durables (Ozenda, 2000). Parmi les exemples des facteurs, on peut citer la déforestation et la fragmentation des forêts, le drainage des zones humides et autres destructions d'habitats, le développement industriel et urbain, l'expansion agricole, la surconsommation des ressources, la pollution de l'air et de l'eau, les changements climatiques, désertification et la propagation d'espèces exotiques envahissantes (UICN, 2002 et OCDE, 2008). Ainsi c'est la surexploitation des écosystèmes et leur profonde et rapide modification qui engendre cette crise, plus que la destruction directe de la faune ou de la flore (Probst et Cibien, 2006).

Si nous ne mettons pas un frein à ces tendances, nous serons témoins de la disparition progressive d'une bonne partie de la diversité des plantes qui se manifesterà non seulement par l'extinction d'espèces et la perte d'écosystèmes mais aussi par une érosion génétique et par un

rétrécissement du capital génétique de nombreuses espèces ce qui menace la sécurité économique, culturelle et physique des communautés locales et conduira à la disparition de connaissances autochtones accumulées durant des millénaires (UICN, 2002).

1.4. Gestion et conservation de la biodiversité

Face au déclin de la biodiversité, une mobilisation croissante se manifeste de la part de la communauté scientifique qui se trouve confrontée à de multiples questions et défis sur la distribution de la diversité biologique, l'ampleur de la crise d'extinction, méthodes d'inventaire des espèces, les mécanismes de régulation et d'adaptation des espèces, et leurs fonctions sociétales et biologiques dans les écosystèmes et la gestion des écosystèmes pour garantir leur pérennité et les services qu'ils rendent (Blondel, 2006). C'est dans ce contexte de crise qu'est née à la fin des années 1960 une nouvelle discipline qu'est la biologie (ou écologie) de la conservation dont le but est d'enrayer le déclin de la biodiversité, voire de la restaurer (Blondel, 2006). Il s'agit d'une nouvelle manière d'aborder des champs de recherche classiques comme la biogéographie, l'écologie, la systématique, la génétique, la physiologie etc. Elle s'intéresse aux acteurs (gènes, populations, espèces) et tient comme objectif la réponse à toutes ces questions (Blondel, 2006).

C'est ainsi, la conservation de la biodiversité est devenue un motif de préoccupation mondiale, que la plupart des observateurs ont pris la mesure du processus et considèrent essentiel que cette diversité soit préservée. Dans la convention sur la diversité biologique adoptée en 1992, cinq points ont été énoncés (Dajoz, 2003) : identifier les composants de cette diversité (écosystèmes, espèces); établir un réseau d'aires protégées; adopter des mesures assurant la conservation *ex situ*; intégrer la conservation des ressources génétiques dans la politique des divers pays; développer des méthodes d'évaluation de l'impact des projets d'aménagement sur la diversité biologique.

Les actions touchant la biodiversité se développent autour de 5 axes majeurs (ENVEROPEA, 2009):

Comprendre la biodiversité, son rôle écologique et sa valeur.

Maintenir, préserver la biodiversité existante dans les milieux.

Lutter contre la perte de biodiversité (combattre les espèces invasives, la banalisation des milieux, ou les effets du changement climatique, par exemple).

Valoriser la biodiversité de façon durable et lui assurer une protection collective.

Partager de façon juste et équitable les ressources et bénéfices issus de la biodiversité.

Sur ces enjeux, plusieurs approches guident les actions (ENVEROPEA, 2009) :

Scientifique : connaissances sur l'état, le potentiel, le suivi de la biodiversité, les ressources génétiques, les risques et les conséquences de la perte de biodiversité.

Technique : génie écologique, modes de gestion de la biodiversité, technologie de la valorisation de la biodiversité, méthodes et techniques de protection : Il existe deux grands types d'options de conservation de la biodiversité : la conservation *in-situ*, c'est-à-dire dans le milieu naturel et la conservation *ex-situ*. Ces deux démarches sont complémentaires (Dajoz, 2003) :

- **La conservation *in situ*** apparaît comme la solution idéale puisqu'elle maintient les espèces dans leur écosystème en conservant leur potentiel évolutif, et dans la mesure où elle permet la conservation d'écosystèmes entiers (organismes et interactions). C'est le rôle que jouent les diverses catégories d'aires protégées.

- **La conservation *ex-situ*** s'avère nécessaire dans le cas de destruction d'habitats d'espèces rares ou en voie de disparition, ou pour préserver les semences. En réalisant des élevages en milieu contrôlé : dans les jardins botaniques, les jardins zoologiques, les banques de gènes, les conservatoires de variétés sauvages ou agricoles (cultures et élevage).

Économique et financière : définition des valeurs de la biodiversité, utilisation des instruments du marché (taxation, financements), systèmes et outils économiques et financiers de compensation.

Sociale et politique : responsabilité environnementale, pénalisation des atteintes à la biodiversité, intégration des préoccupations en matière de maintien et de protection de la biodiversité dans l'ensemble des politiques et activités, actions de mobilisation, d'information et de sensibilisation, Chartes et actions internationales.

Au niveau mondial, la biodiversité est un sujet au cœur des grands accords internationaux sur l'environnement, les principaux traités ou conventions liés à la biodiversité sont (Dajoz, 2003):

- La Convention de Ramsar sur les zones humides d'importance internationale – 1971.
- La Convention du patrimoine mondial, culturel et naturel– 1975.
- La Convention de Washington sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvage menacées d'extinction – 1975.
- La Directive Oiseaux du Conseil de l'Europe relative à la conservation des oiseaux sauvages – 1981.
- La Convention de Bonn sur les espèces migratrices et de Berne sur la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe — 1983.

- La Convention des Nations Unies sur le droit de la mer – 1982.
- La Convention sur la diversité biologique (CDB) — 1992.
- Le Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture – 2001.

La biodiversité est également une priorité des grandes organisations internationales, où certaines organisations internationales coordonnent les politiques de protection de la biodiversité au niveau mondial (ENVEROPEA, 2009) :

Le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE)

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organisation ou FAO)

Le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD)

L'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco)

L'Union internationale de conservation de la nature (l'UICN)

**Chapitre 2 : présentation de cadre
d'étude**

2.1. Le milieu steppique algérien

2.1.1. Délimitation géographique

Le terme « steppe » évoque d'immenses étendues arides couvertes d'une végétation basse et clairsemée . Pour le phytogéographe, il s'agit de formations végétales basses et ouvertes, dominées par des espèces pérennes particulièrement des xérophytes en touffes, dépourvues d'arbres, où le sol nu apparaît dans des proportions variables (Le Houerou, 1969 ; Aidoud, 1998).

La Steppe algérienne constitue une vaste région limitée au Nord par l'isohyète 400 mm qui coïncide avec l'extension des cultures céréalières en sec et au Sud, par l'isohyète 100 mm qui représente la limite méridionale de l'extension de l'alfa (*Stipa tenacissima*) (Le Houerou et al., 1977; Djebaili, 1984), elle évoque toujours de grandes étendues, couvertes d'une végétation basse et clairsemée (Le Houerou, 1995). Formant un ruban de 1000 km de long sur 300 km de large, réduite à moins de 150 km à l'Est, d'une superficie estimée à environ 20 millions d'hectares (Djebaili, 1978 ; Pouget, 1980). Elle se localise entre deux chaînes de montagnes en l'occurrence, l'Atlas tellien au Nord et l'Atlas saharien au Sud, répartie administrativement à travers 08 wilayas steppiennes et 11 wilayas agro-pastorales totalisant 354 communes (Nedjimi et Homida, 2006) (figure 2).

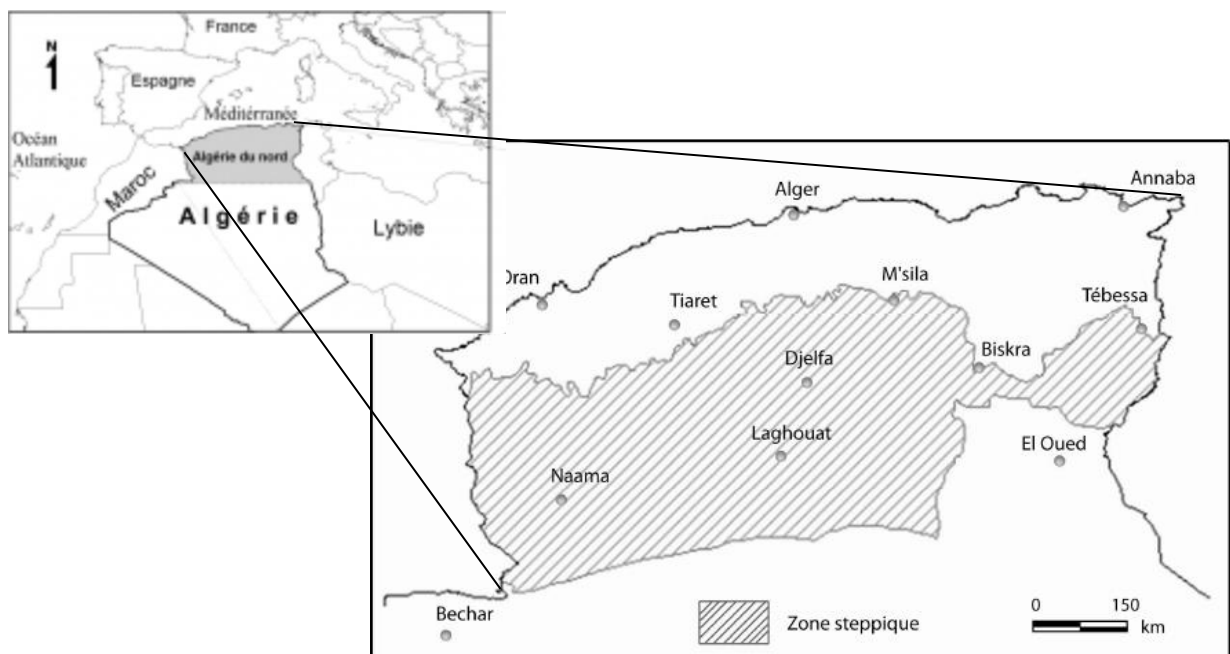


Figure 2 : Localisation et délimitation de la région steppique algérienne (Nedjraoui, 2004)

2.1.2. Caractéristiques climatiques

Les zones steppiques algériennes ont un climat méditerranéen caractérisé essentiellement par : des faibles précipitations présentant une grande variabilité intermensuelle et interannuelle ; des régimes thermiques relativement homogènes mais très contrastés, de type continental (Le Houerou et *al.*, 1977).

Selon Djebaili (1984), nous pouvons distinguer deux périodes :

- la première, pluvieuse, s'étale de Septembre à Mai avec un premier maximum en Octobre et un deuxième en Avril.

- la seconde, sèche, coïncide avec la saison la plus chaude. Elle présente un premier maximum de sécheresse en Juillet. Le deuxième maximum de sécheresse se situe en Août.

Les étages bioclimatiques s'étalent du semi-aride inférieur frais au per aride supérieur frais, ce zonage bioclimatique est actuellement en cours de révision par les chercheurs qui se penchent sur l'impact des changements climatiques et celui du processus de désertification sur ces limites (Nedjraoui et Bedrani, 2008).

La pluviosité moyenne annuelle est en général faible (Le Houerou et *al.*, 1977) . D'après les données analysées par Seltzer (1946) les Hautes Plaines sud-oranaises, sud-algéroises et sud-constantinoises reçoivent entre 200 et 400 mm en moyenne par an. La pluviosité s'abaisse sensiblement dans la région du Chott el Hodna dont la partie centrale reçoit moins de 200 mm. Elle diminue encore sur le piedmont Sud de l'Atlas saharien (environ 150 mm) décroissant rapidement dès que l'on s'éloigne de la flexure sud-Atlasique vers le Sud. Seuls les massifs montagneux reçoivent de, quantités d'eau plus importantes, de l'ordre de 400-500 mm dans l'Atlas saharien et pouvant atteindre plus de 600 mm dans les Monts du Hodna et les Aurès-Belezma.

La répartition saisonnière est marquée par la prédominance des pluies d'automne et de printemps avec un minimum pluviométrique assez net en février. Durant la période chaude, une certaine quantité d'eau, en fait assez faible, mais d'autant plus importante que l'on va vers l'Est, est apportée par les orages dont la fréquence est maximale durant cette saison (Le Houerou et *al.*, 1977) .

L'Algérie steppique connaît un régime thermique contrasté, de type continental. L'amplitude thermique annuelle y est partout comprise entre 20 et 22° C, avec une distance sensiblement constante de la mer, le régime thermique de la région est aussi fortement influencé par l'altitude (Le Houerou et *al.*, 1977) .

Les régions comprises entre les deux Atlas et les Atlas eux-mêmes, connaissent les températures hivernales les plus basses d'Algérie, du fait de leur altitude relativement élevée. La moyenne des minima de mois le plus froid varie de -2°C à $+6^{\circ}\text{C}$, et celle des maxima du mois le plus chaud est comprise entre les isothermes 34°C et 37°C . L'amplitude thermique moyenne (M-m) varie peu et reste sensiblement égale à $34,6^{\circ}\text{C}$ (Le Houerou et *al.*, 1977).

Une autre caractéristique du climat steppique est le vent violent. En effet, celui d'hiver occasionne des dégâts ; celui d'été venant du Sahara (sirocco) est le plus catastrophique. C'est un vent chaud qui souffle de 20 à 30 jours par an et a des effets pervers sur la végétation (Nedjimi et Guit, 2012).

2.1.3. Caractéristiques édaphiques

Les sols steppiques sont squelettiques : pauvres et fragiles, prédominance des sols minces, de couleurs grises à cause de la rareté de l'humus et de leur très faible profondeur (Pouget, 1980 ; Achour-Kadi Hanifi et Loisel, 1997), ils sont caractérisés par la présence d'accumulation calcaire, la faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (Djebaili et *al.* 1983 *in* Nedjraoui, 2004).

Les ressources hydriques sont faibles, peu renouvelables, inégalement réparties et anarchiquement exploitées. Les points d'eau sont au nombre de 6500 dont plus de 50% ne sont plus fonctionnels (Nedjraoui et Bedrani, 2008).

L'existence de bons sols est très limitée. Ces derniers sont destinés aux cultures et se localisent dans les dépressions, les lits d'Oued, les dayas et les piémonts de montagne du fait que leur situation permet une accumulation d'éléments fins et d'eau (Pouget, 1980).

Selon Pouget (1980) la région steppique sud-Algéroise est caractérisée par des sols appartenant à 8 classes de la classification française (C.P.C.S, 1967 *in* Pouget, 1980) : Sols minéraux bruts d'érosion, sols peu évolués d'apport éolien et d'apport alluvial, vertisols, sols calcimagnésiques, sols isohumiques, sols à sesquioxides de fer, sols hydromorphes et sols halomorphes. Comme il a distingué les grands ensembles lithologiques et géomorphologiques servent de cadre pour la présentation des principaux types de sols :

- les sols formés sur le substratum géologique.
- les sols à accumulation calcaire des glacis et terrasses quaternaires.
- les sols des formations alluviales récentes et actuelles.
- les sols des dayas.
- les sols des formations éoliennes.

Et enfin trois ensembles de sols dominés par des caractéristiques particulières qui déterminent des classes (ou sous-classes) spécifiques :

- les sols gypseux.
- les sols halomorphes.
- les sols hydromorphes.

2.1.4. Typologie et végétation de la steppe algérienne

Dans la région steppique algérienne différents types de steppes peuvent exister en formation pures ou en mélange, où l'espèce végétal dominant peut être herbacé (graminée) ou ligneux (sous-arbrisseaux) (Le Houérou, 1995).

Deux grands types de steppe sont distingués (Djebaili, 1984; Le Houérou, 1995; Aidoud, 1998; Nedjraoui, 2004 et Aidoud et *al.*, 2006) :

Des steppes dominées par des poacées (graminées) pérennes dont les principales sont :

- Les steppes à alfa (*Stipa tenacissima*) pures ou mixtes avec d'autres plantes pérennes ou vivaces. Sans les épis et sans les plantes annuelles, qui y confère une valeur fourragère, les parcours à dominance d'Alfa sont considérés comme médiocres, car les feuilles de cette plante riches en cellulose ont une valeur énergétique faible.

- Les steppes à sparte (*Lygeum spartum*) qui ne présente qu'un faible intérêt pastoral. La productivité relativement élevée, des espèces annuelles et petites vivaces confèrent à ces types de parcours une production pastorale importante.

Des steppes à chaméphytes formées d'espèces ligneuses, particulièrement :

- Les steppes à armoise blanche pures ou mixtes avec d'autres plantes pérennes ou vivaces, qui sont souvent considérées comme les meilleurs parcours où l'armoise ayant une valeur fourragère importante (Nedjraoui, 1981 *in* Nedjraoui, 2004).

- Les steppes à remt (*Arthrophytum scoparium*) forment des parcours qui présentent un intérêt assez faible sur le plan pastoral dans les milieux présahariens à sahariens. Ils assurent la transition entre, d'une part les steppes à alfa, sparte et armoise blanche, végétation typique des Hautes Plaines steppiques et d'autre part la végétation du Sahara (Kaabèche, 2000).

D'autres types de steppe sont rencontrés mais ayant une importance secondaire (Aidoud, 1998 ; Bencherif, 2011) :

- **Des steppes à psammophytes** ; constituées d'espèces qui poussent sur les sols sableux, et qui peuvent jouer un rôle de fixation des dunes, comme le rétam (*Retama retam*) et le drinn (*Aristida pungens*).

- **Des steppes à halophytes** ; ce sont des formations particulières des dépressions

salées ; parmi les espèces qu'on y rencontre les *Atriplex* (*Atriplex halimus*, *Atriplex nummularia*, *Atriplex canescens*), le Tamarix (*Tamarix galica*).

- **Des steppes « secondaires » (post-culturelles)** ; elles se constituent sur les parcelles précédemment défrichées et mises en culture, recolonisées par des espèces de faibles valeurs fourragères comme *Artemisia campestris*, *Hordeum murinum*, *Malva sylvestris*, qui viennent remplacer les bonnes espèces fourragères.

- **Des steppes dégradées** ; issues de la disparition de plantes annuelles et vivaces, et leur remplacement partiel par d'autres de moindre valeur fourragère comme *Peganum harmala*, *Noaea mucronata*, *Atractylis serratuloïdes* et *Thymelea microphylla*.

Des formations mixtes telles que matorral arboré ou steppe arborée, traduisent les transitions (écotones) d'un type de formation à un autre, dans les maquis et les forêts des régions montagneuses, on trouve comme espèces dominantes : le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), le chêne vert (*Quercus ilex*).

2.2. Les steppes d'alfa (*Stipa tenacissima*) : végétation et état actuel

L'alfa participe à des groupements préforestiers et à des groupements de matorrals, comme elle forme des groupements dans les matorrals dégradés, les steppes à alfa en bon état et dans les steppes à alfa dégradées et ensablées (Bouazza, 1991 ; Kadi-Hanifi, 1998 ; Boughani, 2014).

Au plan dynamique, les steppes d'alfa représentent l'ultime et le dernier stade de régression des formations forestières. (Djebaili, 1978 ; Pouget, 1980 ; Le Houerou, 1995), comme la majorité des groupements steppiques sont issus par dégradation des steppes à *Stipa tenacissima* (Le Houerou, 1969 ; Celles 1975 ; Djebaili, 1978 ; Aidoud-Lounis, 1984), ainsi elles occupent les stades de transitions entre les forêts de pin d'Alep, de chêne vert, et les steppes à chaméphytes (Le Houerou, 1969), présentant une forte amplitude écologique (Kadi-Hanifi, 1998). Elles peuvent présenter des formations pur ou mixte avec d'autres espèces tels que *Artemisia herba alba*, *Lygeum spartum* et *Salsola vermiculata*, alors que la plus part des autres espèces sont des thérophytes et des petites vivaces (Djebaili, 1978 ; Aidoud *et al.*, 1982 ; Aidoud-lounis, 1984).

Les groupements d'alfa sont rattachés par Maire (1926) au *Stipetum tenacissima* et au groupe de *Plantagino albicantis-Helianthemum ruficomis* par Kadi-Hanifi (1998). Celles (1965) in Slimani (2012) les ont intégrés dans l'association à *Stipa tenacissima* et *Launaea*

acanthoclada, comme il a trouvé Kaabèche (1990), en plus de groupement à *Stipa tenacissima* et *Juniperus phoenicea*.

Ainsi Kaabèche (1990) a distingué deux groupements végétaux à base de *Stipa tenacissima* :

- Groupement à *Stipa tenacissima* et *Juniperus phoenicea*

Ce groupement arboré caractérisé par une composition floristique pluristrate : une strate arborée et arbustive et sous-arbustive constituée principalement par : *Juniperus phoenicea*, *Pistacia atlantica*, *Rhus tripartitum*, *Periploca laevigata*, *Olea europaea* var. *oleaster* , *Helianthemum virgatum* et d'autre part une strate herbacée dominée par l'alfa

- Groupement à *Stipa tenacissima* et *Launaea acanthoclada* (alliance de *Stipo-Launaeion acanthocladae*)

Dans sa composition strictement vivace, le groupement est composé principalement par *Stipa tenacissima* avec *Launaea acanthoclada*, d'autres espèces peuvent se dégager ; comme *Atractylis serratuloides*, *Helianthemum lippii*, *Herniaria fontanesii*, *Plantago albicans*, *Salvia aegyptiaca*, *Stipa lagascae*, *Stipa parviflora*, *Thymaelea microphylla*.

Les groupements à alfa se caractérisent par une phénologie et des variations saisonnières importantes, ainsi selon Kaabèche (2000) :

En période humide (pluies automnale et hivernale), par le développement très rapide de plantes annuelles (acheb) à haute valeur fourragère qui poussent entre les touffes d'alfa qui leur imprime une phénologie saisonnière remarquable.

Au printemps par :

- Des Poaceae (*Andropogon distachyus*, *Brachypodium distachyum*, *Cutandia divaricata*, *Cymbopogon schoenanthus*, *Dactylis glomerata* subsp *hispanica*, *Hyparrhenia hirta*, *Stipa barbata*, *Stipa lagascae*, *Stipa parviflora*),

- Des Fabaceae (*Argyrolobium uniflorum*, *Astragalus mareoticus*, *Astragalus sinaicus*, *Hedysarum spinosissimum*, *Medicago laciniata*, *Medicago minima*, *Medicago truncatula*, *Ononis serrata*, *Vicia monantha* subsp *cinerea*).

- d'autres espèces relevant de familles diverses constituent également la richesse des parcours : *Arnebia decumbens*, *Asteriscus pygmeus*, *Atractylis cancellata*, *Daucus sahariensis*, *Evax pygmaea*, *Filago exigua*, *Hedysarum carnosum*, *Herniaria fontanesii*, *Limonium sinuatum*, *Limonium thouinii*, *Lonchophora capiomontiana*, *Malva aegyptiaca*, *Micropus bombicinus*, *Muricaria prostrata*, *Nonnea micrantha*, *Plantago albicans*, *Scabiosa arenaria*, *Scabiosa stellata*.

Les travaux d'inventaire écologique réalisés durant une longue période (1977 à 1992) par Aidoud (1994), Aidoud et Touffet (1996) et Aidoud et *al.* (1997), en plus des travaux les plus récents et surtout la surveillance à long terme portant sur une 30aine d'années (Slimani et *al.*, 2010; Aidoud et *al.*, 2011) ont souligné une dégradation (régression ou disparition) des steppes d'alfa en Algérie.

Cette évolution régressive est manifesté principalement par :

Réduction de la surface occupée par les steppes d'alfa, c'est ainsi elle est passée, en un siècle, de 4 millions d'hectares signalé par Boudy (1950) *in* Moulay et *al.* (2011), à deux millions d'hectares (HCDS, 2001). Néanmoins, les pertes sont encore plus importantes si l'on considère que dans cette surface ont comptabilisées les superficies où quelques reliques noirâtres de touffes mortes laissent supposer l'existence de l'alfa dans certaines zones (Nedjraoui et Bedrani, 2008). Une étude de cas, parmi plusieurs réalisé dans la région steppique, au Sud-ouest Oranais de 3 communes à vocation pastorale (El Biodh, Mecheria et Naâma) confirme bien la régression des surfaces des différents faciès steppique (tableau 1) (Salamani et Hirche, 2006).

Tableau 1: Evolution des faciès steppiques entre 1978 et 2005 dans la région Sud-ouest Oranais

	1978		2005		Bilan %
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	
<i>Stipa tenacissima</i>	208 991	30	46 680	6.7	-78
<i>Artemisia herba alba</i>	107 414	15.4	806	0.12	-99
<i>Lugeum spartum</i>	313 378	45	55 608	8	-82
De dégradation	/	/	489 167	70	+70
Psammophile	/	/	51 336	7.4	+7

(Salamani et Hirche, 2006)

Ainsi des statistiques de DSA (tableau 2) ont montrés l'augmentation remarquable de la part des parcours dégradés par rapport des autres terres dans la région steppique entre 1985 et 2000 (Ndjimi et Guit, 2012).

Tableau 2 : Evolution de l'occupation du sol steppique entre 1985 et 2000

Désignation	1985		2000	
	Superficie (10 ⁶ ha)	%	Superficie (10 ⁶ ha)	%
Parcours palatables	10	50	8.7	43.5
Parcours dégradés	5	25	7.5	37.5
Terres improductives	2.5	12.5	0.1	0.5
Forets et maquis	1.4	7	2.1	10.5
Cultures marginales	1.1	5.5	1.6	8

(DSA, 2003)

Une diminution importante de la biomasse et de la productivité moyenne annuelle enregistrée dans la région sud-Algéroise (Melzi, 1993) et de même niveau dans la région sud-Oranaise ; la phytomasse de l'alfa a diminué de 2100 Kg MS/ha en 1976 à 572 Kg MS/ha (Aidoud et Nedjraoui, 1992). Aidoud et Aidoud-Lounis (1990) ont noté que dans les peuplements dense des plaines, le couvert de l'alfa passe en moyenne de 30 à 3% et sa phytomasse verte de 1750 à 75 kg MS./ha, entre 1978 et 1990. Pendant que les peuplements clairs, enregistrent un dépérissement total de l'espèce (Aidoud et Touffet, 1996). Une étude de cas de 27ans dans au Sud-ouest Oranais a montré une évolution régressive de la production des principaux faciès steppiques (tableau 3) (Salamani et Hirche, 2006). La perte de densité d'alfa est évaluée à une moyenne de 80 touffes annuellement (Moulay et *al.*, 2011).

Tableau 3: Evolution de la production pastorale entre 1978 et 2005 dans la région Sud-ouest Oranais

Taxon	Production pastorale UF	Production pastorale UF	Bilan UF	Bilan %
<i>Stipa tenacissima</i>	22 842 204	3 096 081	- 161 312	-86
<i>Artemisia herba alba</i>	14 193 649	86 340	-106 608	-99
<i>Lugeum spartum</i>	31 047 199	5 909 596	-257 772	-81

(Salamani et Hirche, 2006)

Appauvrissement de richesse floristique et changement de couvert végétal ; la disparition de l'alfa engendre des conditions nouvelles qui favorisent l'installation et l'extension des thérophytes (Aidoud, 1989 ; Ghennou, 2014) et des chamaephytes dépourvues d'intérêt économique et délaissées par le bétail comme *Astragalus*, *Arthrophytum*, *Atractylis*, *Asphodelus*, *Carduncellus* (Moulay et Benabdeli, 2011 ; Ghiloufi et al., 2015).

Aidoud- Lounis (1984) résume le modèle de dégradation des steppes d'alfa en deux trajectoires dans la région sud-Oranais (figure 3) :

Dans le premier l'alfa serait remplacée progressivement par *Artemisia herba alba*, qui peut être remplacée ensuite par d'autres espèces moins palatables tel que : *Noaea mucronata*, *Atractylis serratuloides* et *salsola vermiculata*.

Dans le deuxième, l'alfa dégradé est remplacée par le *Lygeum spartum*, ensuite par *Thymelaea microphylla* et *Aristida pengens*, l'installation de ces espèces est favorisée par l'ensablement de la surface.

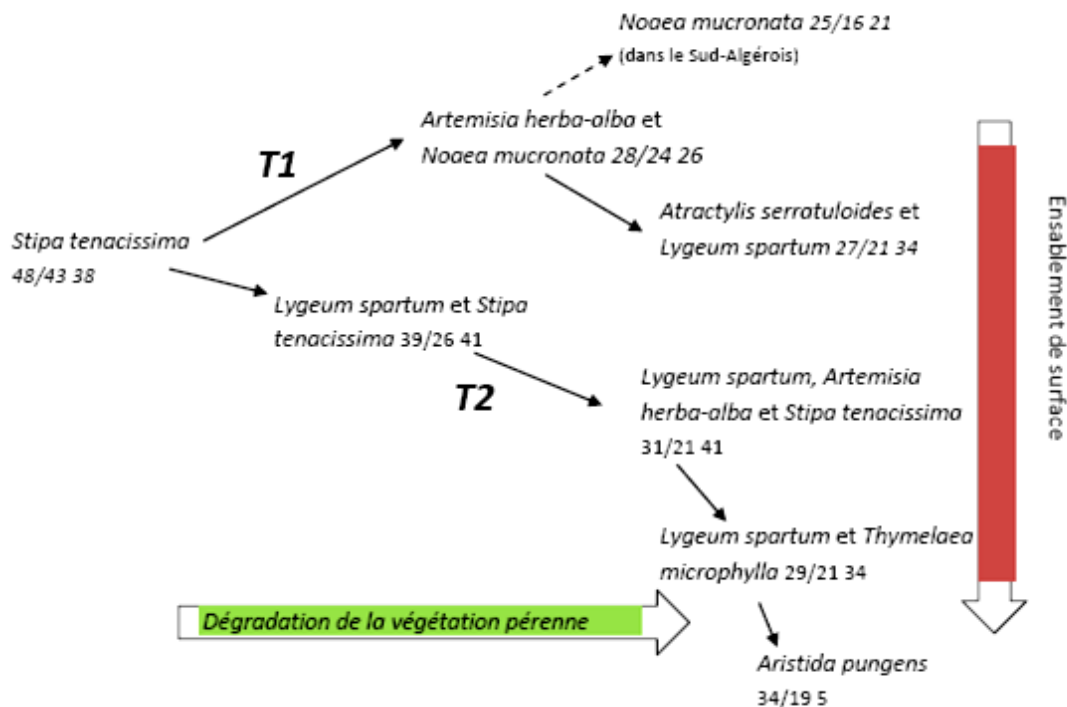


Figure 3: Modèle prédictif de succession des steppes d'alfa dans la région sud-Oranais (Chott Chergui) (Aidoud- Lounis, 1984)

Les valeurs correspondent respectivement au RG : recouvrement global (%), RP : recouvrement des pérennes (%) et RS : richesse floristique

2.3. Menaces et facteurs de dégradation des steppes en Algérie

Une carte de sensibilité des terres Algériennes à la désertification a été élaborée par Salamani et *al.* (2012) montre que les hauts Plateaux et le Présaharien sont très sensibles à la désertification, tous les indices de qualité sont mauvais dans ces régions steppiques et arides (figure 4), alors que quelques massifs du nord sont très faiblement à faiblement sensibles (massifs forestiers de l'est), où il ressort un gradient de sensibilité de désertification nord-sud.

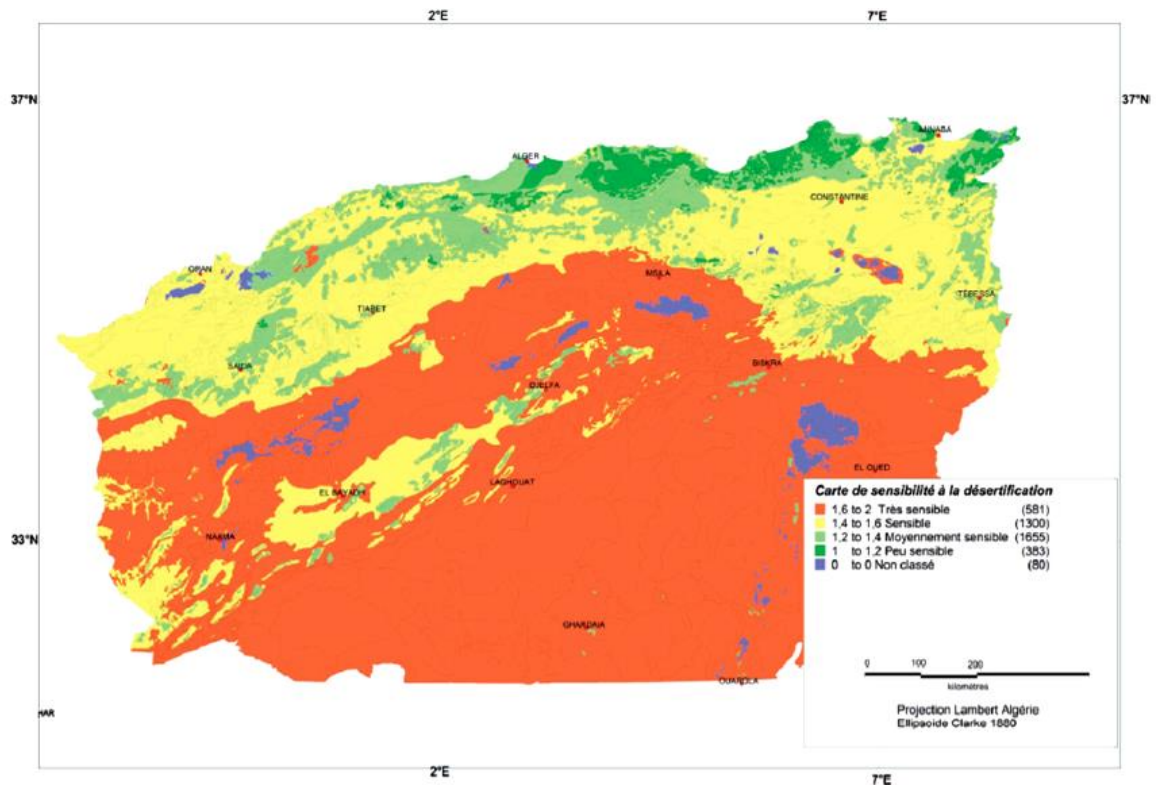


Figure 4 : Carte de sensibilité à la désertification en Algérie (Salamani et *al.*, 2012)

La dégradation des steppes algériennes, en particulier celles dominées par *Stipa tenacissima* est sous l'effet de plusieurs facteurs d'origine naturelle et anthropique, comme ils ont signalé plusieurs auteurs Djebaili et *al.* (1989); Le Houérou (1996); Aidoud et Touffet (1996); Kadi-Hanifi et *al.* (2005); Nedjraoui et Bedrani (2008); Hadeid (2008); Slimani et *al.* (2010); Moulay et *al.* (2011); Nedjimi et Guit (2012) et Hasnaoui et Bouazza (2015) :

- Anthropiques traduits par une surexploitation des ressources végétale; défrichement abusif, labour et pratiques culturales, sur-collecte de l'alfa pour l'industrie du papier et principalement le surpâturage imposé par un effectif ovin s'accroissant sans cesse, où l'élevage est la pratique principale dans la région steppique, et l'élevage extensif est de plus

en plus sédentarisé, reposant sur des systèmes mixtes (semi-sédentaire, semi-transhumant et nomades) (Yerou et Benabdeli, 2003), cela utilise comme terrain de parcours toutes les formations végétales steppiques. Ainsi, le taux de cheptel est en augmentation progressive depuis l'indépendance (tableau 4), provoquant un surpâturage intense avec une charge près de dix fois supérieure à la charge d'équilibre des parcours dont l'offre fourragère est en constante décroissance (Nedjraoui, 2002).

Tableau 4 : Effectif de cheptel en région steppique en (10³ têtes)

	1968	1999	2003	2009
Ovins	5600	15000	18738	21404 580
Caprins	300	1400	3186	-
Bovins	120	240	1464	-
Camelins	100	100	333	-
Equidés	250	750	-	-

(DSA, 2003 ; ONS, 2013)

La forte croissance du cheptel steppique est liée à la faiblesse de création d'emplois dans les zones steppiques, à la demande soutenue et croissante de la viande ovine et à la haute rentabilité de l'élevage en zones steppique du fait de la gratuité des fourrages et de la disponibilité pendant une longue période d'aliments de bétail importés vendus à bas prix (Bedrani, 1994). Mais principalement au maintien d'une forte croissance démographique dans les zones steppiques, où la population steppique représente avec la population tellienne environ 50% pourcent de la population totale (tableau 5), elle est passée de 925.708 habitants en 1954, à plus d'un 1 million d'habitants en 1966, pour qu'elle arrive à plus de 5 millions en 2008, et plus de 7 millions d'habitants en 2010 (ONS, 2013). Elle concerne aussi bien la population sédentaire que la population éparse. Cependant, on note une importante régression du nomadisme qui ne subsiste que de façon sporadique (Khaldoun, 1995).

Tableau 5 : Distribution et effectif de la population Algérienne

	Superficie (km ²)	Population en milliers d'habitants		
		1987	1998	2008
Bande littoral	45 000	8 904	11 000	12 342
	1.9%	38.6%	37.8%	36.2%
Telle et steppe	255 000	12 145	15 300	18 010
	10.7%	52.7%	52.6%	52.9%
Sud	2 081 000	2 002	2 801	3 728
	87.4%	8.7%	9.6%	10.9%
Algérie	2 381 000	23 051	29 113	34 080

(ONS, 2013)

Nous pouvons aussi ajouter la mauvaise gestion des parcours, via les politiques environnementales appliquées dans les zones steppiques et leurs incompatibilités avec les besoins et pratiques des populations locales, ce qui a abouti à des échecs répétés de l'intervention étatique sur ce milieu, qui soulignent finalement l'absence d'une réelle politique environnementale en Algérie (Bensouiah, 2003).

- Naturelles : particulièrement la sécheresse ; en effet, des études basées sur des séries d'observation fournies par les services de l'Office National de la Météorologie (Djellouli et Nedjraoui, 1995 *in* Hirche et *al.*, 2007) ont montré que les steppes algériennes marquées par une grande variabilité interannuelle des précipitations, ont connu une diminution notable de la pluviosité annuelle ces dernières décennies (figure 5). Ce qui engendre un bioclimat contraignant avec une période annuelle sèche allant jusqu'à 9 mois dans le Sud-Oranais et une pluviométrie faible et irrégulière (Benabadji et Bouazza, 2000 ; Hirche et *al.*, 2010).

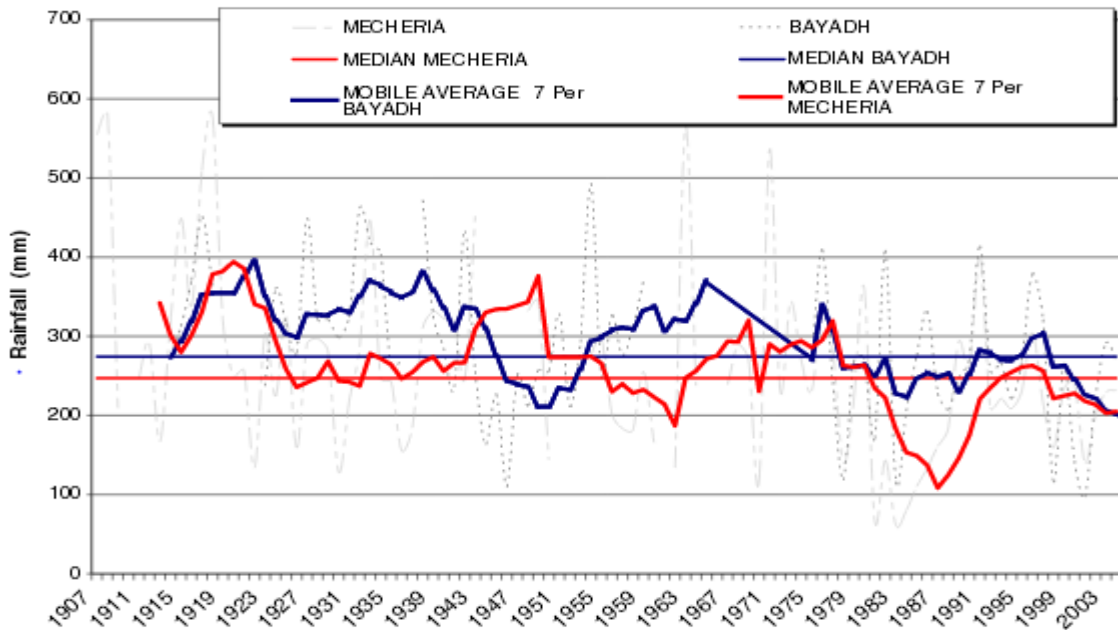


Figure 5 : Evolution de la pluviosité (1907-2003) dans une station du Sud Algérois (Djelfa) et du Sud oranais (Saida) (Hirche et al., 2010)

Fragilité des sols steppiques, caractérisés par une faible profondeur, une faible teneur en matière organique et une forte sensibilité à l'érosion et à la dégradation (Pouget, 1980 ; Achour-Kadi Hanifi et Loisel, 1997) ainsi ils deviennent vulnérables à l'érosion éolienne, très importante dans ces régions et à l'érosion hydrique qui désagrègent les sols peu épais, diminuent leur perméabilité et leur fertilité.

Fragilité du couvert végétal, en particulier les graminées vivaces (Frutos et al., 2015). D'où des conditions souvent défavorables à la germination et à l'installation de l'ensemble des espèces de cette formation végétale, noté principalement chez *Stipa tenacissima* propageant principalement par le mode végétatif avec un peu ou absence de reproduction sexuée (Cosson, 1879, Bourahla et Guittoneau, 1978). La dormance des semences de *Stipa tenacissima* contrôlée par la couverture, ceci leur empêche de germer durant la saison estivale non favorable, ainsi, leur capacité de germination diminue avec l'âge et l'origine géographique formant ainsi un réservoir provisoire de semences dans le sol (Gasque et García-Fayos, 2004 et Mehdadi et al., 2006). En plus de dysfonctionnement de la régénération végétative de l'alfa entravée par la formation continue du fatras en l'absence d'entretien des touffes d'alfa (Hellal et al., 2007).

2.4. Etat de connaissance sur l'espèce *Stipa tenacissima*

2.4.1. Nomenclature et position systématique

L'espèce *Stipa tenacissima* (Loefl. ex L.), le nom vulgaire est l'alfa un mot d'origine arabe (halfa), synonyme de *Macrochloa tenacissima* (Loefl. ex L.) Kunth. Elle appartient à la famille des Poacées, sous-famille des Pooideae, tribu des Stipeae (Trabut, 1889), composé de 400 à 600 espèces réparties en 21 genres. L'anomalie dans le nombre d'espèces de *Stipa* est due aux problèmes taxonomiques existant dans ce genre (Vázquez, 1997).

D'après des données morphologiques et anatomiques, elle est différente des autres Stipeae (Vázquez et Barkworth, 2004), mais considéré comme leur sœur selon des travaux basés sur des données moléculaires (Romaschenko et al., 2010 et Jacobs et al., 2007).

L'espèce *Stipa tenacissima* L. est classée dans la systématique suivante, d'après (Maire, 1953; Quezel et Santa, 1962) :

- Embranchement : Spermaphytes
- Sous-embranchement : Angiospermes
- Classe : Monocotylédones
- Ordre : Glumiliflorales
- Famille : Poaceae
- Sous famille : Pooideae (Agrostidées)
- Tribu : Stipeae (Stipées)
- Sous tribu : Stipinae
- Genre : *Stipa*
- Espèce : *Stipa tenacissima* L.

2.4.2. Origine et répartition

L'alfa est endémique de la région Ouest de méditerranée, appartenant à la sous-région écologico-floristique ibéro-maghrébine, qui fait partie intégrante de la région méditerranéo-steppique s'étendent de la moyenne vallée de l'Ebre jusqu'à celle de l'Indus (Le Houerou, 1990 in Ghennou, 2004). Elle se développe dans différents habitats en Algérie, Italie, Maroc, Portugal, Espagne, Baléares, Lybie et Tunisie (Djebaili, 1988; Le Houerou, 2001 et Vázquez et Barkworth, 2004).

En Algérie, les steppes dominées par l'alfa occupent de vastes espaces de la région steppique, elle est estimée à 2 millions d'hectares, selon une dernière estimation du Haut-Commissariat de Développement des Steppes (HCDS, 2001) (figure 6). Elle comprend une grande partie des Hautes-Plateaux steppiques et une partie de l'Atlas Tellien au Nord et une

partie de l'Atlas Saharien au Sud, limitées au Nord par l'isohyète 400 mm qui coïncide avec l'extension des cultures céréalières en sec et au Sud, par l'isohyète 100 mm qui représente la limite méridionale de l'extension de l'alfa (Le Houerou et *al.*, 1977; Djebaili, 1984).

2.4.3. Ecologie de l'espèce

Les formations à Alfa, notamment dans le Sud-ouest algérien, se divisent en "deux grands ensembles climatiques dans les bioclimats semi-aride et aride" (Achour, 1983).

L'alfa croit à différentes altitudes, vient au bord de la mer jusqu'à 1800m d'altitude en Algérie et à 2400m au Maroc, elle vient sur le littoral, dans le tell inférieur, les hauts plateaux (Trabut, 1889) mais elle délimite le désert, elle s'arrête où le désert commence (Gimenez, 1954 *in* Ghennou, 2014). Cette distribution dans différents habitats et conditions écologiques, montre sa grande plasticité, c'est une espèce rustique bien adaptée à l'aridité et la sécheresse, comme elle est résistante au froid.

2.4.3.1. Facteurs climatiques

L'Alfa (*Stipa tenacissima*) supporte une pluviosité variée, elle pousse entre les isohyètes 100 et 500 m (Le Houerou, 1969), mais s'installe de préférence dans les régions de pluviosité comprises entre 200 et 400 mm par an (Trabut, 1889; Boudy, 1952), elle peut vivre où cette tranche s'abaisse à 150mm (Boudy, 1952). Les steppes à alfa dominant se rencontrent dans les zones là où les précipitations annuelles varient entre 100 et 450 mm dans les bioclimats arides et semi-arides (Djebaili, 1984).

L'alfa résiste à $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, au-dessous de $1\text{ à }3\text{ }^{\circ}\text{C}$, la plante se met en état de vie latente, l'optimum de développement pour elle se situe entre $19\text{ à }25\text{ }^{\circ}\text{C}$ de température moyenne annuelle (Benstiti, 1974 *in* Arour, 2001).

Harche (1985) note que son activité photosynthétique optimale se déroule à des températures comprises entre $15\text{ et }25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vis-à-vis de la température l'alfa présente une grande résistance en supportant des très fortes et brèves chaleurs ($+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) d'été, mais Lacoste (1955) *in* Slimani (2012), a montré qu'une moyenne estivale supérieure à $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ durant 4 mois serait néfaste pour le développement de la plante. Dans ces conditions l'alfa rentre dans la phase de dormance estivale.

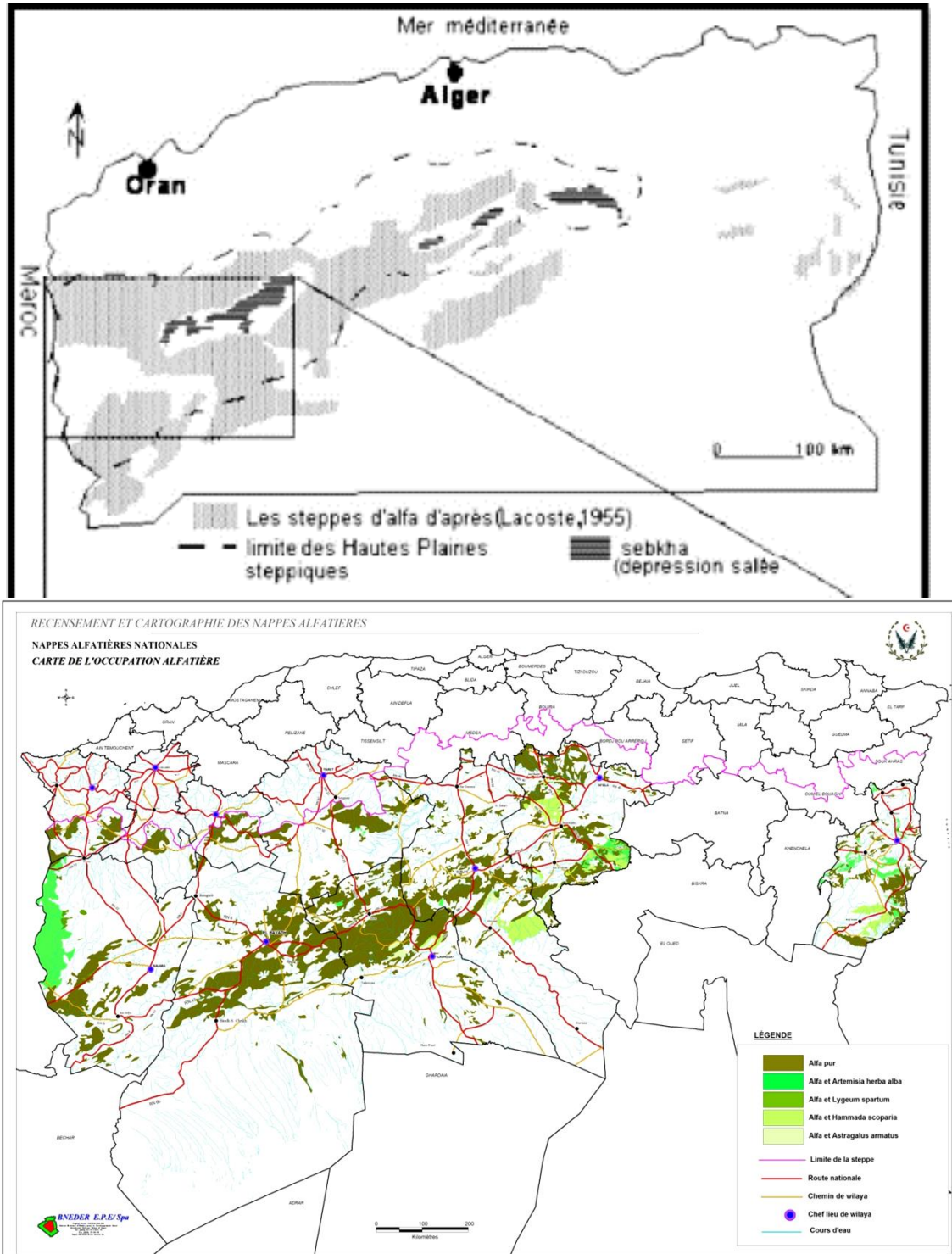


Figure 6 : Carte de répartition des steppes d'alfa en Algérie en 1950 (d'après Lacoste, 1955 in Slimani, 2012) et en 2000 (d'après HCDS, 2001)

2.4.3.2. Facteurs édaphiques

La gamme des sols recouverts par l'alfa est importante et ils présentent des caractères intermédiaires entre ceux des forêts, ceux des steppes arborées et des autres steppes (Killian, 1950 in Abdelkrim et Benstitti, 1988).

L'alfa ne montre pas d'exigences édaphiques, mais elle fuit les sols lourds ou argileux où l'argile dépasse 12 à 15% des éléments, si le drainage est mal assuré (Marion, 1956 in Harche, 1978), les dépressions inondées (Trabut, 1889; Abdelkrim, 1984), et les sols salés (Abdelkrim, 1984).

Elle se trouve dans les stations à sols généralement peu profonds (10-15cm) (Djebaili, 1978; Aidoud-Lounis, 1997). Selon Kaabèche (1990), elle se développe sur des sols squelettiques secs à texture limono-sableuse. Un sol léger forme de silice, peu d'argile recouverte de pierrailles calcaires sur un substrat sableux, de pH compris entre 7 à 8,5 convient la plupart au développement de la plante (Trabut, 1889).

Selon Pouget (1980) le groupement à *Stipa tenacissima* caractérise les sols régosoliques et régosols de la série du Miopliocène (argiles sableuses rouges) et les affleurements du Crétacé inférieur continental avec un taux de calcaire élevé (30 à 60 %).

L'alfa se développe le plus souvent sur des sols à substrat calcaire en Maghreb, ou marno-calcaire en Espagne, bien drainés en général. Trois types d'alfa sont distingués selon le site occupé: l'alfa de glaciais à très faible pente (< 2%) ; l'alfa ensablé dont la taille peut dépasser 1.50 m lorsque l'ensablement est limité à la touffe ; et l'alfa de montagne (Ozenda, 1982).

2.4.4. Biologie de l'espèce

2.4.4.1. Morphologie

Boudy (1948); Quezel et Santa, 1962 et Ozenda (1977) décrivent *Stipa tenacissima* comme suit :

- C'est une plante herbacée, vivace, très robuste qui se présente sous l'aspect d'une touffe dense à grande taille, atteignant ou dépassant 1m, à peu près circulaire, d'abord compactes puis évidées au centre, dont le diamètre varie fortement selon l'âge de la touffe et les conditions climatiques et édaphiques (figure 7).

- Elle est composée de deux parties; une souterraine très importante pour la régénération, formée d'un rhizome à entre-nœuds très courts, portant des racines adventives, s'enfonçant profondément dans le sol, le rhizome est très ramifié et ses rejets se terminent par les jeunes pousses ; et une aérienne est constituée de rameaux portant des gaines imbriquées les unes

dans les autres, surmontées de feuilles longues et coriaces, étroites et enroulées, junci-formes par temps sec, aiguës et piquantes, se laissant arracher. La face inférieure des limbes est unie et luisante, la face supérieure porte de fortes nervures. L'une et l'autre sont recouvertes d'une cire isolante qui permet à la plante de résister à la sécheresse. Les feuilles âgées meurent et encombrant la souche en formant un feutrage gris, d'où émergent les jeunes feuilles de l'année.

- Epillets indépendants, réunis en une inflorescence rameuse appelée panicule, lâche ou parfois plus contractée, notamment quand elle est jeune, très fournie, étroite, allongée, atteignant 35 cm. Glumes aussi longues que les glumelles avec une seule fleur fertile par épillet. Lemme membraneuse nettement bifide au sommet, pourvu d'un callus allongé et souvent velu, portant au sommet une arête de 6 cm, qui est coudée en son milieu, tordue en spirale à sa base et généralement poilue au-dessous du coude, glabre et arquée en fouet au-dessus.

- Le fruit est un caryopse avec des péricarpes adhérents, qui mesure 5 à 6 mm de longueur, linéaire, allongé avec un hile formant le sillon longitudinal. Sa partie supérieur est brune et porte souvent les stigmates desséchés (Bensettiti, 1974 *in* Arour, 2001).

2.4.4.2. Phénologie

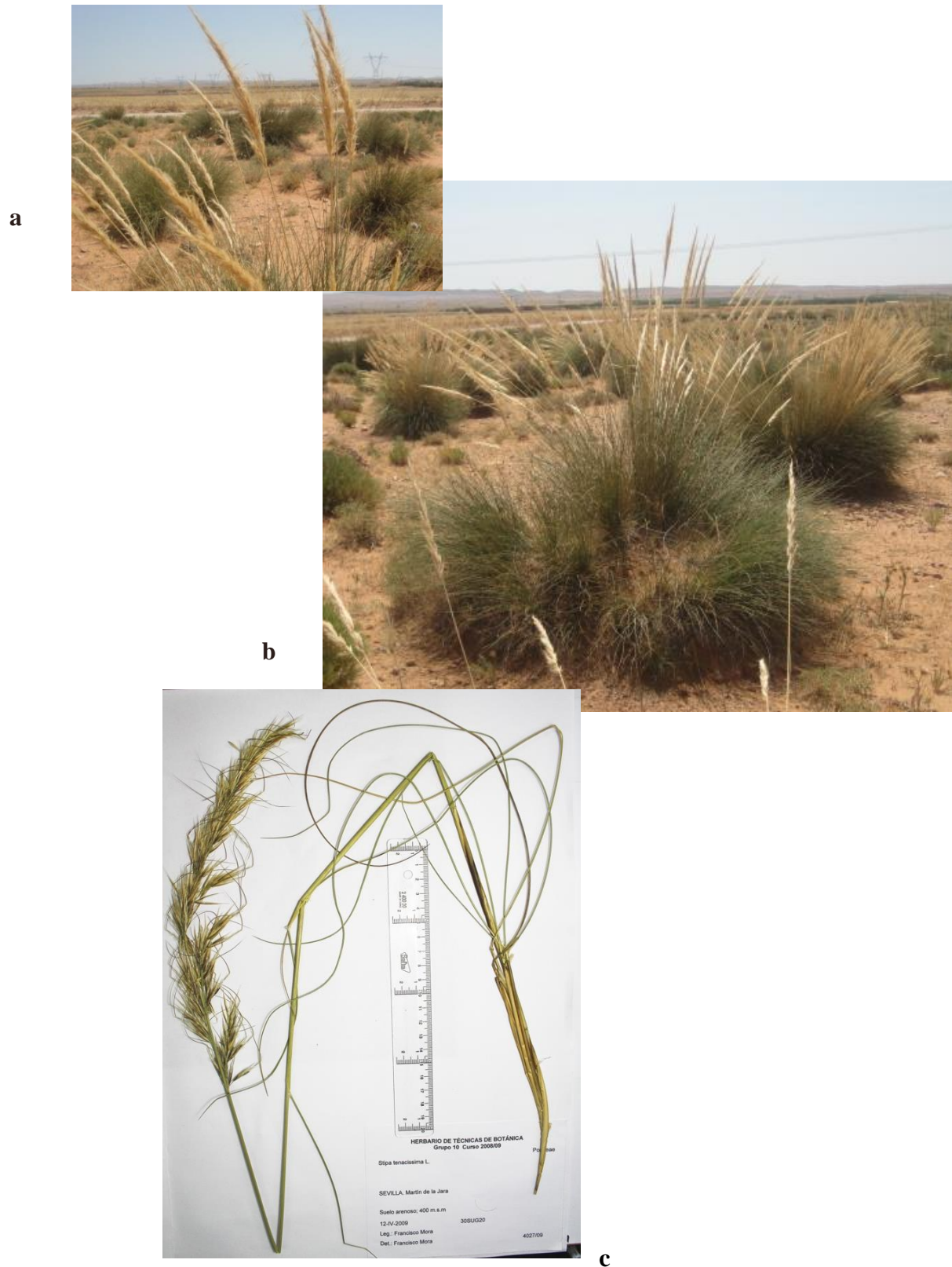
- L'espèce *Stipa tenacissima* présente deux périodes de vie ralentie : hivernale et estivale (Lacoste, 1955 *in* Slimani, 2012) : le repos hivernal dû au froid qui diminue l'assimilation dès que la température descend au-dessous de 3°C à 5°C qui dure généralement 3 à 4 mois, alors que le repos estivale est dû à la sécheresse qui débute généralement en juillet et se prolonge jusqu'aux premières pluies d'automne.

- La période de floraison s'étend chaque année de février à juin suivant les localités et les conditions climatiques, elle est conditionnée surtout par la quantité de pluies (Djebaili, 1978). En générale, une jeune touffe d'alfa ne fleurit pas abondamment, alors que les touffes plus âgées et mal venantes fleurissent abondamment. La Floraison a lieu entre mi-mars et mai.

- Elle peut se reproduire selon trois façons différentes, par semis, par bourgeons dormants, ou par extension et fragmentation des souches. Mais elle se propage principalement par le mode végétatif avec une quasi-absence de reproduction sexuée (Cosson, 1879 ; Bourahla et Guittoneau, 1978). La croissance végétative se fait par circination dans laquelle la touffe se vide au centre. La couronne formée (1à 2m de diamètre) éclate et les "fragments" qui en résultent évoluent vers de nouvelles touffes.

- Les fruits mûrissent (caryopses) durant la seconde quinzaine du mois de juin.

- Durant l'automne, l'alfa rentre en végétation plus active et les jeunes feuilles se développent.



**Figure 7 : L'espèce *Stipa tenacissima*, a : panicules, b : touffe (cliché personnel, 2013)
c :herbier (Vázquez Borrego et al., 2008)**

2.4.5. Importance et usages

L'alfa et les steppes où elle domine ont une grande importance écologique et socioéconomique :

- Ils hébergent une diversité floristique et faunistique importante (Le Houerou, 1995; Khelil, 1995; Benchrik et Lakhdari, 2002 et Kadi-Hanifi, 1998).

- Ils jouent un rôle primordiale dans la lutte contre la désertification et la protection du sol (Trabut, 1889; Le Houerou, 1969; Cerdà, 1997 et Jeddi et Chaieb, 2014), grâce au système racinaire très développés de l'alfa qui permet un ancrage solide du végétal et une meilleure fixation du sol, et sa capacité de rétention d'eau favorisée par la présence en grande quantité de litière sur pied constituant la nécromasse (Domingo *et al.*, 1998 *in* Slimani, 2012).

- L'effet facilitateur de *S. tenacissima* sur plusieurs espèces par l'amélioration microclimatique et l'ampleur de cet effet augmente avec la dureté des conditions environnementales (Maestre *et al.*, 2003; Alados *et al.*, 2006) . Comme elle peut équilibrer les effets négatifs de la compétition souterraine (Maestre *et al.*, 2003 ; Saiz *et al.*, 2011).

- L'espèce fournit la matière première pour l'industrie papetière et plusieurs d'autres produits (Harche, 1978; Akchiche et Messaoud, 2007; Dallel, 2012), leurs feuilles présentent une quantité importante d'éléments fibreux riche en cellulose qui après blanchiment sera excellente pour l'industrie papetière (Mehdadi *et al.*, 2008; Belkhir *et al.*, 2013).

- Elle occupe un rôle important dans le bilan des ressources fourragères notamment en période de disette, malgré elle présente une faible valeur fourragère de 0,3- 0,5 UF/Kg MS, cependant, les inflorescences sont très appréciées et recherchées par le bétail (0,7UF/Kg MS) (Harche, 1978). La productivité pastorale moyenne de ce type de steppe varie de 60 à 150 UF/ha selon le recouvrement et le cortège floristique (Aidoud et Nedjraoui, 1992). Comme elle améliore la qualité pastorale des parcours, en créant un abri pour les plants annuels dont les graines peuvent germer à son ombre (Bourahla et Guittoneau, 1978).

- L'alfa pourrait servir à la fabrication des composés utilisés dans les industries alimentaires et pharmaceutiques telles que de xylose, l'équivalent du saccharose (Tadjeddine, 1986 *in* Boussaid, 2013). Par ailleurs, la feuille d'alfa contient des lipides totaux et des acides gras insaturés, notamment l'acide oléique et l'acide linoléique, pouvant être valorisés dans le domaine diététique (Mehdadi *et al.*, 2006).



Sous - couvert (Senelba-Djelfa)



(Dourat Lahdeb-Djelfa)



(Sidi Ameer-Msila)



(Taadmit-Djelfa)



(Deldoul-Djelfa)



(Sidi Bouzid-Laghouat)

Figure 8 : Steppe à *Stipa tenacissima* sous différentes conditions climatiques et édaphiques (Cliché personnel, 2013, 2014)

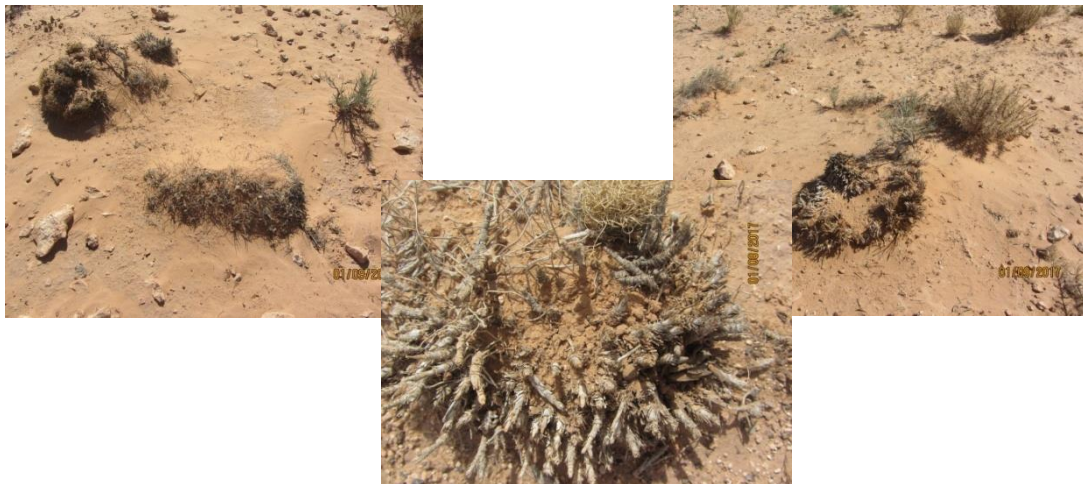


Figure 09 : Traces des touffes de *Stipa tenacissima* (Messaad-Djelfa) (Cliché personnel, 2017)



(Amoura-Djelfa)



(Birine-Djelfa)



(Ain El Maleh-Msila)



(Ain Ouserhar-Djelfa)

Figures 10 : Steppes à *Stipa tenacissima* dégradés (Cliché personnel, 2017)

**Partie 2 : Etude de l'évolution de la biodiversité des
communautés végétales des steppes de *Stipa*
*tenacissima***

Chapitre 1 : matériel et méthodes

L'évolution des communautés végétales des steppes à dominance d'alfa (*Stipa tenacissima*) situées dans la région sud-Algérois, est évaluée dans cette partie de travail, via une étude diachronique basée sur deux échantillonnages floristiques réalisés à une cinquantaine d'années d'intervalle.

1. Matériel et Méthodes

1.1. Présentation du milieu d'étude

Pour arriver à notre objectif via la présente étude diachronique, nous avons eu recours aux données de végétation (relevés) de Celles (1975) récoltées entre 1960 et 1969 dans des steppes à dominance d'alfa dans la région sud-Algérois. Ces relevés ont été repérés géographiquement avec suffisamment de précision pour permettre de les relocaliser. Nous avons pu ré-échantillonner 14 stations en 2017 qui restaient accessibles et ayant conservé leur caractère steppique. La distribution géographique des relevés dans la steppe Algérienne est montrée dans la figure 11.

Les positions géo-référencées, les caractéristiques topographiques et climatiques des stations sont données dans le tableau 6.

La source des données climatiques c'est l'office national météorologique (ONM), sont des moyennes de 30 ans. Des extrapolations faites pour quelques-unes par rapports aux stations météorologiques régionales les plus proches. Une élévation d'altitude de 100m se traduira par un abaissement de 0.7°C de la température maximale, de 0.4°C de la température minimale et de 0.55°C de la température moyenne (Seltzer, 1946), alors que le gradient pluviométrique - altitudinale est estimé par une augmentation de 20mm avec une élévation de 100 m pour l'Atlas tellien dans l'Oranie, les Hautes plaines, l'Atlas saharien et le Sahara (Seltzer, 1946 et Djebaili, 1984).

Nous appellerons « 1960 » les relevés réalisés durant les années 1960 dont les numéros seront précédés de la lettre A. Les numéros des relevés de « 2017 » seront précédés de la lettre B.

1.2. Méthodes d'échantillonnage

Notre objectif est d'évaluer les changements de composition floristique et de couvert végétal, ce travail consiste ainsi principalement à réaliser des relevés floristiques dans les communautés végétales des steppes d'alfa localisées précédemment.

Pour cela nous avons respecté les conditions exigées pour la réalisation d'un relevé citées par Gounot (1969) : surface adéquate, pour contenir un échantillon d'espèces représentatives de la communauté sans que le relevé ne déborde sur deux habitats différents.



Figure 11 : distribution géographique des relevés dans la steppe Algérienne

Cette uniformité de l'habitat est relativement respectée par l'exigence de l'homogénéité de la végétation, en n'incluant qu'un stade successional ou qu'une phase dynamique. Cependant d'après Le Floch (2008), la répartition des éléments de la végétation et du sol est le plus souvent très irrégulière en zones arides et semi-arides, ce qui rend cette notion d'homogénéité délicate à aborder.

Pour être pleinement rentables, les observations doivent être faites au moment de l'optimum floristique, c'est-à-dire quand la végétation est en plein développement et la plus facile à observer (Daget et Poissonnet, 2010), dans notre cas, l'échantillonnage a été réalisé durant le printemps.

Tableau 6 : Localisation et caractéristiques des stations sources des relevés

Wilaya	Station	Relevé	longitude	latitude	Altitude (m)	Précipitations (mm)	Indice d'aridité
Djelfa	Messaad sud 1	199	3,56	34,12	795,00	243,20	24,29
Djelfa	Messaad sud 2	200	3,57	34,09	765,00	237,20	23,80
Djelfa	Ain Elbel	259	3,25	34,29	1008,00	285,80	28,03
Djelfa	Messaad nord 1	263	3,61	34,24	834,00	251,00	24,94
Djelfa	Messaad nord 2	264	3,60	34,31	947,00	273,60	26,91
Djelfa	Messaad nord 3	266	3,72	34,45	1150,00	314,20	30,85
Djelfa	Messad sud 3	489	3,29	34,01	760,00	236,20	23,72
Djelfa	Ain Ouessara	499	3,04	35,50	690,00	283,00	26,08
Msila	Ain Elmaleh	531	4,15	34,89	1009,00	320,50	29,22
Djelfa	Amoura	542	3,88	34,33	832,00	250,60	24,90
Biskra	Ain Zaatout	603	5,85	35,22	1227,00	387,80	36,14
Djelfa	Birine 1	628	3,24	35,58	736,00	231,40	23,34
Djelfa	Birine 2	629	3,29	35,51	719,00	228,00	23,08
Msila	Sidi Ameer	634	3,83	35,35	838,00	286,30	26,25

1.2.1. Recensement de la flore

Pour le recensement de la flore qui désigne l'énumération de tous les taxons qui entrent dans la constitution du tapis végétal (Daget et Poissonnet, 1971), nous avons eu recours à la méthode de l'aire minimale en plus de la lecture linéaire. Le procédé d'étude est très voisin de celui proposé par Braun-Blanquet pour la réalisation des inventaires phytosociologiques (Daget et Poissonnet, 1971 ; Le Floch, 2008). Il consiste à dresser la liste des espèces dans une surface élémentaire réduite, puis à rechercher les espèces nouvelles dans des surfaces

croissantes dont l'aire double de l'une à l'autre, elle est voisine généralement à 100 m² dans la steppe (Djebaili, 1978). Ce procédé permet d'obtenir plus facilement la liste floristique complète. La nomenclature taxonomique exploitée est celle de la flore de Quezel et Santa (1962).

1.2.2. Recouvrement global de la végétation et contribution de *Stipa tenacissima*

Nous avons appliqué le relevé linéaire pour évaluer le recouvrement végétal total et la contribution de *Stipa tenacissima* dans le tapis végétal. Cette méthode a été mise au point par Daget et Poissonnet (1971), une technique bien adaptée aux écosystèmes steppiques selon Aidoud (1983) ; Aidoud-Lounis (1984) et Nedjraoui (1990). Comme elle conviendrait bien à l'étude de l'évolution de la couverture végétale, lorsqu'il s'agit d'une ligne permanente (Gounot, 1969 et Aidoud, 1983). Elle consiste à placer entre deux piquets un ruban gradué de 10 à 20 m tendu au-dessus de la végétation, les lectures s'effectuent à l'aide d'une aiguille métallique tous les 10 ou 20 cm le long de la ligne (Gounot, 1969 et Le Floch, 2008).

Le recouvrement est défini comme étant le pourcentage de la surface du sol qui serait recouverte si on projetait verticalement sur le sol les organes aériens des individus de l'espèce (Gounot, 1969). La fréquence globale (souvent donnée comme étant le recouvrement global R de la végétation) exprime cette donnée en pourcentage du nombre total de points lus (Le Floch, 2008).

La Fréquence centésimale d'une espèce (FSCi) c'est le rapport exprimé en pourcents du nombre de présence de cette espèce au nombre total de points observés, elle est assimilée à un recouvrement de l'espèce (Daget et Poissonnet, 1971). Alors que la contribution spécifique (CSi) est égale au quotient de la fréquence spécifique centésimale de ce taxon (FSCi) par la somme des fréquences spécifiques de tous les taxons rencontrés dans le relevé, elle définit sa participation au tapis végétal (Daget et Poissonnet, 1971).

L'évaluation du recouvrement des taxons, mais aussi de la végétation, donne accès à une appréciation de l'état de la végétation, de son évolution (reconstitution, stabilité ou dégradation) (Le Floch, 2008). C'est un paramètre quantitatif efficace dans l'évaluation et le suivi de la désertification (Le Houerou, 1985).

1.3. Méthodes de traitement statistique

Nous avons utilisé l'analyse statistique multivariée par ordination via l'analyse de correspondance "détendancée" (DCA) (*Detrended Correspondence Analysis*) (Hill et Gauch, 1980 in Ozinga et al., 2005). Cette analyse vise les mêmes objectifs que l'AFC (analyse factoriel des correspondances) et s'utilise sur certaines matrices de données à faible variabilité telles les matrices binaires (Glèlè Kakai et al., 2016). La DCA est une AFC modifiée avec

deux corrections qui éliminent l'effet "arc" et l'effet de bordure pour lesquels l'AFC engendre une distorsion. Elle construit, comme l'AFC, l'axe 1 qui explique le mieux la variance de la composition des relevés mais la DCA construit des axes secondaires de manière à ce qu'ils soient les moins corrélés avec les axes précédents (Ozinga et al., 2005).

Pour une classification hiérarchique ascendante des relevés (CHA), les similarités ou distances ont été mesurées par l'Indice de Jaccard (Chessel, 2008), fréquemment utilisée dans les études de biologie des populations au sein d'une même espèce (Carvalho et al., 2009). Le dendrogramme des distances est obtenu par la méthode UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages*, méthode non pondérée-groupe de paires en utilisant une moyenne arithmétique, Sokal et Michener, 1958). Cette méthode, la plus couramment exploitée, est plus robuste que les méthodes à liaison unique (Mohammadi et Prasanna, 2003). Elle permet de construire un dendrogramme des similitudes (ou arbre phénétique) à partir d'une matrice des distances entre individus et de les regrouper hiérarchiquement sur la base de la moyenne arithmétique des distances non pondérées entre les groupes. Le dendrogramme ainsi obtenu permet une visualisation facile et rapide de la hiérarchie et des degrés de similitude entre les relevés analysés.

Les deux analyses DCA et CHA ont été réalisés à l'aide du package *Vegan* sous R version 3.2.3. (Oksanen, 2015).

Une méthode d'interprétation est également utilisée en intégrant les variables environnementales citées dans le tableau 6, et les données de richesse floristique, de couvert végétal et de contribution de *Stipa tenacissima* (cf. annexe 2) sur l'ordination. Les vecteurs (variables) sont représentés par des flèches ; la direction de la flèche indique la direction des changements les plus rapides dans la variable environnementale et la longueur est proportionnelle à la corrélation entre ordination et la variable, cette opération est réalisée par la fonction *envfit* du package *Vegan* sous R version 3.2.3 (Oksanen, 2015).

Chapitre 2 : résultats

2. Résultats

2.1. Bilan des occurrences des espèces en 1960 et 2017

Au total, 229 espèces ou taxons différents ont été relevés durant les deux périodes d'échantillonnage pour 14 stations. 178 espèces n'ont été recensées qu'une seule fois, les deux périodes confondues.

Il faut noter que le bilan des espèces communes, non retrouvées et apparues dans la présente étude ne peut pas être le plus exhaustif possible, parce que la liste des espèces d'une station n'est jamais connue d'une manière parfaite pour plusieurs raisons. Dajet et Poissonnet (2010) ont cité : la notion d'espèce reste parfois imprécise ; le relevé est fait à un moment particulier de l'année et privilégie la phénophase correspondante ; les espèces sont souvent cachées ; la surface du relevé est très inférieure à celle de la station ; les connaissances de l'observateur sont imparfaites et les espèces peuvent être dans un état qui les rend indéterminables.

Le tableau de présence des espèces aux deux périodes 1960 et 2017 (cf. annexe 1), montre trois groupes d'espèces (tableau 7) :

- Le premier concerne les espèces communes aux deux périodes d'échantillonnage 1960 et 2017. Elles présentent 26,64% du total.
- Le deuxième groupe est celui des espèces inventoriées en 1960 et non retrouvées en 2017, elles représentent 66,36% du total.
- Le troisième groupe comporte 16 espèces, soit 07% du total, nouvellement apparues dans les relevés de 2017.

Tableau 7 : Répartition des présences d'espèces dans les listes floristiques échantillonnées en 1960 et en 2017

	cooccurrences	occurrences 1960	occurrences 2017	Total
Nombre	61	152	16	229
%	26,64	66,36	07	100

2.2. Le groupe d'espèces apparues dans les relevés de 2017

Le groupe d'espèces végétales apparues dans la liste floristique des relevés de 2017 présente le taux le plus faible avec 07% des espèces inventoriées dans les deux périodes.

Avec 16 espèces, mentionnées dans le tableau 8, ce groupe présente un type biologique dominant est ce des thérophytes avec 10 espèces.

A l'exception d'*Atriplex canescens*, chaméphyte, introduite d'Amérique du Nord dans les plantations pastorales (station 629) par le HCDS pour l'amélioration des steppes. La majorité des espèces sont indicatrices de pâturage, certaines espèces sont qualifiées de post-culturelles, comme *Hordeum murinum* et *Euphorbia terracina* (Quezel et Santa, 1963).

Tableau 8 : Liste des espèces végétales apparues dans les relevés de 2017

Espèce	Type biologique (Quezel et Santa, 1963)	Répartition et écologie (Quezel et Santa, 1963)
<i>Atriplex canescens</i>	Chaméphyte	Cultivé (Originaire d'Amérique de Nord)
<i>Allium roseum</i>	Géophyte	Pâturage-forêt
<i>Atractylis carduus</i>	Hémicryptophyte	Pâturages rocailleux et sablonneux
<i>Diploaxis virgata</i>	Thérophyte	Dans toute l'Algérie
<i>Echinosperrum spinocarpos</i>	Thérophyte	Haut plateaux et Atlas Saharien
<i>Euphorbia granulata</i>	Thérophyte	Rocaille-pâturage désert-lit d'oueds
<i>Euphorbia terracina</i>	Thérophyte	Sables et cultures
<i>Ferula communis</i>	Hémicryptophyte	Dans toute l'Algérie sauf l'extrême sud
<i>Hedypnois cretica</i>	Thérophyte	Dans toute l'Algérie
<i>Hordeum murinum</i>	Thérophyte	Pâturage -cultures
<i>Launaea glomerata</i>	Thérophyte	Pâturage désertiques –Oueds
<i>Lolium multiflorum</i>	Thérophyte	Broussailles, pâturage, forêt
<i>Odontospermum pygmaeum</i>	Thérophyte	Terrain argileux, steppe, rocaille
<i>Onopordon arenarium</i>	Hémicryptophyte	Pâturages sablonneux
<i>Ranunculus gramineus</i>	Hémicryptophyte	Steppes –rocaille
<i>Sisymbrium thalianum</i>	Thérophyte	Forêt-maquis

2.3. Le groupe d'espèces non apparues dans les relevés de 2017

Le groupe d'espèces non apparues dans la liste floristique des relevés de 2017 et échantillonnées dans les relevés de 1960 (cf. annexe 1), présente le taux le plus élevé, avec 66, 36% de total des espèces inventoriées dans les deux périodes (tableau 7). Diversifié systématiquement et biologiquement, ce groupe contient 152 espèces appartenant à 22 familles, avec une majorité des Poaceae et des Asteraceae.

Plusieurs de ces espèces, leur présence est liée à celle de l'alfa telles que *Sedum sediforme*, *Dactylis glomerata*, *Centaurea incana* (Aidoud, 1989b). D'autres caractérisent le groupement à alfa Kaabèche (2000), tel que : *Cutandia divaricata*, *Brachypodium distachyum*, *Hedysarum spinosissimum*, *Medicago laciniata*, *Ononis serrata*. Notons aussi l'absence des autres espèces de genre *Stipa*, à l'exception de *Stipa parviflora*, tel que *Stipa barbata* et *Stipa gigantea*.

D'autres espèces relevant de familles diverses constituent également la richesse des parcours steppiques Kaabèche (2000) : *Arnebia decumbens*, *Asteriscus pygmeus*, *Atractylis cancellata*, *Daucus sahariensis*, *Evax pygmea*, *Herniaria fontanesii*, *Lonchophora capiomontiana*, *Muricaria prostrata*, *Scabiosa arenaria*.

2.4. Analyse de variation de richesse floristique, de contribution de *Stipa tenacissima* et de couvert végétal

La comparaison des relevés de 1960 et de 2017 (tableau 9), montre que globalement la richesse floristique a diminué de façon hautement significative. Bien que la contribution de *Stipa tenacissima* et le recouvrement de la végétation aient diminué, ces diminutions demeurent non-significatives.

Tableau 9 : Richesse floristique, contribution de *S. tenacissima* et couvert végétal des relevés de 1960 et de 2017

Richesse floristique		Contribution de <i>S. tenacissima</i> (en %)		Couvert végétal (%)	
1960	2017	1960	2017	1960	2017
33 ± 12	19 ± 06	37 ± 12	25 ± 12	56 ± 14	49 ± 07
p<0.001		p=0.080		p=0.187	

L'intervalle de confiance est donné au seuil de sécurité de 0.05 et la valeur de p est celle du test Student pour la comparaison de moyennes.

Tous les relevés ont marqué une diminution de richesse floristique, sauf le relevé 266 qui s'est enrichi de 11 espèces (figure 12).

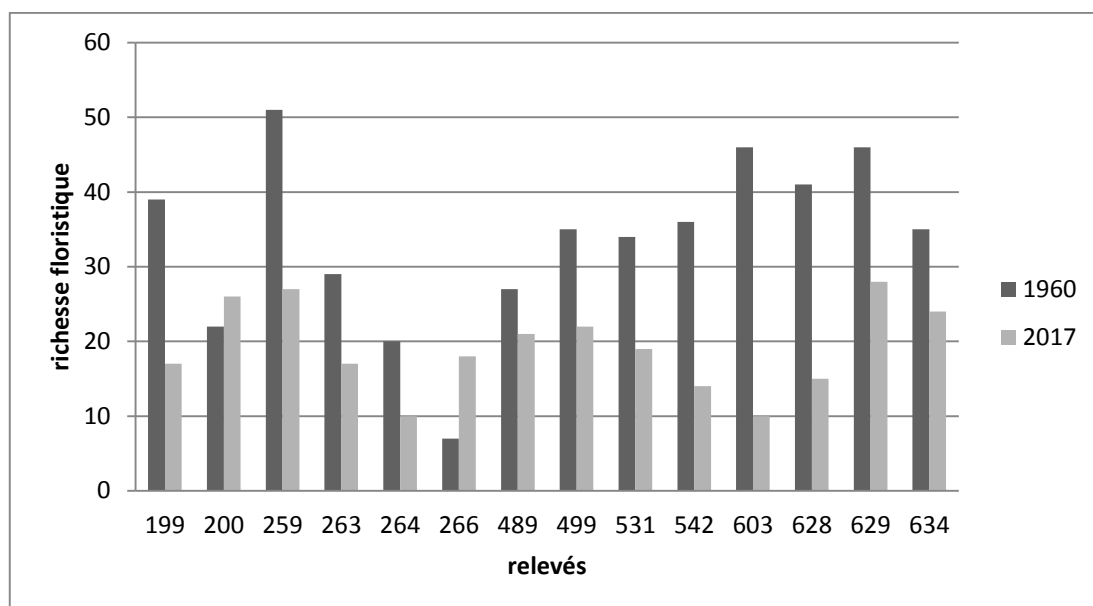


Figure 12 : Valeurs de richesse floristique dans les relevés de 1960 et de 2017

Concernant la contribution de *Stipa tenacissima* au tapis végétal, il est enregistré une disparition de l'alfa dans les relevés 199, 489 et 499, une augmentation de sa contribution dans les relevés 628 et 629 et une diminution dans le reste des relevés (figure 13).

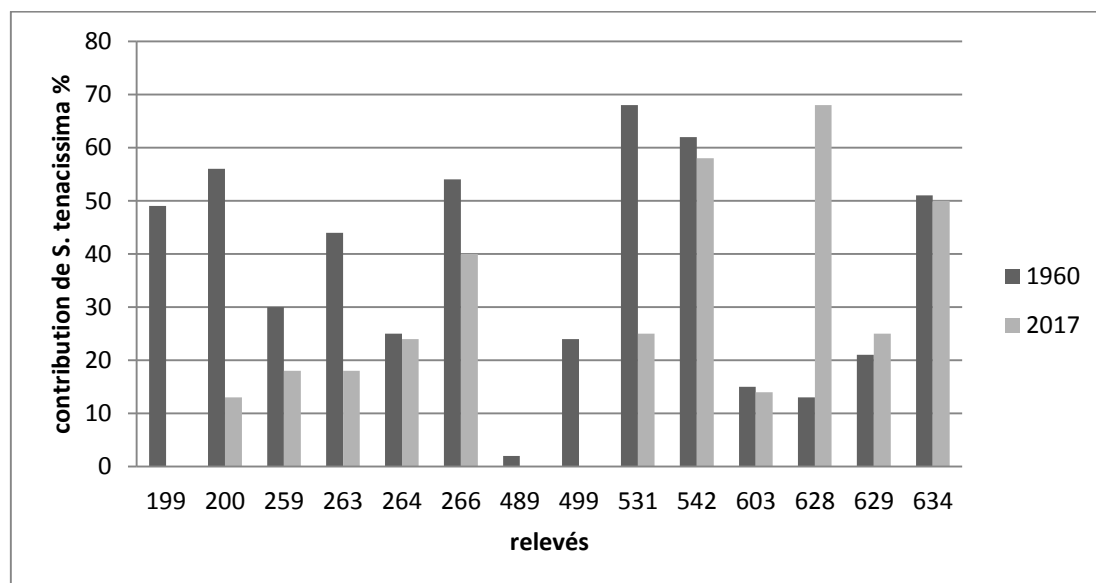


Figure 13 : Valeurs de contribution de *S. tenacissima* dans les relevés de 1960 et de 2017

Les valeurs de couvert végétal ont augmenté dans les relevés 199, 200, 259, 264 et 266, elles sont conservées dans les relevés 263 et 634 et diminuées dans le reste des relevés (figure 14).

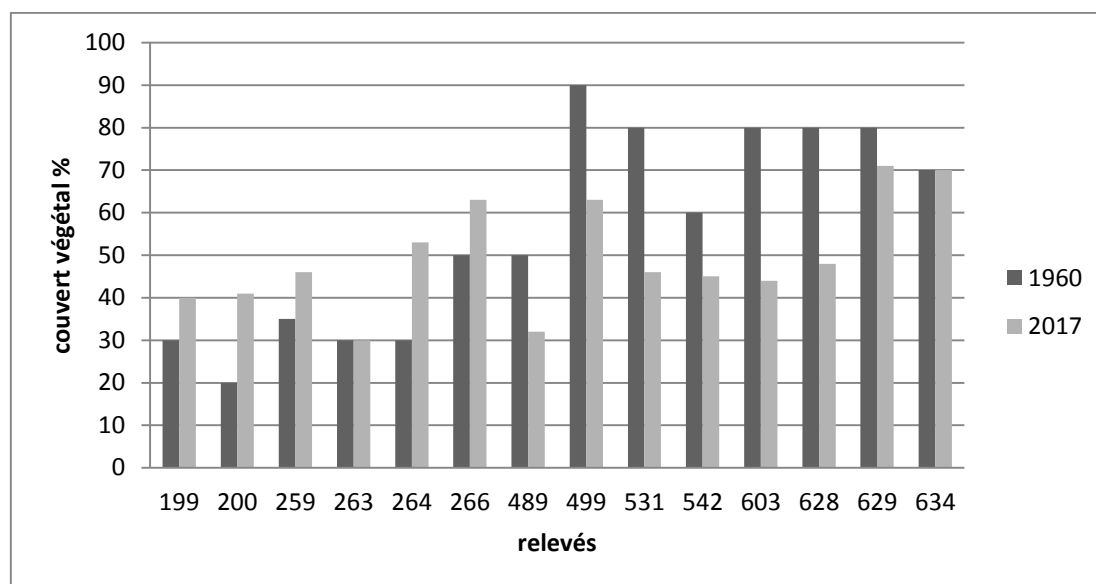


Figure 14 : Valeurs de couvert végétal dans les relevés de 1960 et de 2017

2.5. Résultats de l'analyse des données par classification et par ordination

Les communautés végétales de 14 stations échantillonnées entre 1960 et 1969 principalement dans les steppes d'alfa et re-échantillonnées en 2017, soit un total de 28 relevés avec 229 espèces, ont été analysées par une classification hiérarchique et par une DCA.

2.5.1. Classification des relevés.

La classification basée sur la distance de Jaccard a donné un dendrogramme (figure 15) qui montre globalement, à quelques exceptions près, deux classes. Les relevés de 2017 sont intégralement regroupés en une seule classe et les relevés 1960 dans une autre. Il est remarquable également que la classe des relevés de 1960 est divisée à un niveau élevé en deux sous-classes, une comporte les stations situées dans le nord de la région de Djelfa et l'autre comporte les stations situées dans le sud.

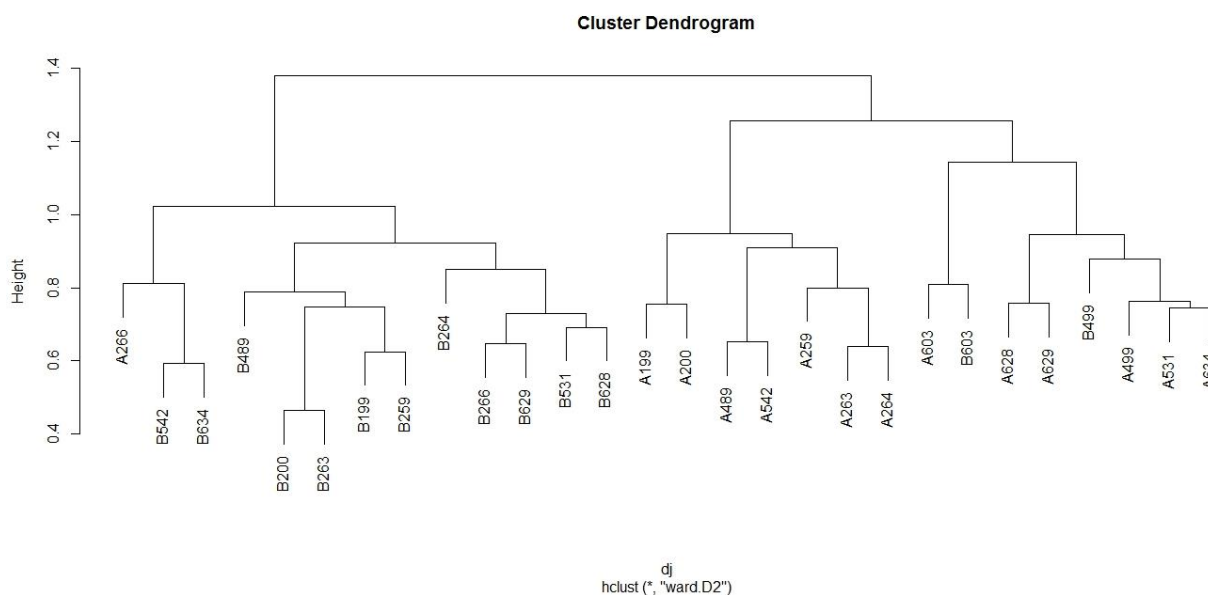


Figure 15 : Dendrogramme obtenu par la classification des relevés

2.5.2. Ordination des relevés par DCA

La projection des relevés est présentée (figure 16) dans le plan des axes 1 et 2 dont les valeurs propres sont respectivement de 0,54 et de 0,31. Les groupes obtenus par classification y sont confirmés et délimités. Les relevés A603, A628, A629, A634, A531, A499 et B603 échantillonnée en 2017 du côté positif de l'axe 1, sont situés dans le Nord-Est de la région de Djelfa (groupe A). Presque toutes les stations échantillonnées en 2017 (groupe B) en plus des relevés A542, A489, A263, A264, A266, A200, A259 et A199 sont distribués sur le côté négatif de l'axe 1. Ces stations sont situées dans le Sud de la région de Djelfa (groupe C).

Le groupe C comporte les relevés réalisés dans le Sud-Est de la région de Djelfa, A542, A489, A263, A264 et A266, situés du côté positif de l'axe 2, et A200, A259 et A199 du côté négatif de cet axe.

Une remarque fondamentale est que les points représentant les relevés 1960 sont plus dispersés que ceux de 2017 aussi bien sur l'axe 1 que sur l'axe 2. En position centrale de la figure 5, se situe le groupe B contenant pratiquement tous les relevés échantillonnés en 2017 et quelques relevés du groupe A. Ce groupe comporte les relevés A603, A628, A629, A634, A531 et A499 représentant les stations échantillonnées en 1960 et situées au Nord de la région de Djelfa. Leurs équivalents de 1960, le B603 mis à part, sont situés du côté négatif de l'axe 1.

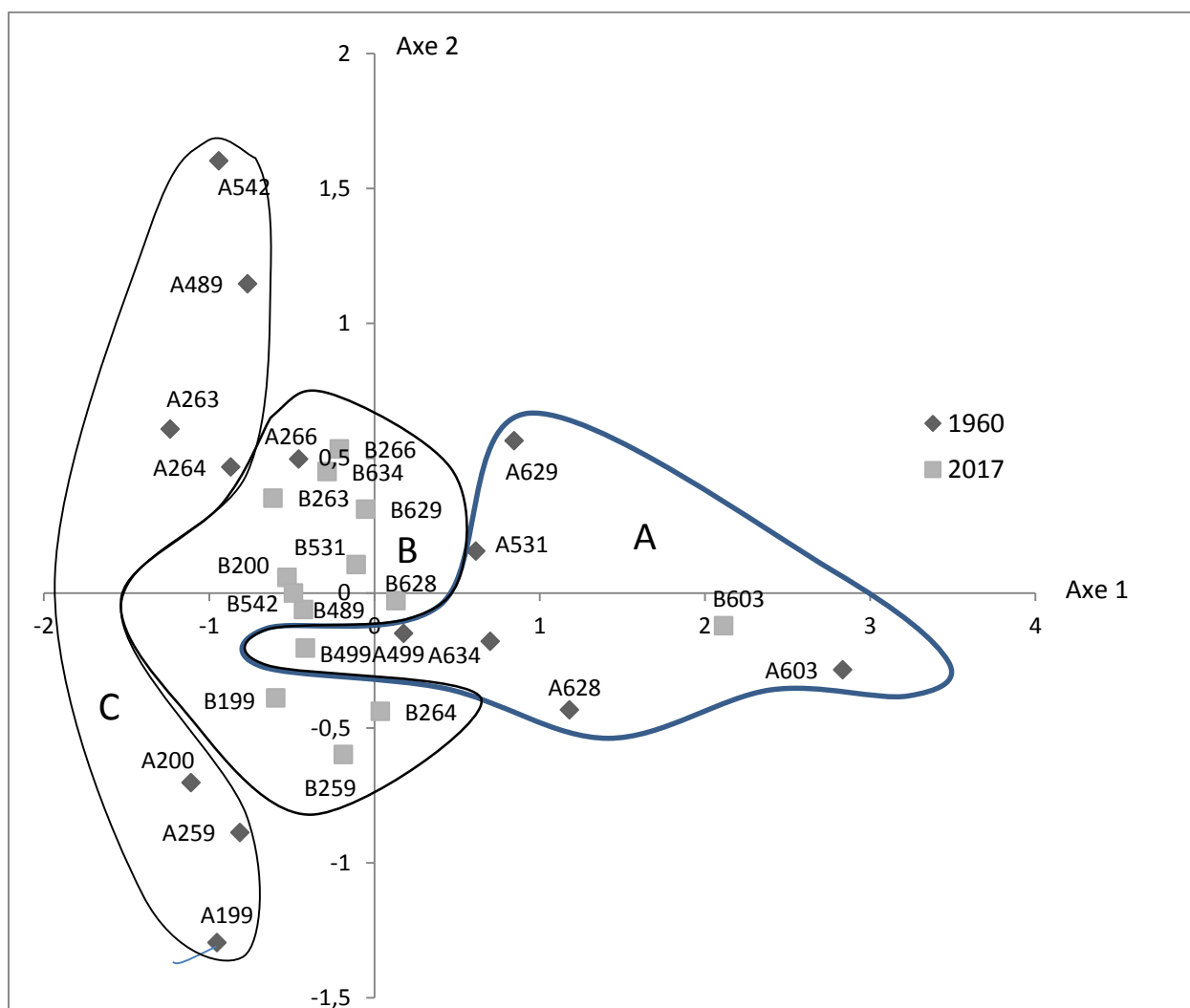


Figure 16 : Projection des relevés sur le plan des axes 1 et 2 de la DCA

Ces "déplacements" s'observent également le long de l'axe 2. Les stations 542, 489, 263, 264 et 266 échantillonnées dans le Sud-Est de la région de Djelfa ont transité du côté positif de l'axe 2 vers le côté négatif de cet axe. Cependant, un déplacement concerne, en sens opposé du côté négatif vers le côté positif de l'axe 2, concerne les stations 200, 259 et 199.

Les variables environnementales (tableau 6, annexe 2) ont été introduites dans l'ordination afin de chercher d'éventuelles influences de ces variables sur la distribution des relevés dans l'analyse (figure 17).

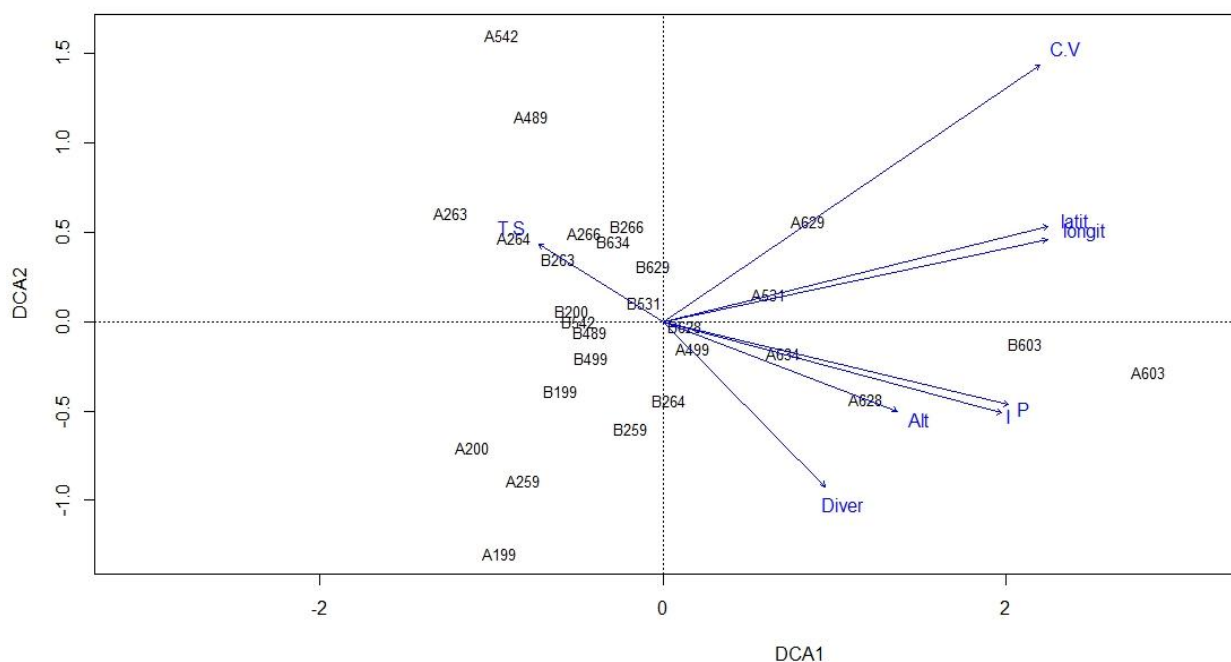


Figure 17 : Projection des variables environnementales et des relevés sur le plan des axes 1 et 2 de la DCA.

latitu : latitude, longit : longitude, P : précipitations, I : indice d'aridité, Alt : altitude, C.V. : couvert végétal, T.S : contribution % de *Stipa tenacissima*

Les variables longitude et latitude, ainsi que les variables climatiques : précipitations et indice d'aridité sont corrélées significativement et positivement avec l'axe 1 (tableau 10), ce qui correspond semble-t-il, à la position géographiques au nord de la région de Djelfa des relevés et situés de ce côté de l'axe1. Seule la variable couvert végétal est corrélée significativement et positivement avec l'axe 2 (tableau 10).

Tableau 10 : Corrélations des variables introduites dans l'analyse DCA

	DCA1	DCA2	r ²	Pr (>r)
Longitude	0.97981	0.19995	0.4452	0.009 **
Latitude	0.97292	0.23116	0.4524	0.004 **
Altitude	0.93925	-0.34322	0.1802	0.169
Précipitations	0.97424	-0.22549	0.3629	0.021 *
Indice d'aridité	0.96807	-0.25069	0.3532	0.026 *
Richesse floristique	0.71670	-0.69738	0.1484	0.256
Contribution de <i>S. tenacissima</i>	-0.85693	0.51543	0.0608	0.583
Couvert végétal	0.83776	0.54604	0.5856	0.001 ***
Signif. des codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1 Nomb. des permutations : 999				

2.5.3. Ordination des espèces

L'ordination des espèces présentée dans la figure 18, montre du côté positif de l'axe 1, un groupe d'espèces qui caractérise en particulier le relevé A603 échantillonné par Celles et B603 échantillonné en 2017. Ces espèces sont celles des matorrals telles que *Juniperus oxycedrus* et *Thymus algeriensis*. Ensuite, le long de cet axe, se retrouve un groupe d'espèces avec *Stipa tenacissima*, *Reseda alba*, *Micropus bombicinus*, *Helianthemum hirtum*, *Helianthemum papillaire*, *Scabiosa stellata*, *Avena alba*. Dans la partie négative de l'axe 1, apparaissent des espèces telles que *Artemisia herba alba*, *Lygium spartum* et *Noaea mucronata* avec *Atractylis serratuloides* et *Hordieum murinum*.

Dans la partie négative de l'axe 2 en particulier, apparaissent des espèces telles que *Peganum harmala*, *Anabasis articulata*, *Thymelea microphyla*, *Arthrophytum scoparium*, *Poa bulbosa* et *Erodium triangulaire*.

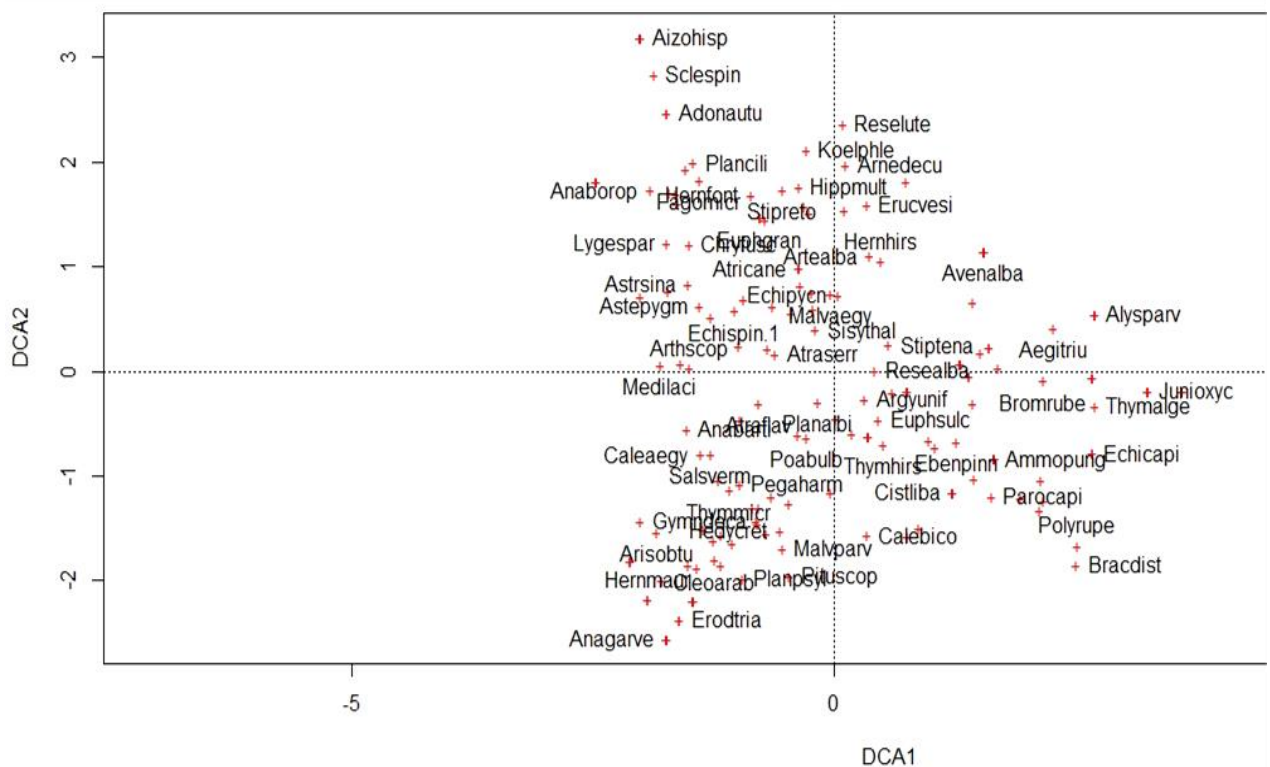


Figure 18 : Projection des espèces sur le plan des axes 1 et 2 de la DCA

Chapitre 3 : discussion

3. Discussion

Utilisant une approche diachronique sur la base de deux échantillonnages, l'un réalisé durant les années 1960 (Celles, 1975) et le nôtre en 2017, l'objectif est de faire ressortir et de caractériser les changements de végétation dans quelques stations de steppe d'alfa allant de groupement végétal spécifique des matorrals au groupement des steppes typiques où l'alfa domine avec parfois l'armoise blanche. Monjauze (1947) in Moulay et al. (2011) note que les nappes alfatières algériennes n'ont pas un caractère climacique et souligne cependant qu'elles constituent un état steppique d'une ou de plusieurs séries végétales, état qui, selon Djebaili (1978) et Le Houérou (1995), représenterait l'ultime stade de régression des formations forestières dans ces régions. Au plan dynamique, la majorité des groupements steppiques sont issus par dégradation des steppes à *Stipa tenacissima* (Le Houérou, 1969; Celles 1975; Djebaili 1978; Aidoud-Lounis, 1984).

L'alfa en tant qu'espèce dominante, participe à des groupements de matorrals et des groupements préforestiers, comme elle forme des groupements d'alfa en bon état mais également dans les steppes à alfa dégradées et/ou ensablées (Bouazza, 1991; Kadi-Hanifi, 1998; Boughani, 2014). Sa régression peut avoir des graves conséquences sur l'équilibre de l'écosystème tout entier après dégradation du sol et destruction de la communauté végétale typique de la steppe d'alfa dite "pure". Ceci se traduit notamment par l'appauvrissement de la diversité spécifique (Aidoud et Touffet, 1996) et entraîne une réduction de la richesse floristique (Melzi, 1993 ; Aidoud-Lounis, 1997) et une baisse de la phytomasse et de la production (Melzi, 1993; Aidoud et Touffet, 1996; Slimani, 2012).

De nombreux travaux d'inventaire écologique, parmi les plus récents ont souligné la dégradation (régression ou disparition) des steppes d'alfa. Cette steppe a subi une évolution régressive suivie et analysée par une surveillance à long terme dans le Sud-Oranais (Aidoud, 1994 ; Slimani et al., 2010; Aidoud et al., 2011).

L'extinction progressive de l'espèce dominante *Stipa tenacissima*, constitue l'un des indicateurs de désertification (Dregne 1991 in Slimani, 2012; Aidoud et Touffet, 1996; Maestre et Escudero, 2009). La réduction progressive du couvert végétal traduit le plus souvent la dégradation de l'ensemble de l'écosystème (Daget et Poissonnet, 2010). Une telle régression peut être utilisée pour surveiller des variables liées aux processus de désertification (Maestre et Escudero, 2009).

Dans le cas présent, l'analyse des données a montré une plus grande dispersion des relevés de 1960 par rapport aux relevés de 2017, ce qui indique une végétation devenue moins diversifiée et plus banalisée, un des effets majeurs de la dégradation et de la désertification

(Aidoud-Lounis, 1997; Lahmar-Zemiti et Aidoud, 2016). En effet, la richesse floristique globale relevée durant l'échantillonnage des années 1960 abaissée, en une cinquantaine d'années, de 66%.

La baisse de la richesse floristique enregistrée dans la majorité des relevés, s'accompagne souvent de la régression de l'espèce dominante (Aidoud-Lounis, 1997), régression qui favorise l'installation et l'extension d'espèces mieux adaptées, des thérophytes en majorité (Aidoud, 1989a; Ghennou, 2014) et qui, produisant une grande quantité de graines, colonisent rapidement les espaces libres. C'est la thérophytisation (Barbero *et al.*, 1990) indicatrice de dégradation. Signalons que ce sont les thérophytes qui représentent la catégorie naturellement dominante dans les communautés sous climat aride. Il s'agit de la "thérophytie" de Daget (1980). C'est également la catégorie la plus fluctuante dans des conditions où le facteur déterminant est la pluviosité (Aidoud, 1998). Il est ainsi possible d'imputer une baisse de la richesse spécifique à un déficit de pluie durant l'année d'observation, ce qui ne semble pas avoir été le cas durant l'année 2017.

La végétation, y compris celle des steppes arbustives ou de matorrals semble avoir beaucoup changé et subi une dynamique qui s'apparente à une succession végétale régressive. Ceci s'est traduit par un changement et une baisse du couvert végétal, allant des espèces caractéristiques des steppes d'alfa à d'autres indicatrices des steppes d'alfa dégradées à base de *Lygeum spartum* et *Noaea mucronata*. Seule, la station 603 située dans le nord-est de la région de Djelfa a été moins impactée et a gardé ces espèces typiques des matorrals à base de *Juniperus oxycedrus* et *Quercus ilex* en association avec *Stipa tenacissima*. Dans une steppe d'alfa pur, mise sous surveillance continue, la régression puis la disparition de cette espèce a entraîné celle de nombreuses espèces dont la présence est liée à celle de l'alfa telles que *Sedum sediforme*, *Dactylis glomerata*, *Xeranthemum inapertum*, *Centaurea incana* (Aidoud, 1989b).

Le changement de composition floristique fait ressortir trois principaux ensembles, allant d'un cortège floristique spécifique des matorrals où l'alfa est en association avec *Quercus ilex*, *Juniperus oxycedrus* et *Thymus algeriensis*. Le deuxième présente des steppes typiques d'alfa qui domine avec *Artemisia herba-alba* dans quelques relevés. Le troisième est indicateur de steppes d'alfa dégradés avec l'apparition prononcée de *Noaea mucronata*, *Atractylis serratuloides* et *Lygeum spartum* dans certains relevés et d'*Arthrophytum scoparium* et de *Thymelaea microphylla* dans d'autres selon le climat local ou l'ensablement de surface.

Un certain nombre d'espèces a, soit vu ses fréquences augmenter, soit recensé nouvellement en 2017. Ce sont pour la plupart, des espèces indicatrices de dégradation, soit parce qu'elles sont moins appréciées par les troupeaux, soit qu'elles apparaissent suite à un changement de

milieu qui leur est devenu plus favorable (Le Houérou, 1969; Celles, 1975; Djébaili, 1978; Floret et Pontanier, 1982; Aidoud-Lounis, 1984; 1997). Parmi ces espèces, *Salsola vermiculata* ou surtout *Peganum harmala* dont la fréquence a été multipliée par neuf, sont des espèces des groupements rudéraux (cf. *Salsolo-Peganietalia* décrit par Aidoud F., 1990) favorisées par la présence de l'homme et de ses troupeaux. En parallèle de la "thérophytisation", on constate une "chamaephytisation" due à une prolifération des espèces dépourvues d'intérêt et délaissées par le bétail comme les espèces des genres *Astragalus*, *Atractylis*, *Arthrophytum*, *Asphodelus*, *Carduncellus* (Moulay et Benabdeli, 2011; Ghiloufi et al., 2015). *Astragalus armatus* est une espèce indicatrice de dégradation qui se développe suite à une pression humaine intense (Floret et Pontanier, 1982). De nombreuses autres espèces sont évitées, en permanence ou temporairement, par les animaux en raison de leur caractère épineux comme *Onopordon arenarium*, *Echinops spinosus* ou des espèces du genre *Atractylis* telles que *A. carduus*, *A. flava* et *A. serratuloides* espèces fréquemment rencontrées en 2017.

Notons que certaines ont gagné un caractère d'espèce physionomiquement dominante comme *A. serratuloides*. Cette dernière domine actuellement la majorité des steppes et plus particulièrement celles de l'Ouest (Aidoud-Lounis, 1984) suite à la dégradation des steppes d'armoise et d'alfa. Aidoud-Lounis (1984) a présenté un modèle dynamique prédictif de la dégradation des steppes d'alfa qui montre deux trajectoires: (1) installation progressive en remplacement de l'alfa, d'*Artemisia herba alba*, qui peut être supplantée ensuite par d'autres espèces moins appétibles tel que : *Noaea mucronata*, *Atractylis serratuloides* et *Salsola vermiculata*; (2) l'alfa est remplacée par le *Lygeum spartum*, ensuite par *Thymelaea microphylla* et *Aristida pengens*, toutes ces espèces étant favorisées par l'ensablement de surface.

Le présent travail se focalise essentiellement sur le devenir de l'alfa ayant constitué l'espèce dominante durant longtemps. L'analyse de l'évolution de la végétation depuis 1976 de la steppe d'alfa de Rogassa, situé dans la région Sud-Oranaise, a montré également une dynamique régressive (Slimani, 2012). Dans ce dernier travail, la disparition progressive de l'espèce pérenne dominante (alfa) représente l'élément essentiel de l'évolution régressive révélé, dont le couvert de celle-ci, entre 1993 et 2000, chute de 86% dans la mise en défens où la fréquence maximale ne dépasse guère les 10% et qui pratiquement disparaît dans les zones librement pâturés. La dynamique régressive des ensembles végétaux, a fait ressortir trois ensembles ; le premier à *Stipa tenacissima* pur caractérise le système témoin. Le deuxième à *Stipa tenacissima* dégradée et à *Lygeum spartum*, le dernier identifié, celui à *Lygeum spartum* dominant et à *Salsola vermiculata*, atteste de la disparition irréversible de *Stipa tenacissima* et d'un

changement de la communauté végétale. Le changement de la composition floristique s'est traduit également à travers la richesse et la diversité spécifique ; l'évolution de la diversité floristique montrait des diminutions dans le temps, au même niveau que la richesse floristique, qui passe de près de 40 espèces en 1977 à moins de 5 espèces en 2006. Cette diminution est plus rapide à l'extérieur de la mise en défens.

La steppe dominée par l'alfa couvrait 70% de la surface des hautes plaines steppiques (environ 12 millions ha), durant la deuxième moitié du XIXe siècle (Mathieux, 1891). Cette surface s'est réduite en un siècle, à 4 millions d'hectares (Boudy, 1950 *in* Moulay *et al.*, 2011). Selon une dernière estimation du Haut-Commissariat de Développement des Steppes (HCDS, 2001), cette surface ne serait plus que de deux millions d'hectares. Cependant, cette valeur serait encore plus faible si l'on retranchait de cette dernière les surfaces dans lesquelles l'alfa n'est plus représenté que par des vestiges noirâtres de touffes mortes, simples témoins de l'existence passée de steppes d'alfa (Nedjraoui et Bedrani, 2008). Par ailleurs, la disparition de l'alfa en peuplement dense s'effectue lentement et, pour cela, c'est en densité ou en phytomasse qu'il faut quantifier cette régression et non en surface (Aidoud, 1989a). Bensaid (2006) signale que 1, 2 Millions d'hectares ont été dégradés : 700000 ha de peuplements clairs dans lesquels l'alfa a complètement disparu et près de 500000 ha de nappes denses dans lesquelles la biomasse verte de l'alfa est passée en moyenne de 1750 Kg MS/ha à moins de 100 Kg MS/ha. Ainsi, qu'une diminution importante de la biomasse et de la productivité moyenne annuelle est enregistrée dans la région sud-Algéroise (Melzi, 1993) et de même que dans la région sud-Oranaise; la phytomasse de l'alfa a diminué de 2100 Kg MS/ha en 1976 à 572 Kg MS/ha (Aidoud et Nedjraoui, 1992). Aidoud et Aidoud-Lounis (1990) ont noté que dans les peuplements denses des plaines, le couvert de l'alfa passe en moyenne de 30 à 3% et sa phytomasse verte de 1750 à 75 kg MS/ha, entre 1978 et 1990. Pendant que les peuplements clairs, enregistrent un dépérissement total de l'espèce (Aidoud et Touffet, 1997). La perte de densité d'alfa est évaluée à une moyenne de 80 touffes/ha annuellement (Moulay *et al.*, 2011).

La répartition de la végétation reflète l'ensemble des conditions qui y règnent où la signification écologique de la présence d'une espèce végétale indicatrice varie énormément avec l'importance de ses exigences (Gounot, 1969). Il suffit d'une modification même faible de l'une des interactions entre (climat, sol, homme, cheptel, animaux sauvages) pour que tout le réseau en soit modifié et que la végétation évolue (Daget, 1978 *in* Daget et Poissonnet, 2010). La régression d'une espèce peut être causée par plusieurs facteurs : le climat, l'action des parasites, l'efficacité insuffisante des moyens de dissémination ; facilitant la concurrence

d'autres espèces et l'action de l'homme qui représente le facteur de régression le plus important (Ozenda, 1982).

Les auteurs Djebaili et *al.* (1989); Le Houérou (1996); Aidoud et Touffet (1996); Kadi-Hanifi et *al.* (2005); Slimani et *al.* (2010); Moulay et *al.* (2011); Nedjimi et Guit (2012); Nedjraoui et Bedrani (2008) et Hasnaoui et Bouazza (2015), s'accordent dans les grandes lignes sur les causes de la régression des steppes en Algérie, en particulier celle de l'alfa. Le présent travail le confirme par les changements observés à près de 50 années d'intervalle, changements qui indiquent une conjonction de pratiques humaines irrationnelles se traduisant toutes par une surexploitation des ressources végétales. Défrichage abusif, labour, cueillette de l'alfa pour l'industrie du papier et enfin et surtout surpâturage imposé par un effectif ovin en croissance continue et une réduction des surfaces des parcours pastoraux, le tout accompagné par une pression démographique en forte progression sont les divers moteurs de cette régression. Celle-ci est aggravée par les conditions naturelles dont la fragilité des sols (Pouget, 1980; Achour-Kadi Hanifi et Loisel, 1997), celle du couvert végétal, en particulier des graminées vivaces (Frutos et *al.*, 2015) et l'aridité (Noy-Meir, 1973; Garcia-Fayos et Gasque, 2002) constituent les caractéristiques principales. Un climat contraignant, irrégulier avec une période sèche estivale naturelle mais pouvant aller jusqu'à 9 mois voire plusieurs années (Benabadji et Bouazza, 2000; Hirche et *al.*, 2010; Slimani et *al.*, 2010).

**Partie 3 : Evaluation de la diversité et la structure
génétique de *Stipa tenacissima***

Chapitre 1 : matériel et méthodes

L'objectif de cette partie de travail, est l'évaluation de la diversité et la structure génétique de *Stipa tenacissima* en Algérie. Pour cela, 48 échantillons sont collectés de 27 stations distribuées le long de la région steppique algérienne. L'étude est réalisée avec l'utilisation de quatre marqueurs moléculaires PCR-ISSR.

1. Matériel et méthodes

1.1. Le matériel végétal

Une collection de 48 individus (ou génotypes) de *Stipa tenacissima* a été analysée dans cette étude. Ces individus (1 à 3 par population) proviennent de 27 stations représentatives d'une large partie de l'aire de distribution géographique de la steppe algérienne. Les sites échantillonnés s'étendent depuis la région Est (Tébessa, Batna, Msila), la région Centre (Djelfa, Laghouat), jusqu'aux régions Ouest (Tiaret, Saida, El Bayadh, Naama) (figure 19). Les stations les plus éloignées, Mechrya (D24) à l'Ouest et l'Ouenza (A1) à l'Est, sont distantes l'une de l'autre d'environ 845 km. De plus, cet échantillonnage s'est attaché à représenter au mieux la diversité des biotopes de l'alfa (alfa sous couvert (forêt) pour A1 (Ouenza- Tébessa), B10 (Senelba-Djelfa) et D27 (Frenda-Tiaret), alfa des steppes semi-aride et steppes arides) (tableau 11).

La géolocalisation, les caractéristiques topographiques et climatiques des stations sont mentionnées dans le tableau 11.

Les données climatiques sont des moyennes sur 30 ans. Elles proviennent de l'Office Nationale de Météorologie (ONM). Des extrapolations ont été faites pour quelques sites par rapports aux stations météorologiques régionales les plus proches ; selon la méthode de Seltzer (1946) et Djebaili (1984) (voir cf. 1.1 partie 2).

1.2. Extraction d'ADN

L'ADN génomique a été extrait de feuilles séchées (herbiers), en utilisant le kit NucleoSpin Plant II Mini (Macherey-Nagel, Duren, Allemagne). Environ 25 à 50 mg de matériel végétal sec de chaque échantillon de feuille est finement broyé dans de l'azote liquide avec un mortier et un pilon avant d'extraire l'ADN selon le protocole fourni par le fabricant (Macherey-Nagel, 2014). La concentration d'ADN de chaque extrait est déterminée avec un spectrophotomètre (Nanodrop1000). Les extraits d'ADN sont ensuite stockés à -20°C jusqu'à utilisation.

Tableau 11 : Localisation et caractéristiques des stations sources d'échantillons de *Stipa tenacissima*

Lieu administratif	Population	Code	Nbre d'échantillons	Latitude	Longitude	Altitude (m)	T moy annuelle (°C)	T moy des minima de mois le plus froid (m) (°C)	T moy des maxima de mois le plus chaud (M) (°C)	P (mm)	I	Q3	Etage bioclimatique	Hiver
TEBESSA	OUEENZA	A1	2	35,98764 167	8,131611 111	606	17,94	2,73	37,65	391,30	14,01	38,43	semi-aride	frais
	TLIDJEN	A2	1	35,06666 667	7,733333 333	993	15,81	1,18	34,94	263,94	10,23	26,82	semi-aride	frais
BATNA	MDOUKAL	A3	2	35,11869 444	5,088305 556	502	18,83	2,40	40,45	242,80	8,42	21,89	aride	frais
	AIN TOUTA	A4	2	35,34233 611	5,779355 556	895	16,66	0,83	37,70	321,40	12,05	29,90	semi-aride	frais
MSILA	OULED HAMA	A5	2	34,86370 833	4,83325	564	19,12	3,61	38,94	231,50	7,95	22,47	aride	tempéré
	SLIM	A6	1	34,94075 278	3,796841 667	1053	16,43	1,65	35,52	329,30	12,46	33,35	semi-aride	frais
	BOUSSAADA	A7	2	35,20008 611	4,229994 444	596	18,95	3,48	38,71	250,00	8,64	24,34	aride	tempéré
DJELFA	AIN OUESSARA	B8	1	35,37465 278	2,830661 111	690	17,60	2,02	37,88	283,00	10,25	27,07	semi-aride	frais
	ESKIAA	B9	1	35,22595	3,032866 667	812	16,93	1,53	37,02	246,60	9,16	23,83	semi-aride	frais
	SENELBA	B10	2	34,62655 556	3,143194 444	1337	14,04	-0,57	33,35	351,60	14,63	35,55	semi-aride	froid
	MOKTAT ELBEL	B11	1	34,56145	3,239016 667	1218	14,69	-0,10	34,18	327,80	13,28	32,80	semi-aride	froid
	ZACCAR	B12	3	34,41918 889	3,346019 444	1099	15,35	0,38	35,02	304,00	11,99	30,11	semi-aride	frais
	TAADMIT	B13	2	34,3	2,966666 667	1082	15,44	0,45	35,13	300,60	11,82	29,73	semi-aride	frais
	AIN ELBEL	B14	2	34,27593	3,124483	976	16,02	0,87	35,88	279,40	10,74	27,38	semi-aride	frais

				333	333									
	MESSAAD	C15	3	34,23206 111	3,280866 667	870	16,61	1,30	36,62	258,20	9,70	25,07	aride	frais
	AIN CHOUHADA	C16	2	34,25076 111	2,541730 556	1224	14,66	-0,12	34,14	329,00	13,34	32,94	semi-aride	froid
LAGHOUAT	SIDI MAKHOLOUF	C17	3	34,10476 667	2,996283 333	908	18,61	0,53	38,80	165,30	5,78	14,81	saharien	frais
	LAGHOUAT	C18	2	33,88903 333	2,868816 667	808	19,16	0,93	39,50	145,30	4,98	12,92	saharien	frais
	OUED MORRA	C19	2	34,10297 222	2,33825	1307	16,42	-1,07	36,01	245,10	9,28	22,68	aride	froid
	STITEN	D20	3	33,82463 889	1,238111 111	1363	15,48	0,01	35,25	269,70	10,59	26,26	aride	frais
ELBAYADH	ROGASSA	D21	2	33,93388 889	0,858816 667	1107	16,89	1,04	37,04	218,50	8,13	20,82	aride	frais
	ALFAVILLE	D22	2	33,87266 944	0,300955 556	1190	16,43	0,70	36,46	235,10	8,90	22,55	aride	frais
NAAMA	MEKMEN BEN AMER	D23	1	33,64497 222	0,641708 333W	1080	17,57	1,54	38,10	206,40	7,49	19,37	aride	frais
	MECHRYA	D24	1	33,58304 167	0,293719 444W	1686	14,24	-0,88	33,86	327,60	13,51	32,35	semi-aride	froid
SAIDA	MAAMOURA	D25	1	34,68083 333	0,590825	1114	14,26	1,52	30,19	399,93	16,49	47,85	semi-aride	frais
	TENIRA	D26	1	34,99522 778	0,548027 778	906	15,40	2,36	31,65	358,33	14,11	41,96	semi-aride	frais
TIARET	FRENDIA	D27	1	35,06361 111	1,026111 111	956	16,34	1,58	37,00	375,40	14,25	36,36	semi-aride	frais



Figure 19 : Distribution géographique des stations sources d'échantillons de *Stipa tenacissima* dans la steppe algérienne
L'origine des stations échantillonnées est indiquée par une lettre : A, B, C ou D selon qu'elle provient de la région Est, Centre-Nord, Centre-Sud, ou Ouest, respectivement.

1.3. Amplification par PCR des marqueurs ISSR

Sept (7) amorces ISSR de la liste UBC proposée par le Biotechnology Laboratory/University of British Columbia-Canada (Pharmawati et *al.*, 2005 ; Boussaid et *al.*, 2010), ont été préalablement testées sur quelques échantillons. Parmi celles-ci, les quatre amorces ayant montré la meilleure résolution et un bon taux de reproductibilité ont été retenues pour l'analyse de nos échantillons (tableau 12).

L'amplification par PCR optimisée a été réalisée dans un volume réactionnel de 25 μ l contenant 6.125 μ l d'H₂O distillé, 5 μ l de 5X Green GoTaqFlexi Buffer, 3.75 μ l de solution MgCl₂ (25mM), 5 μ l de dNTPs (2mM), 4 μ l d'Amorce SSR (5pm/ μ l), 0.125 μ l de GotaqFlexi DNA Polymerase (5 μ / μ l) et 1 μ l de l'échantillon d'ADN.

Toutes les amplifications PCR ont été réalisées dans un thermocycleur Eppendorf. Selon le programme de cycles réactionnels suivants : 1 cycle de dénaturation initiale de l'ADN de 2mn à 94°C ; 35 cycles d'amplification de l'ADN cible comprenant chacun une étape de dénaturation de 45s à 94°C, une étape d'hybridation (d'appariement) des amorces de 45s à une température de 45 à 58°C (selon l'amorce SSR utilisée ; voir tableau 12), et une étape de polymérisation (synthèse de l'ADN cible) de 2 mn à 72°C. Le tout suivi par une extension des fragments polymérisés pendant 7min à 72°C, avant une incubation finale à 10°C. L'opération a été généralisée avec les 4 marqueurs sur les 48 échantillons.

Les produits de l'amplification PCR sont immédiatement analysés par électrophorèse ou conservés à -20°C pour analyse ultérieure.

Pour chaque échantillon, 8 μ l de produits d'amplification par PCR sont analysés par électrophorèse sur gel d'agarose de 1.5 % pendant 1,5h à 100V afin d'obtenir le profil des fragments d'ISSR amplifiés par l'amorce utilisée pour chacun des échantillons.

Ces profils de fragments d'ADN sont visualisés à l'aide de rayons UV sous forme de bandes fluorescentes marquées par le bromure d'éthidium (un intercalant de l'ADN).

1.4. Analyse des données

Les marqueurs ISSR sont révélés en masse pour tous les individus analysés sur un même gel et représentés par des bandes de différentes tailles, chacune d'elle étant considérée comme un locus indépendant. Ces bandes sont considérées ici comme des marqueurs mendéliens dominants et sont analysées comme des caractères à 2 états, dont l'exploitation est plus simple que pour les marqueurs microsatellites (SSR). Le polymorphisme ainsi révélé est

essentiellement de type présence/absence de bande à un locus, mais peut correspondre parfois à des différences de longueur de fragments (Santoni et *al.*, 2000).

Tableau 12 : séquences et pouvoir de résolution des amorces PCR-ISSR utilisés

Amorce	Séquence 5'-3'	Température d'appariement T°C	Nombre		Proportion de loci polymorphes %	Pouvoir de résolution Rp	Bandes exclusives	
			Loci amplifiés	Loci polymorphes				ind
ISSR10	(AGC)6G	63,1	12	10	83.33	5.83	0	
ISSR13	(CTC)6G	63,1	9	9	100	5.54	0	
ISSR14	(CT)9G	56,7	9	9	100	3.94	1	P1b
ISSR825	(AC)8T	50,4	22	22	100	9.67	0	
Total /Moy			52	50	96.15	6.24	1	

Les profils obtenus ont été évalués et interprétés visuellement en présence (notée 1) et absence (notée 0) de bandes homologues détectées ayant la même taille, et les matrices binaires obtenues sont utilisées pour les analyses statistiques et de la diversité génétique. Seules les bandes distinctes et bien résolues, reproductibles, dont l'interprétation était non ambiguë pour tous les individus ont été retenues.

Le pouvoir de résolution (Rp) de chaque amorce utilisée a été calculé avec la formule proposé par Prevost et Wilkinson (1999). Rp est la somme des bandes informatives : $Rp = \sum Ib$, où $Ib = 1 - (2 \times |0.5-p|)$ et p est la fréquence des génotypes contenant la bande parmi les 48 plantes analysées (tableau 12). Différents indices et estimateurs de la diversité génétique ont été mis en œuvre pour l'étude de notre collection de génotypes d'alfa. Le nombre d'individus échantillonnés par population locales étant réduit (1 à 3 par station), nous avons appréhendé la diversité et la structure génétiques des populations d'alfa de la steppe algérienne en considérant quatre groupes d'individus représentant la diversité de leurs origines géographiques. A savoir : le groupe A, comprenant les individus échantillonnés dans les régions Est (Tébessa, Batna, Msila) ; les groupes B et C, pour les parties Nord et Sud, respectivement, des régions du Centre de la Steppe (Djelfa, Laghouat) ; et le groupe D, pour les individus échantillonnés dans les régions de l'Ouest (Tiaret, Saida, El Bayadh, Naama) (figure 19; tableau 11).

Nous avons utilisé le logiciel POPgene 1.31 sous l'équilibre de Hardy-Weinberg (Yeh et al., 1999) pour calculer les paramètres de variation génétique suivants: le nombre effectif d'allèles (n_e), le pourcentage de bandes polymorphes (PPB), la diversité génétique de Nei (H) (Nei, 1987), la distance et l'identité génétique non biaisées de Nei (Nei, 1978), et l'indice d'information de Shannon (I) défini par $I = -\sum p_i \log_2 p_i$; où p_i est la fréquence d'une bande ISSR (Shannon, 1948), correspondant également au coefficient de différenciation des gènes (G_{st}) qui représente la part (%) de la diversité génétique intergroupe dans la diversité génétique totale proposé par Nei (1973) et est un analogue des F-statistiques de Wright (F_{st}). Ces dernières permettent aussi d'évaluer la structure génétique d'une espèce, en particulier la différenciation génétique entre les sous-populations qui est estimée en fonction des fréquences alléliques à plusieurs locus multialléliques. Ainsi, $G_{st} = 1 - H_s/H_t$, où H_s = moyenne des h_s sur l'ensemble des loci ; h_s = moyenne arithmétique sur l'ensemble des échantillons de la diversité génétique monolocus par échantillon, et H_t = moyenne arithmétique des h_t sur l'ensemble des locus ; h_t = diversité génétique monolocus sur la population totale. Le niveau moyen de flux génétique (N_m) parmi les populations (dans notre cas groupes) a été calculé indirectement en utilisant la formule : $N_m = 0,5 (1 - G_{st}) / G_{st}$ (Nei, 1978).

L'analyse multivariée est présentée comme une stratégie importante pour la classification du matériel génétique (Mohammadi et Prisana, 2003). Une analyse par positionnement multidimensionnel non-paramétrique (nMDS : *non-metric multidimensional scaling*) avec R version 3.2.3 des données ISSR a été réalisée afin d'avoir une présentation générale de la distribution des différents échantillons d'alfa étudiés. Celle-ci permet une ordination basée sur une matrice de dissimilarité entre les objets analysés. Cette méthode statistique est efficace en raison de la flexibilité et la généralité accordées par sa dépendance seulement sur une vision biologiquement significative des données et ses propriétés de conservation de distance (Clarke, 1993). C'est une méthode robuste ; elle tolère des distances manquantes, et peut être appliquée à une matrice de similarités (dissimilarités) construite avec n'importe quelle mesure de distance basée sur des variables quantitatives, semi-quantitatives, qualitatives ou mixtes (Buttigieg et Ramette, 2014).

Dans le cas présent, nous avons utilisé nMDS avec l'indice de distance de Bray et la fonction *metaMDS* du package *Vegan* sous R version 3.2.3 (Oksanen, 2015).

La valeur « stress » mesure la différence entre les distances dans l'espace réduit obtenu par l'ordination et celles dans l'espace pluridimensionnel d'origine. Les valeurs de stress élevées (> 0,35) indiquent la possibilité que les objets soient disposés de façon aléatoire et sans relation avec leurs positions d'origine (Clarke, 1993).

La méthode d'interprétation la plus utilisée est d'intégrer les variables ou vecteurs environnementaux sur l'ordination (Oksanen, 2015), nous avons introduit les variables de position géographique, d'altitude et des paramètres climatiques mentionnées dans le tableau (11). Les vecteurs (gradients) sont représentés par des flèches ; la flèche indique la direction des changements les plus rapides dans la variable environnementale (la direction de la pointe) et la longueur de la flèche est proportionnelle à la corrélation entre ordination et le variable (la force du gradient). Cette opération est réalisé par la fonction *envfit* du package *Vegan* sous R version 3.2.3.

Nous avons opté pour une analyse des données obtenues par la méthode UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages*; Sokal et Michener, 1958), pour cela, nous avons eu recourt à la distance de Jaccard (Chessel, 2008) (voir cf. 1.3. partie 2). Nous avons également testé la distance Euclidienne et la distance de Bray (Chessel, 2008 ; Oksanen, 2015). Les calculs ont été réalisés sous R version 3.2.3.

De plus, une analyse de la variance moléculaire (AMOVA) avec R version 3.2.3 a été utilisée pour estimer la variation génétique parmi et au sein des groupes d'individus/populations de *Stipa tenacissima* étudiés (Exoffier et *al.*, 1992).

Chapitre 2 : résultats

2. Résultats

2.1. Diversité génétique de *Stipa tenacissima*

Parmi les sept amorces ISSR testées, quatre ont donné des produits reproductibles. Le nombre total de loci amplifiés est 52 avec un taux de polymorphisme total égal à 96,15%. L'amorce ISSR825 a donné le nombre de locus le plus élevé (22 loci), suivie par les autres amorces (entre 9 et 12 locus). Une seule bande exclusive est trouvée chez l'échantillon A1-2 d'Ouenza (Tébessa) amplifié par ISSR14 (tableau 12). La moyenne de pouvoir de résolution obtenue est ($R_p=6.24$), l'amorce ISSR825 présente la valeur la plus élevée (9,67), suivie par ISSR10 (5,83) et ISSR13 (5,54), elles sont considérées les plus efficaces pour l'étude de la diversité génétique, alors que le quatrième amorce ISSR14 a présenté une valeur plus faible (3,94) (tableau 12).

Une diversification génétique observable entre individus /populations d'alfa échantillonnés dans des conditions éco-géographiques très diverses couvrant une large étendue de la steppe (figure 17).

Les valeurs des indices de diversité génétiques révèlent le taux élevé de diversité génétique entre les groupes régionaux d'alfa ; avec un taux de polymorphisme total (PPB) de 96.15%, une diversité génétique de Nei (H_t) égale à 0.264 et une valeur d'indice de Shannon (I) égale à 0.4193 (tableau 13).

Tableau 13 : Indices de diversité génétique des groupes de *Stipa tenacissima*

	Taille de l'échantillon	ne	h	I	nombre de loci polymorphes	PPB%
Groupe A	12	1.3799	0.2373	0.3683	40	76.92
Groupe B	12	1.3662	0.2376	0.3784	45	86.54
Groupe C	12	1.3204	0.198	0.3085	34	65.38
Groupe D	12	1.2849	0.1751	0.274	32	61.54
Total	48	1.4105	0.2645	0.4193	50	96.15
Ht	Hs		Gst		Nm	
0.2645	0.212		0.1984		2.0202	

* **ne** = nombre effectif d'allèles* **h** = diversité génétique de Nei (1973)* **I** = indice de Shannon* **Ht** = diversité génétique totale* **Hs** = diversité génétique intragroupe * **Gst** = différenciation génétique * **Nm** = flux de gène

Les groupes A de l'Est et B du Centre-Nord ont les valeurs les plus élevées des indices de diversité génétique (PPB= 76.92 % et 86.54%, H= 0.2373 et 0.2376, I= 0.3683 et 0.3784 respectivement), suivis par le groupe Centre-Sud C (PPB= 65.38%, H= 0.198 et I= 0.3085), ensuite le groupe D de l'Ouest (PPB= 61.54%, H= 0.1751 et I= 0.274) présentant les plus faibles valeurs (tableau 13). Il en ressort l'ordre suivant : Groupe de Centre-Nord (B) > Groupe d'Est (A) > Groupe de Centre-Sud (C) > Groupe d'Ouest (D).

2.2. Structure génétique de *Stipa tenacissima*

La figure 20 met en évidence une structuration génétique globale des individus/populations de *Stipa tenacissima* plus ou moins bien marquée en relation avec leurs origines écogéographiques.

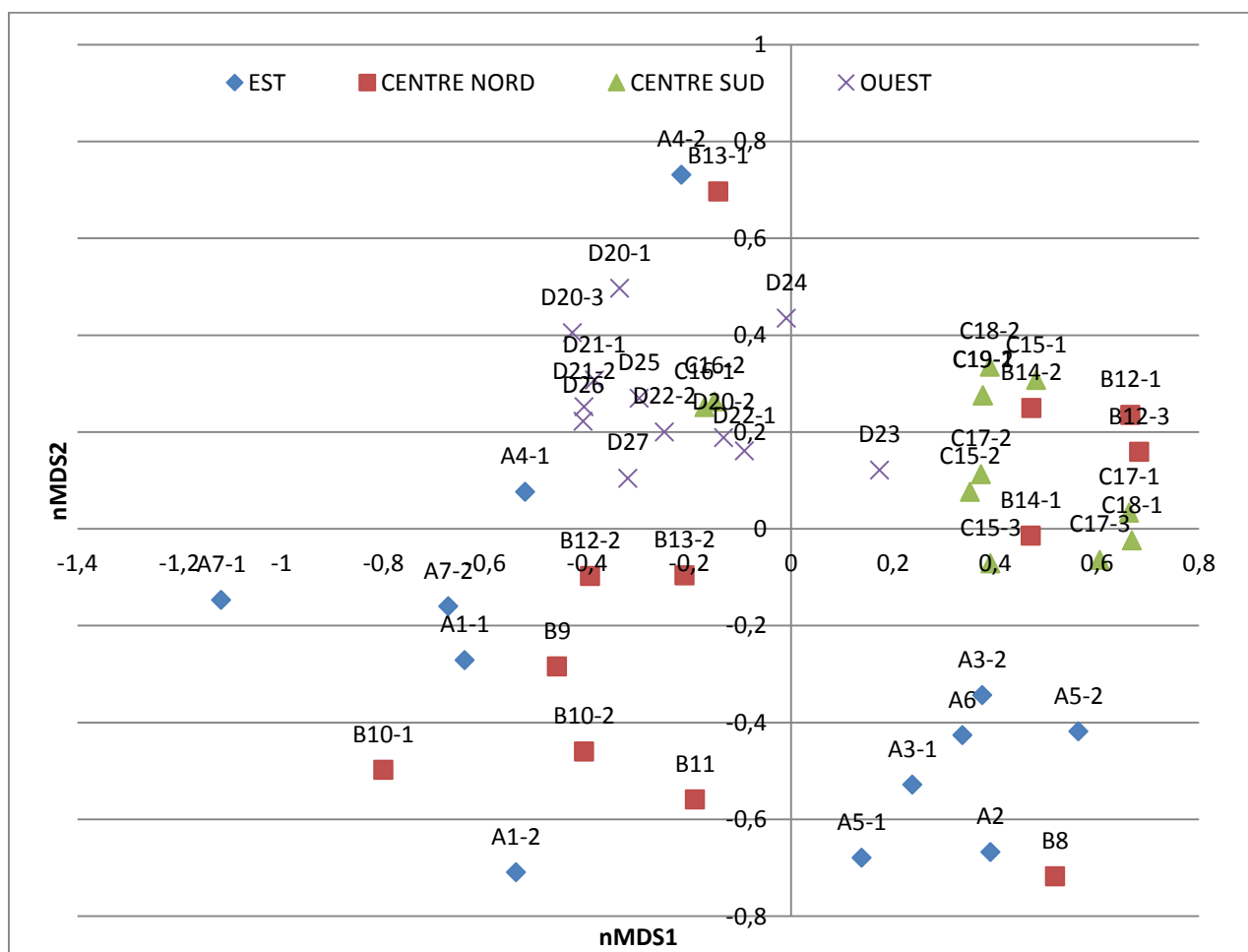


Figure 20 : Diagramme nMDS des données PCR-ISSR des échantillons de *Stipa tenacissima*

Ainsi, nous pouvons distinguer globalement 4 pools géographiques, regroupant chacun des individus originaires principalement de stations de la région Est de la steppe (A), de la région Centre-Sud (B) et Centre-Nord (C), et de la région Ouest (D). Ces pools indiquent donc assez clairement une différenciation génétique selon un gradient Est-Ouest, et un gradient Nord-Sud en particulier pour la région centre (mieux échantillonnée).

Toutefois, on notera, que si les individus originaires de la région Ouest forment un pool génétique homogène tous regroupés. A l'opposé les individus originaires de la région de l'Est forment un ensemble nettement plus diversifié constitué d'un pool génétique homogène distinct (représentant ce que l'on pourrait appeler le « pool Est sensu stricto») et de plusieurs individus (A1-1, A1-2, A7-1 et A7-2), génétiquement plus proches des individus du Centre-Nord, voire de ceux de l'Ouest (A4-1 et A4-2).

De même, si les individus des régions du centre se différencient bien en 2 pools génétiques principaux, on observe que 2 individus (C16-1 et C16-2) du Centre-Sud sont génétiquement liés au pool de l'ouest, tandis que 4 individus (B12-1, B12-3, B14-1 et B14-2) du Centre-Nord se rattachent au pool du Centre-Sud et 1 (B8) au pool génétique de l'Est *s.s.*, voire de ceux de l'Ouest (B13-1).

Les dendrogrammes basés sur les distances de Jaccard, Euclidiennes et de Bray ont donné des regroupements similaires à ceux obtenus par nMDS ; nous ne présentons ici que celui basé sur la distance de Jaccard (figure 21).

Il en résulte que les populations/individus de l'Est et des régions de Centre montrent une plus grande diversité génétique avec une divergence Nord-Sud assez nette au Centre et des affinités (ou "mélange" de génotypes) notables entre d'une part ceux de l'Est et de la région Centre-Nord, et d'autre part entre ceux de la région Centre-Sud et ceux de l'Ouest (dans une moindre mesure).

Les valeurs de distance et d'identité génétique non biaisées de Nei confirment les appréciations précédentes. La plus faible distance génétique est enregistrée entre le groupe de l'Est A et le groupe du Centre-Nord B (0.0102), et la plus élevée entre les groupes de l'Est A et de l'ouest D (0.1161) (tableau 14). Ce qui est bien illustré par le dendrogramme UPGMA basé sur la distance génétique non biaisée de Nei d'où il ressort une divergence génétique nette entre le groupe D (Ouest) d'un côté, et les groupes A (Est), B (Centre-Nord) et C (Centre-Sud) de l'autre (figure 4). Parmi ces derniers, les résultats indiquent une plus forte proximité génétique entre les populations de l'Est (A) et du Centre-Nord (B) (figure 22).

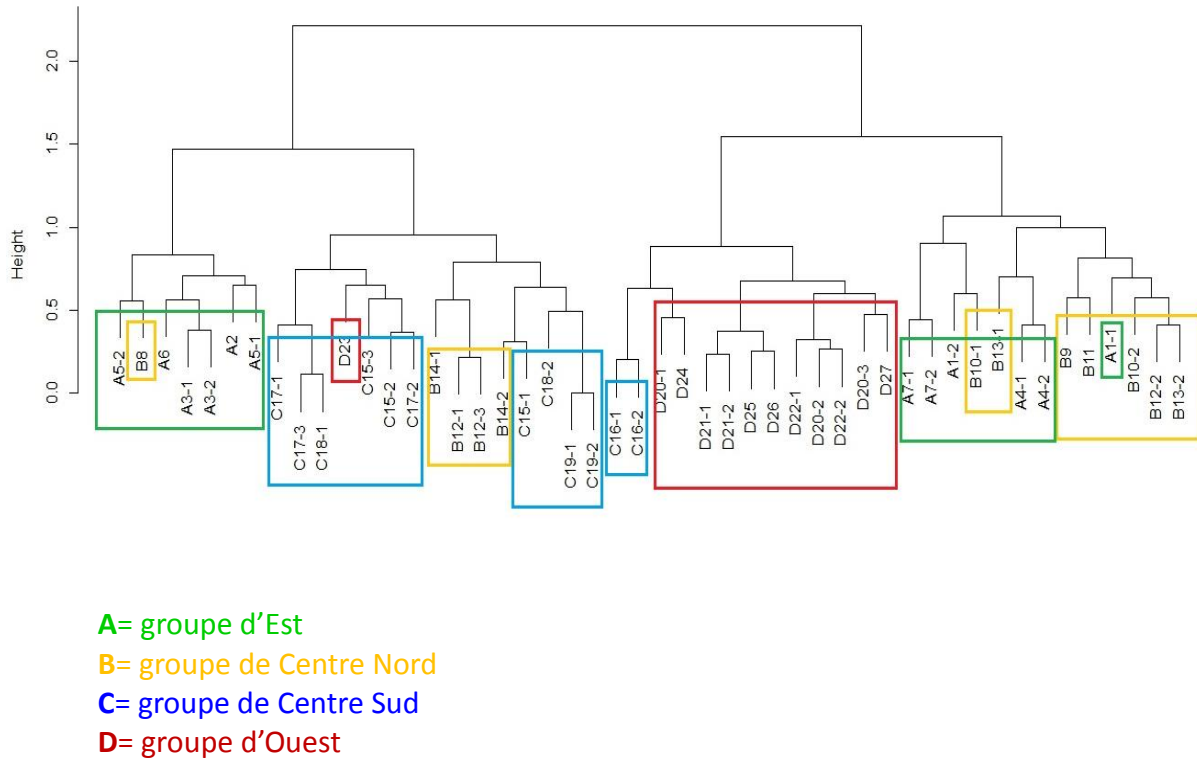


Figure 21 : Dendrogramme obtenu par UPGMA basé sur la distance de Jaccard

Tableau 14 : Distances et identités génétiques non biaisées de Nei

Groupe	A	B	C	D
A	****	0.9899	0.9040	0.8903
B	0.0102	****	0.9435	0.9068
C	0.1009	0.0581	****	0.9031
D	0.1161	0.0979	0.1019	****



Figure 22 : Dendrogramme obtenu par UPGMA basé sur la distance génétique non biaisée de Nei.

Un degré de différenciation génétique relativement moyen a été trouvé (G_{st} égale à 0.1984), indiquant que 19,84% de diversité génétique totale est d'origine intergroupe, alors que la part de diversité génétique intragroupe est la plus importante, et un niveau plus ou moins élevé de flux génétique N_m égale à $2.0202 > 1$ (tableau 13).

L'analyse AMOVA a donné une estimation similaire, avec 24,57 % de variation d'origine intergroupe et 75,43% d'origine intragroupe (tableau 15).

Tableau 15 : Résultats d'analyse d'AMOVA

	SCE Somme des carrés des écarts	MCE Moyennes des carrés des écarts	DI Degré de liberté	Composantes de variation	%
Intergroupe	3.020274	1.0067581	3	0.06578432	24.57
Intragroupe	9.563239	0.2173463	4	0.21734633	75.43
Total	12.583513	0.2677343	47		

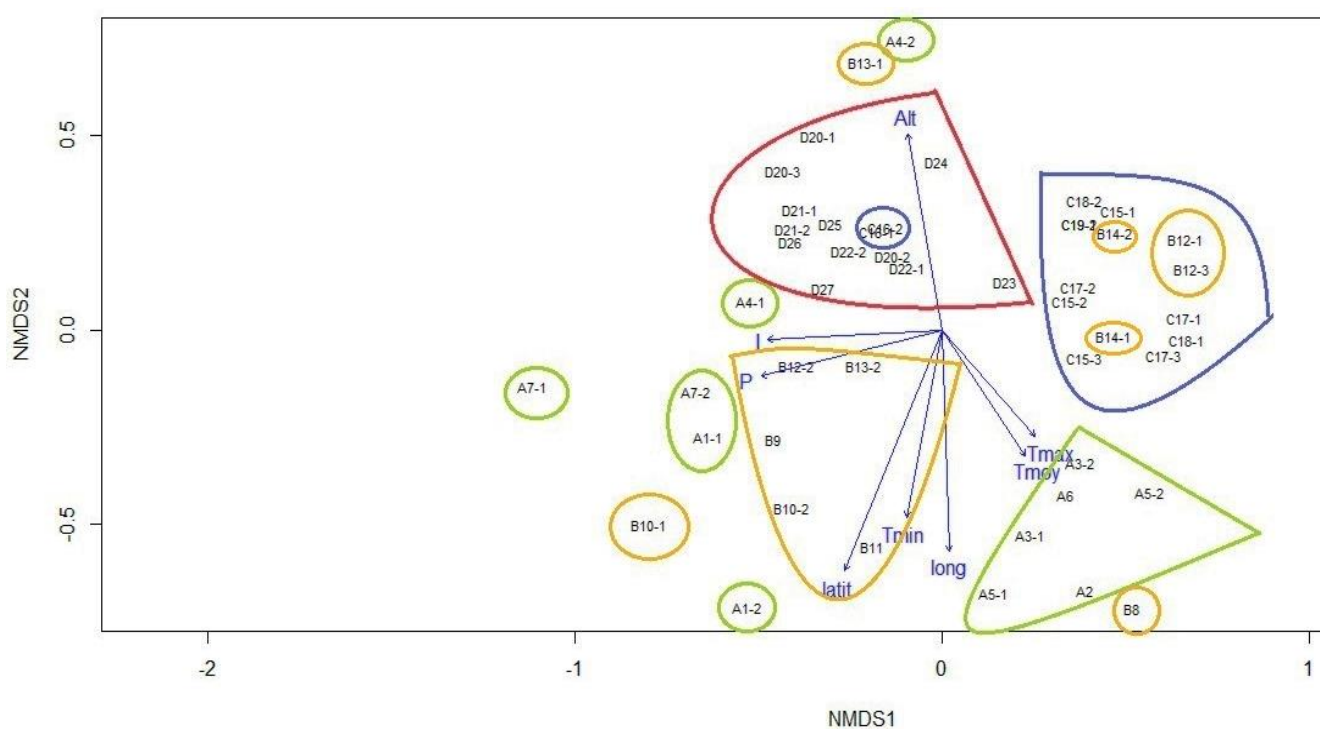
2.3. Intégration des variables environnementales

Les variables de position géographique, d'altitude et des paramètres climatiques (tableau 11) présentent toutes une corrélation significative avec les scores obtenus de nMDS (tableau 16), ce qui montre leur intervention significative dans l'ordination des individus/populations d'alfa échantillonnés.

Tableau 16 : Corrélations des variables introduites dans l'analyse nMDS

	nMDS1	nMDS2	r²	Pr (>r)	
Altitude	-0.18096	0.98349	0.2419	0.002	**
Tmoy	0.58846	-0.80852	0.1393	0.036	*
Tmin	-0.19900	-0.98000	0.2181	0.003	**
Tmax	0.69393	-0.72004	0.1241	0.055	.
Précipitations	-0.96778	-0.25178	0.2408	0.002	**
Indice d'aridité	-0.99711	-0.07602	0.2116	0.004	**
Latitude	-0.39487	-0.91874	0.4221	0.001	***
Longitude	0.02950	-0.99956	0.3061	0.001	***
Signification des codes : 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Nombre de permutations : 999					

Les variables les plus significatives sont la « latitude » et la « longitude », indiquant la présence d'une certaine divergence écogéographique, alors que les variables les moins significatives sont les températures (Tmoy et Tmax). La variable « altitude » s'oriente vers le groupe D (Ouest), ce qui indique que les stations de ce groupe sont caractérisées par des altitudes élevées, alors que les variables de températures (c'est-à-dire des Tmax et Tmoy plus élevées) s'orientent vers le groupe A (Est). De plus, les variables « précipitations » et « indice d'aridité » s'orientent vers le groupe B (Centre-Nord) et quelques populations de l'Est A, à l'opposé du groupe C (Centre-Sud) contenant dans sa majorité des stations caractérisées par des précipitations et des valeurs d'indice d'aridité faibles, indiquant son appartenance à une région aride (figure 23).



- A= groupe d'Est
- B= groupe de Centre Nord
- C= groupe de Centre Sud
- D= groupe d'Ouest

Figure 23 : Diagramme nMDS des données PCR-ISSR des échantillons de *Stipa tenacissima* avec intégration des variables environnementales

Alt : altitude, Long : longitude, latit : latitude, P : précipitations, I : indice d'aridité, Tmoy : température moyenne, Tmax : maximale, Tmin : minimale

Chapitre 3 : discussion

3. Discussion

La technique ISSR, dans des conditions d'amplification adaptées de l'ADN, permet de fournir rapidement une masse de produits fiables très informatives, avec des profils clairs, reproductibles et très polymorphes (Prevost et Wilkinson, 1999 ; Haouari et Ferchichi, 2004). Ce type de marqueurs est utilisable pour l'étude de la diversité et la structure génétiques des populations, la recherche de parenté et la détermination des régimes de reproduction, comme il est bien adapté pour le clonage positionnel, la cartographie génétique et est très efficace pour l'identification clonale, avec un faible coût d'analyse et une faible difficulté du développement (Santoni et *al.*, 2000). Il a été utilisé dans une série de travaux ayant comme objet d'étude différentes espèces végétales; cultivées (Prevost et Wilkinson, 1999; Konate, 2007; Guasmi et *al.*, 2012; Handaji et *al.*, 2012; Al-Turki et Basahi, 2015), médicinales (Wu et *al.*, 2010), ornementales (Pérez de la Torre et *al.*, 2012), forestières (Kremer, 1994), steppiques (Boussaid et *al.*, 2010; Liu et *al.*, 2009) et bien d'autres comme *Lobelia* (Geleta et Bryngelsson, 2009) et *Spartina* (Ayres et Strong, 2001). Généralement les marqueurs dominants (RAPD, AFLP, ISSR) donnent des estimations directement comparables (Nybom, 2004), mais le marqueur ISSR a tendance à accentuer les différences entre les populations très proches contrairement à celles ayant de vaste distances géographiques (Qian et *al.*, 2001) et de distinguer également des variétés génériquement très proche (Prevost et Wilkinson, 1999).

Il a été démontré qu'il y a une forte corrélation positive entre le pouvoir de résolution d'un marqueur et sa faculté de distinguer les génotypes, en donnant une estimation approximative de nombre de génotypes identifiés (Prevost et Wilkinson, 1999). En comparaison avec d'autres travaux qui ont utilisé la même technique ISSR, la valeur moyenne du pouvoir de résolution enregistrée dans cette étude (R_p de 6.24, avec une étendue de 3.94-9.67) est relativement proche mais plus faible que celle trouvée pour la même espèce ($R_p = 7.74$; étendue 4.91-11.36) par Boussaid et *al.* (2010). Cette différence est probablement dues à la fois à la différence d'échantillonnage (nombre et origine des individus) et de combinaison d'amorces ISSR utilisées. Ces valeurs sont-elles mêmes inférieures à celles observées chez d'autres espèces comme la Solanacée *Calibrachoa caesia* (étendu de R_p de 10.29 à 23.20) par Pérez de la Torre et *al.* (2012). Mais elles sont plus élevées en comparaison avec les résultats de Ganopoulos et *al.* (2015) sur le figuier de Barbarie (4,80) et de Guasmi et *al.* (2012) sur l'orge $R_p = 0.92$ (0.74-1.16).

Les valeurs enregistrées de diversité génétique H égale à 0.2645 (avec un étendu de 0.1751-0.2376) et d'indice de Shannon I égale à 0.4193 (0.274-0.3784) sont comparables aux

résultats de Boussaid et al. (2010) qui ont travaillé sur la même espèce dans des populations naturelles du Centre et de l'Ouest algérien, avec H égale à 0.2402 (0.1439-0.2006) et I égale à 0.3834 (0.2171-0.3038). En comparaison avec d'autres espèces herbacées pérennes, en particulier des Stipeae allogames présentant un mode de reproduction sexué et/ou végétatif, dominantes et ayant une importance fourragère et écologique dans leurs milieux (sur le plateau de Xilin Gol en Mongolie intérieure, Chine). *Stipa grandis* a montré des valeurs plus élevées de la diversité génétique H= 0.3207 (0.2007-0.2847) et de l'indice de Shannon I= 0.4894 (0.2171-0.3038) (Zhao et al., 2008), alors que *Stipa krylovii* a présenté des valeurs plus proches H = 0,2392 (0.1279-0.1952) et I= 0,3818 (0.1954-0.2968) (Wang et al., 2006). Dans le Plateau tibétain de Qinghai (la Chine) des valeurs encore plus faibles, H= 0,1354 (0.0893-0.222) et I= 0,3517 (0.1466-0.3447), ont été enregistrées pour *Stipa purpurea* (Liu et al., 2009), ainsi que pour *Stipa capillata* en Europe centrale (l'Allemagne, la Suisse et la Slovaquie) avec un étendu de H de 0.006 à 0.111 (Hensen et al., 2009) et pour *Stipa neesiana* en Uruguay avec une diversité génétique H moyenne égale à 0,130 (0.052-0.181) (Vidal et al., 2011).

La valeur enregistrée de PPB total égale à 96.15 % (avec un étendu de 61.54-86.54%) est comparable aux valeurs trouvées pour d'autre Stipae, *Stipa krylovii* PPB total=97.47% (41.35-61.18%) (Wang et al., 2006), *Stipa purpurea* PPB total=96.70% (68.15-90.58%) (Liu et al., 2009) et *Stipa neesiana* PPB total=97.20% (18.3%-46.5%) (Vidal et al., 2011). Mais elle est supérieure à la valeur trouvée pour *Stipa capillata* PPB total=83% (02-42.09%) (Hensen et al., 2009) et inférieure à celle trouvée pour *Stipa grandis* PPB total= 100% (71.61-83.55%) (Zhao et al., 2008). Boussaid et al. (2010) ont également noté une valeur encore plus élevée de la proportion de loci polymorphes (PPB total=99.07 % ; étendue 82.3-92.2%) sur 17 populations de l'Ouest et du centre de l'Algérie en utilisant les résultats combinés issus de 12 amorces ISSRs. Tout en restant dans un ordre de grandeur moyen similaire (> à 95%), L'extension géographique plus large de notre échantillonnage vers l'Est de la steppe algérienne pourrait être à l'origine de la différence avec nos résultats.

Le calcul du coefficient de différenciation génétique est une étape importante pour déterminer la structure génétique des populations, en vue de comprendre leurs caractéristiques biologiques et explorer le processus et les mécanismes de l'évolution (Sui et al., 2009). Hamrick et Godt, (1990) soulignent que le potentiel d'évolution de l'espèce ou de la population, dans une large mesure, dépend de sa structure génétique. D'après Wright (1951) la différenciation génétique est forte lorsque le coefficient est supérieur à 0,25, alors que Hamrick et Godt (1990) considèrent que la valeur moyenne du coefficient de différenciation

génétique est de 0,20 pour les plantes à pollinisation croisée, et de 0,51 pour les espèces autogames.

Parmi les facteurs ayant un effet significatif sur la structure génétique des plantes ; le système de reproduction, les mécanismes générateurs de flux et de dispersion des graines et le mode de reproduction (Hamrick et Godt, 1990 ; Nybom, 2004). A la suite de la comparaison de plusieurs études, Ronfort et *al.*, (2005) ont en déduit que les populations d'espèces allogames, qui sont en général moins différenciées les unes des autres, présentent une diversité intrapopulation plus élevée par rapports aux population des espèces autogames qui a l'inverse sont généralement plus fortement différenciées.. Les groupes d'individus étudiés d'alfa, espèce considérée comme une allogame, anémophile, à dissémination par anémochorie avec un mode de reproduction sexué /végétatif (Burollet, 1924), ont montré ici une différenciation génétique moyenne ($H_s = 0.212$ et $G_{st} = 0.1984$). Mais elle est plus faible que celles estimées chez les espèces végétales autogames ($H_s = 0.149$ et $F_{st} = 0.510$), les espèces ayant le système de reproduction mixtes ($H_s = 0.174$ et $F_{st} = 0.243$), le mode de reproduction seulement sexué ($H_s = 0.229$ et $F_{st} = 0.225$) et celles des espèces à dispersion des graines par d'autres facteurs que le vent (Ronfort et *al.*, 2005). Yu et *al.*, (2012) ont trouvé un taux de différenciation génétique élevée entre les populations de *Stipa bungeana*, une Stipeae autogame du Plateau inférieur de Chine.

Les groupes d'individus/populations de *Stipa tenacissima* étudiés dans ce travail ont présenté une diversité intragroupe élevée (75.43 %), engendrant ainsi une structure génétique en mosaïque : certaines populations géographiquement éloignées se sont montrées génétiquement proches, tandis que des populations plus proches montrent une divergence significative, ce qui suggère une adaptation locale. Bauert et *al.* (1998) note que la capacité d'adaptation des espèces végétales aux changements environnementaux à long terme dépend du niveau de leur diversité génétique intrapopulation.

Le flux de gènes est un facteur principal d'homogénéisation des fréquences alléliques entre les populations : plus le flux de gènes entre deux populations est important, plus les populations sont peu différenciées (Hamrik et Loveless, 1989 ; Ronfort et *al.*, 2005). C'est une contrainte, limitant la différenciation entre populations et la mise en place d'adaptations locales (Ronfort et *al.*, 2005). Wright (1951) a souligné que si la valeur estimée du flux génétique (N_m) était supérieure à 1, il y aurait un certain flux génétique parmi les populations; lorsque N_m est inférieur à 1, la dérive génétique est alors un facteur important pour conduire à une différenciation génétique significative parmi les populations. La valeur du flux génétique trouvé dans le présent travail ($N_m = 2,02 > 1$) indique qu'il y a un certain flux génétique entre

les groupes d'individus/populations étudiés de *Stipa tenacissima*. Ce qui montre que le flux génétique a joué un rôle dans l'organisation de la diversité et la structure génétique des populations de *Stipa tenacissima* en Algérie.

Les différentes études attribuent la structure génétique des plantes aux effets combinées de du flux génétique, de la dérive génétique, de mutation (avec une faible incidence), et également la sélection naturelle (Zhao et al., 2006). Principalement due aux variations des températures et des précipitations, a des effets sur le processus d'adaptation locale, au même niveau que le flux de gènes (Liu et al., 2016). En effet, il a été démontré que des gradients climatiques peuvent façonner la structure génétique des populations végétales ; selon le travail réalisé en Jordanie par Hamasha et al. (2012), il a été trouvé que la diversité génétique de trois Stipeae (*S. parviflora*, *S. arabica* et *S. lagascae*) diminue fortement avec les précipitations, tandis qu'elle augmente avec la température dans le cas de *S. capensis*. Il a été également confirmé que les variations de température jouent un rôle important dans la différenciation génétique entre des populations de *S. breviflora* au Mongolie intérieure (Chine) (Zhang et al., 2012), et de *Stipa grandis* du Plateau de Xilin Gol (Chine) (Zhao et al., 2006). Ceci suggère que la différenciation génétique des groupes d'individus/populations de *Stipa tenacissima* en Algérie peut être due à l'effet de l'hétérogénéité climatique, édaphique et géographique caractéristique de la steppe algérienne qui s'étale sur une énorme étendue (Pouget, 1980 ; Djebaili, 1984 ; Le Houerou, 1995 ; Nedjraoui, 2003; Aidoud et al., 2006), en plus des grandes distances géographiques séparant les populations. Hamrick et al. (1992) ont conclu via une étude synthétique sur plusieurs espèces végétales que la variation génétique entre les populations est influencée par la distribution géographique de l'espèce. Les espèces à large distribution, ayant un flux génétique très élevé, montrent des G_{st} très faibles et présentent une diversité intrapopulation plus élevée, contrairement aux espèces à aire de répartition discontinue. Comme elle peut résulter de la fragmentation des habitats sous l'effet des changements globaux conduisant à des processus d'isolement et d'adaptation différentiels des populations sur des périodes évolutives plus ou moins longues. A une échelle de temps plus courte, il existe de plus en plus d'exemples montrant les effets des activités anthropiques sur la fragmentation des habitats et leurs impacts sur la diversité et la structure génétique des espèces végétales dans différents milieux, y compris dans les milieux steppiques (Shan et al., 2006; Leimu et al., 2006 ; Wagner et al., 2012 ; Peng et al., 2015; Zhai et al., 2015). Cela est particulièrement bien illustré chez quelques espèces steppiques dominantes, qui subissent les effets directs d'un habitat dégradé, présentant ainsi des valeurs de différenciation génétiques élevées pour *S. grandis* (G_{st} = 38%, Zhang et al., 2003; G_{st}= 25,8, Zhao et al., 2008), *S.*

krylovii ($G_{st} = 32\%$, Wang et al., 2006) et *Stipa purpurea* ($G_{st} = 0.391$, Liu et al., 2009). Dans le cas des milieux steppiques d'Algérie, qui ont souffert d'importantes destructions et dégradations au cours du siècle dernier du fait principalement du surpâturage et de l'exploitation irrationnelle des ressources (Aidoud et Touffet, 1996 ; Slimani et al., 2010; Aidoud et al., 2011), les résultats de cette étude, même restreinte, permettent déjà de relever une contribution élevée de la diversité intragroupe à la diversité génétique totale de l'alfa (75.43 %). Ceci suggère l'existence d'une grande diversité de populations adaptées à des conditions variées qu'il faudrait donc inventorier et protéger en vue de conserver et valoriser le plus largement possible le potentiel des ressources en alfa.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de présent travail est de cerner les processus évolutifs de *Stipa tenacissima* et les steppes où elle domine en Algérie, en visant à évaluer et à comprendre l'impact de dégradation sur la biodiversité des steppes d'alfa, et sur sa diversité et sa structure génétique. Par le biais de deux complémentaires :

L'étude de l'évolution de la composition floristique des communautés végétales des steppes d'alfa dans le Sud-Algérois, via une approche diachronique sur la base de deux échantillonnages de la végétation à une cinquantaine d'années d'intervalle.

L'évaluation de la diversité et structure génétique de *Stipa tenacissima*. Avec des échantillons distribués le long de la région steppique algérienne.

L'analyse des données de première partie de travail a montré une dynamique régressive de la végétation des steppes d'alfa, qui s'est traduite par :

- Une baisse de la richesse floristique. En effet, la richesse floristique globale relevée durant l'échantillonnage des années 1960 abaissée, en une cinquantaine d'années, de 66%. Il est révélé une grande dispersion des relevés de 1960 par rapport aux relevés de 2017, ce qui indique une végétation devenue moins diversifiée et plus banalisée.
- Une diminution de la contribution de l'espèce dominante (*Stipa tenacissima*) au tapis végétal. Cela a entraîné la disparition de nombreuses espèces dont la présence est liée à celle de l'alfa telle que *Sedum sediforme*, *Dactylis glomerata*, *Xeranthemum inapertum*, *Centaurea incana*. En d'autre part, elle a favorisé l'apparition et la dominance progressive d'espèces mieux adaptées, de moindre intérêt en général, des thérophytes en majorité et des chameaphytes.
- Changement de la composition de couvert végétal. La végétation, y compris celle des steppes arbustives ou de matorrals semble avoir beaucoup changé et subi une dynamique qui s'apparente à une succession végétale régressive. Ceci s'est traduit par un changement et une baisse de couvert végétal, allant des espèces caractéristiques des steppes d'alfa à d'autres indicatrices des steppes d'alfa dégradées à base de *Lygeum spartum* et *Noaea mucronata*.

Les résultats obtenus de l'évaluation de la diversité et la structure génétique de *Stipa tenacissima* en Algérie, ont montré :

- L'apport des marqueurs moléculaires, en particulier PCR-ISSR, dans l'évaluation de la diversité et la structure génétique des espèces végétales.
- Une diversification génétique observable entre individus /populations d'alfa échantillonnés dans des conditions éco-géographiques très diverses couvrant une large étendue de la steppe
- Une structuration génétique globale des individus/populations de *Stipa tenacissima* plus ou moins bien marquée en relation avec leurs origines éco-géographiques. Ainsi, globalement 4 pools géographiques sont distingués, regroupant chacun des individus originaires principalement de stations de la région Est de la steppe, de la région Centre-Sud (B) et Centre-Nord, et de la région Ouest.
- Un taux élevé de diversité génétique entre les groupes régionaux d'alfa, selon un gradient Est-Ouest, et un gradient Nord-Sud en particulier pour la région centre. La région Ouest forme le pool génétique homogène le plus regroupé, à l'opposé de la région de l'Est ayant un ensemble nettement plus diversifié.
- Un degré relativement moyenne a été trouvé de différenciation génétique, indique que la part de diversité génétique intragroupe est la plus importante, et un niveau plus ou moins élevé de flux génétique. Ainsi, une structure génétique en mosaïque est engendrée : certaines populations éloignées se sont regroupées génétiquement, tandis que des populations plus proches divergent de manière significative, ce qui suggère une adaptation locale.
- L'intervention de différents facteurs dans l'organisation de sa structure génétique, en plus de flux génique : la sélection naturelle; due à l'effet de l'hétérogénéité climatique, édaphique et géographique caractéristique de la steppe algérienne qui s'étale sur un énorme étendu, en plus des grandes distances géographiques écartant les groupes d'individus/populations étudiés. Comme elle pourrait être le résultat de l'effet de la fragmentation de l'habitat, la conséquence directe de destruction et dégradation de milieu steppique en Algérie causée principalement par les activités humaines, en particulier le pâturage abusive et irrationnel.

Le présent travail, également aux précédents travaux, a montré que l'état actuel de la biodiversité des steppes algériennes et particulièrement des steppes d'alfa, est le résultat de la conjonction de pratiques humaines irrationnelles se traduisant par une surexploitation des ressources végétales, surtout le surpâturage imposé par un effectif ovin en croissance continue et une réduction des surface des parcours pastoraux, accompagné par une pression démographique en forte progression. Celle-ci est aggravée par les conditions naturelles dont la

fragilité des sols et du couvert végétal, en particulier des graminées vivaces, et un climat contraignant, aride et irrégulier avec des sécheresses récurrentes de durée et d'intensité variables.

La régression de *Stipa tenacissima* peut avoir des graves conséquences sur l'équilibre écologique et socioéconomique de l'écosystème tout entier après dégradation du sol et destruction de la communauté végétale typique de la steppe d'alfa, ce qui aboutit à long terme à la désertification qui est le stade le plus avancé de dégradation. Une situation alarmante qui réclame des interventions immédiates et efficaces de restauration et de réhabilitation de la steppe algérienne. En effet, depuis quelques années, l'HCDS, l'organisme qui les décideurs en Algérie en leur confiant la gestion d'une grande partie des parcours steppiques, a opté pour la mise en défens pour une restauration passive, qui demeure la seule possibilité pour les grandes étendues steppiques en voie de désertification.

Ce programme ou autres mesures doivent être basées sur les connaissances existantes, mais compte tenu des connaissances encore insuffisantes et des incertitudes, et afin d'enrichir les données acquises et de mieux comprendre certaines problématiques qui se posent en obstacle au développement de la steppe il est primordiale de renforcer la surveillance à long terme des écosystèmes, et d'approfondir les travaux sur la dynamique, les règles d'assemblage des communautés végétales, accompagnés encore par des projets ciblés de recherche en écologie de la restauration, en ingénierie écologique, et l'introduction des réactions et des impacts sociétaux.

Des travaux également basés sur les marqueurs biochimiques et moléculaires, qui peuvent ouvrir de nouveaux traits de préservation et de restauration de *Stipa tenacissima* et d'amélioration de l'écosystème où cette ressource naturelle domine, et d'orienter de plus ces actions. Mais dans le but de rentabiliser d'avantage ces études, il est primordiale d'élargir les stations de collecte des échantillons d'alfa à travers toutes les régions de sa répartition en Algérie avec une récolte exhaustive de données utiles telles que les données climatiques et édaphiques, mettre en œuvre dans l'étude de la variabilité génétique d'autres marqueurs biochimiques et moléculaires. Comparer les résultats d'analyse génétique de l'alfa en Algérie à ceux des autres pays méditerranéens afin de construire un arbre phylogénétique global permettant d'élucider les relations généalogiques et de découvrir les processus évolutifs de cette espèce.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdelkrim H. et Benstiti F., 1988.** Contribution à la connaissance autoécologique, caryologique, et syntaxonomique de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Ann. Inst. Nat. Agro. El-Harrach, vol. 12 (1.T.2) : 405-418.
- Abdelkrim H., 1984.** Approche phytoécologique et phytosociologique de quelques nappes alfatières de la région de Djelfa et Tébessa. Mémoire de Magister. Inst. Nat. Agr. El-Harrach, Alger, 120p.
- ACEE (Agence Canadienne D'évaluation Environnementale), 2009.** Mesure de la biodiversité dans les évaluations environnementales en milieu marin : www.ceaa.gc.ca/default.asp?lang=Fr&n=49503FA1-1
- Achour H., 1983.** Etude phytoécologique des formations à alfa (*Stipa tenacissima* L.) de sud Oranais, Wilaya de Saida. Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Scien. Techno. Houari Boumediène, Alger, 216p.
- Achour-Kadi Hanifi H. et Loisel R., 1997.** Caractéristiques édaphiques des formations à *Stipa tenacissima* L. de l'Algérie en relation avec la dynamique de la végétation. Ecologia mediterranea, vol. 23 : 33-43.
- Aidoud A., 1983.** Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud Oranais. Phytomasse, Productivité Primaire et applications pastorales. Thèse 3^{ème} cycle. Univ. Sci. Tech. H. Boumediène, Alger, 245p.
- Aidoud A., 1989a.** Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques pâturés. Hautes Plaines Algéro-Oranaises (Algérie). Thèse doct. , Univ. Sci. Tech. H. Boumediène, Alger, 240p.
- Aidoud A., 1989b.** Les steppes à alfa : ressource en perdition. Ann. Inst. Natio. Agro. El-Harrach, vol. 13 (1): 80-90.
- Aidoud A. et Aidoud-Lounis F., 1990.** La végétation steppique des hautes plaines : principaux indicateurs de dégradation et de désertification. Techniques et sciences, vol. 3 : 26-33.
- Aidoud A., 1992.** Les parcours à alfa (*Stipa tenacissima* L.) des Hautes Plaines algériennes: Variations interannuelles et productivité. In: Actes de l'IV^{ème} Congrès International des Terres de parcours (Montpellier, France, 1991) : 198-199.
- Aidoud A. et Nedjraoui D., 1992.** The steppes of alfa (*Stipa tenacissima* L) and their utilisation by sheeps. In Plant animal interactions in mediterranean-type ecosystems. MEDECOS VI, Greece: 62-67.

- Aidoud A., 1994.** Pâturage et désertification des steppes arides en Algérie, cas de la steppe d'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Paralelo, vol. 37 (16) : 33- 42.
- Aidoud A. et Touffet J., 1996.** La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. Sécheresse, vol. 7 : 187-93.
- Aidoud A., 1998.** Fonctionnement des écosystèmes Méditerranéens. Conférences du réseau MESOE (Méditerranée Enseignement Secondaire Observation et Environnement), 50 p.
- Aidoud A., Le Floch E. et Le Houerou H.N., 2006.** Les steppes arides du nord de l'Afrique. Sécheresse, vol. 17 (1-2): 19-30.
- Aidoud, A., Slimani, H. et Roze, F., 2011.** La surveillance à long terme des écosystèmes arides méditerranéens : quels enseignements pour la restauration ? Cas d'une steppe d'Alfa (*Stipa tenacissima* L.) en Algérie. Ecologia Mediterranea, vol. 37: 17-32.
- Aidoud F., 1990.** Analyse syntaxonomique des groupements steppiques du complexe *Lygeum spartum*–*Artemisia herba-alba*–*Stipa tenacissima* du Sud-Ouest algérien. Documents phytosociologiques, vol. 12: 103-121.
- Aidoud-Lounis F., 1984.** Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux Sud-Oranais. Etude écologique et syntaxonomique. Thèse 3ème cycle Univ. Sci. Tech. H. Boumediène, Alger, 256p.
- Aidoud-Lounis F., 1997.** Le complexe alfa-armoïse-sparte (*Stipa tenacissima* L., *Artemisia herba-alba* Asso, *Lygeum spartum* L.) des steppes arides d'Algérie : structure et dynamique des communautés végétales. Thèse de Doct. Univ. Aix-Marseille, Marseille, 198 p.
- Akchiche O. et Messaoud B. Kh., 2007.** Esparto grass (*Stipa tenacissima* L.), raw material of papermaking. First part. Chimie des matières premières végétales, vol. 4: 25-30.
- Alados C. L., Gotor P. , Ballester P., Navas D., Escos J. M., Navarro T. And Cabezudo B., 2006.** Association between competition and facilitation processes and vegetation spatial patterns in alpha steppes. *Biological Journal of the Linnean Society*, vol.87: 103–113.
- Al-Turki T.A. and Basahi M.A., 2015.** Assessment of ISSR based molecular genetic diversity of Hassawi rice in Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, vol. 22: 591–599.
- Arif I.A., Khan H. A., Bahkali A.H., Al Homaidan A. A., Al Farhan A.H., Al Sadoon M. and Shobrak M., 2011.** DNA marker technology for wildlife conservation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, vol. 18: 219-225.
- Arour A., 2001.** Variation diachronique saisonnière de la dynamique de végétation dans une zone pré saharienne (Cas de la région de Messâad W. Djelfa). Mémoire d'Ingénieria (Agropastoralisme), Univ. Djelfa, 98p.

- Ayres D.R. and Strong D.R., 2001.** Origin and genetic diversity of *Spartina anglica* (poaceae) using nuclear DNA markers. American Journal of Botany, vol. 88 (10): 1863–1867.
- Barbero M., Bonin G., Loisel R., Quézel P., 1990.** Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the mediterranean basin. Vegetatio, vol. 87 (2): 151–173.
- Bauert M.R., Ka L.M., Baltisberger M., Edwards P.J., 1998.** No genetic variation within isolated relict populations of *Saxifraga cernua* in the Alps using RAPD markers. Mol. Ecol., vol. 7: 1519-1527.
- Bédrani S., 1994.** La place des zones steppiques dans la politique agricole algérienne. In Paralelo 37°, Revista de Estudios Geographicos, vol. 16.
- Belkhir S., Koubaa A., Khadhri A., Ksontini M., Nadji H., Smiti S. et Stevanovic T., 2013.** Seasonal effect on the chemical composition of the leaves of *Stipa tenacissima* L. and implications for pulp properties. Industrial Crops and Products, vol. 44: 56-61.
- Benabadji N. et Bouazza M., 2000.** Quelques Modifications Climatiques Intervenues dans le Sud-Ouest de l’Oranie (Algérie Occidentale) .Rev. Energ. Ren., vol. 3: 117-125.
- Benabdeli K., 1983.** Mise au point d’une méthode d’appréciation de l’action anthropozoogène sur la végétation. Thèse doct. Univ. D’Aix-Marseille III, Marseille, 182 p.
- Bencherif S., 2011.** L’élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne : Évolution et possibilités de développement. Thèse doct. Institut des sciences et technologies, Paris, 294p.
- Benchrik M. et Lakhdari S., 2002.** Contribution à l’étude de l’entomofaune de la nappe alfatière de la région de Zaafrane (W. Djelfa). Mémoire Magist. Univ. Djelfa, 89p.
- Bensaid, A., 2006.** SIG et télédétection pour l’étude de l’ensablement dans une zone aride : Le cas de la wilaya de Naâma (Algérie).Thèse Doct. Univ. Es-Senia, Oran, 299p.
- Bensettiti, 1985.** Etude caryosystématique de *Stipa tenacissima* L. dans les régions de Djelfa, Bou-Saada et Batna. Ann. I.N.A., vol. 10 (2) : 20 - 29.
- Bensouiah R., 2003.** La lutte contre la désertification dans la steppe algérienne : les raisons de l’échec de la politique environnementale. Du Nord au Sud : le recours à l’environnement, le retour des paysans. Communication présentée aux 15^{èmes} Journées de la Société d’Ecologie Humaine, Marseille, 21p.
- Blandin P., 1986.** Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. Bulletin d’Ecologie, vol. 17(4) : 215-307.
- Blondel J., 2006.** Introduction à l’écologie : www.agentdeterrain.espaces-naturel.fr/node/12
- Borrego C. V., Carrillo A. M., Moreno Y. S. et González L. J., 2008.** Herbario de técnicas botánicas. BioScripts : http://www.bioscripts.net/herbarios/h_HTB_10/plg_4029.html.

- Bostein D., White R.L., Skolnic M. and Davis R.W., 1980.** Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphism. *Am. J. Hum. Genet.*, vol.32: 314-31.
- Bouazza M., 1991** - Etude phytoécologique de la steppe à *Stipa tenacissima* L., au Sud de Sebdou (Oranie - Algérie). Thèse Doct. Sciences Univ. Aix-Marseille III, Marseille, 117 p.
- Boudy P., 1948.** Economie forestière de l'Afrique du Nord. Tome 1 : milieu physique et milieu humain. Ed. Larose, Paris, 686 p.
- Boudy P., 1952.** Guide de forestier en Afrique du Nord. Ed. Librairie Agricole, Paris, 505p.
- Boughani A., 2014.** Contribution à l'étude phytogéographique des steppes algériennes (Biodiversité et endémisme). Thèse Doct. Univ H. Boumediène, Alger, 292p.
- Bourahla A. et Guittoneau G., 1978.** Nouvelles possibilités de régénération des nappes alfatières en liaison avec la lutte contre la désertification. *Bulletin de l'Institut d'Ecologie Appliquée d'Orléans*, vol. 1 : 19-40.
- Boussaid M., Beneto C., Kaid-Harche M., Naranjo T. and Zedek M., 2010.** Genetic Variation in Natural Populations of *Stipa tenacissima* from Algeria. *Biochem. Genet.*, vol. 48: 857-872.
- Boussaid M., 2013.** Diversité des populations naturelles de *Stipa tenacissima* L. en Algérie : approches Phénotypique, Caryologique et Moléculaire. Thèse Doct. Univ. Mohd Boudiaf, Oran, 146p.
- Bretting PK, Widrlechner MP, 1995.** Genetic markers and plant genetic resource management. *In* : Janick J, ed. *Plant Breeding Reviews*. New York: John Wiley & Sons Inc, vol. 13: 11 -86.
- Burrollet P.A., 1924.** De la diversité des aptitudes sociologiques chez *Macrochloa tenacissima* (L.). *Bulletin de la Société Botanique de France*, pp. 649-650.
- Buttigieg P.L. et Ramette A., 2014.** Guide d'analyse statistique en écologie microbienne: une analyse axée sur la communauté et vivante des analyses de données multivariées. *FEMS Microbiol. Ecol.*, vol. 90: 543-550.
- Carvalho M.F., Albuquerque junior C.L., Guidolin A.F. and Farias F.L., 2009.** Application of multivariate analysis and assessments of dominant genetic divergence using molecular markers in medicinal plants. *Rev. bras. plantas med.*, vol. 11(3) : <http://dx.doi.org/10.1590/S151605722009000300017>.
- Celles J.C., 1975.** Contribution à l'étude de la végétation des confins saharo-constantinois (Algérie). Thèse Doct. Univ. Nice, Nice, 366 p.

- Cerdà A., 1997.** The effect of patchy distribution of *Stipa tenacissima* on runoff and erosion. *Journal of arid environments*, vol. 36: 37-51.
- Chessel D., 2008.** Dissemblance et diversité. Notes de cours cssb9. M2 Ecologie, Evolution, Biométrie, UE Description Statistique des Structures Biologiques, 36p.
- Clarke K.R., 1993.** Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Austral ecology*, vol. 18 (1): 117–143.
- Cosson E., 1879.** Le Règne Végétal En Algérie: Considérations Générales Sur L'Algérie. Ed. Hachette Livre, Paris, 90 p.
- Costello M.J., Emblow C.S., White R.J., 2001.** European register of marine species : a checklist of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification. Ed. Paris : Muséum national d'histoire naturelle.
- Cousins, S.H., 1991.** Species diversity measurement: choosing the right index. *Trends Ecol.* vol. 6/6 : 190-192.
- Daget Ph. et Poissonnet J., 1971.** Analyse phytologique des prairies, critères d'application. *Ann. Agron.*, vol. 22 (1) : 5-41.
- Daget Ph. et Poissonnet J., 2010.** Prairies et pâturages : méthodes d'étude de terrain et interprétations. Avec la collaboration de Johann Huguenin. CIRAD, 955 p.
- Daget Ph., 1980.** Sur les types biologiques botaniques en tant que stratégie adaptative (cas des thérophytes). *In* : Barbault R., Blandin P., Meyer J. Actes du colloque d'écologie théorique : Recherches d'écologie théorique : les stratégies adaptatives. Paris.
- Dajoz R., 2003.** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 615p.
- Dallel M., 2012.** Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (*Stipa Tenacissima* L.) : Caractérisation physico-chimique de la fibre au fil. Thèse Doct. Univ. Haute Alsace, 153p.
- Direction des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information (DSA), 2003.** Recensement général de l'agriculture, Rapport général des résultats définitifs, 125p.
- Djebaili S., 1978.** Recherche phytosociologique et écologiques sur la végétation des Hautes Plaines steppiques et de l'Atlas Saharien Algérien. Thèse Doct. Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, 229 p.
- Djebaili S., 1984.** Steppe algérienne, phytosociologie et écologie. Office des publications universitaires (OPU), Alger, 182 p.
- Djebaili S., 1988.** Connaissances actuelles sur l'alfa (*Stipa tenacissima* L.): autoécologie, phénologie, productivité et valeur nutritive. *Biocénoses*, vol. 3 (1 et 2): 43–52.
- Djebaili S., Djellouli Y. et Daget P., 1989.** Les steppes pâturées des Hauts Plateaux algériens. *Fourrages*, vol. 120 : 393-400.

- Du Bus De Warnaffe G., 2002.** Impact des systèmes sylvicoles sur la biodiversité : une approche comparative en Ardenne- Réaction de la flore vasculaire, des coléoptères carabidés et de l'avifaune chanteuse à la structure de l'habitat forestier, à plusieurs échelles spatiales. Thèse Doct. Univ. Catholique de Louvain, pp12-20.
- ENVEROPEA, 2009.** Enrayer la perte de la biodiversité : politiques, financements et projets exemplaires : www.enviropea.com/attachments/003_Brochure_Biodiversite_w.pdf
- Excoffier L., Smouse P.E., and Quattro J.M., 1992.** Analysis of Molecular Variance Inferred from Metric Distances among DNA Haplotypes, Application to Human Mitochondrial DNA Restriction Data, *Genetics*, vol. 131:479- 491.
- Fleury, 2000.** La Génétique des Populations : Définition, Objectifs et Applications. Université de Lyon 1: <http://gen-net-pop.univ-lyon1.fr/cours/pdf>
- Floret C. et Pontanier R., 1982.** L'aridité en Tunisie présaharienne. Travaux et Documents d'Orstom, Paris. 544 p.
- Freeland J.R., 2005.** Molecular Ecology. John Wiley & Sons Chichester. *In* : ecological engineering 30 (2007) : 297-289.
- Frutos A., Navarro T., Pueyo Y., Alados C. L., 2015.** Inferring resilience to fragmentation-induced changes in plant communities in a semi-arid Mediterranean. PLoS ONE, vol. 10 (3): 18 p.
- Ganopoulos I., Kalivas A., Kavroulakis N., Xanthopoulou A., Mastrogianni A., Koubouris G. and Madesis P., 2015.** Genetic diversity of Barbary fig (*Opuntia ficus-indica*) collection in Greece with ISSR molecular markers. *Plant Gene*, vol. 2: 29-33.
- Garcia-Fayos P. et Gasque M., 2002.** Consequences of a severe drought on spatial patterns of woody plants in a two-phase mosaic steppe of *Stipa tenacissima* L. *Journal of Arid Environments*, vol. 52: 199-208.
- Gasque M. et García-Fayos P., 2004.** Interaction between *Stipa tenacissima* and *Pinus halepensis*: consequences for reforestation and the dynamics of grass steppes in semi-arid Mediterranean areas. *Forest Ecology and Management*, vol. 189: 251–261.
- Geleta M. and Bryngelsson T., 2009.** Inter simple sequence repeat (ISSR) based analysis of genetic diversity of *Lobelia rhynchopetalum* (Campanulaceae). *Hereditas*, vol. 146: 122–130.
- Ghennou S., 2014.** Contribution à une étude dynamique de *Stipa tenacissima* L. dans le sud-ouest de la région de Tlemcen. Mémoire Mag. Univ. Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. 178p.
- Ghiloufi W., Quéro pérez J.L., García-Gómez M., Chaieb M., 2015.** Assessment of species diversity and state of *Stipa tenacissima* steppes. *Turk J Bot.*, vol. 39: 227-237.

Glèlè Kakaï R., Salako V. K., Padonou E. A. et Lykke A. M., 2016. Méthodes statistiques multivariées utilisées en écologie. Annales des Sciences Agronomiques, vol. 20 : 139-157.

Gounot M., 1969. Méthodes d'étude de la végétation, Lib. Masson, Paris, 314 p.

Gros-Desormeaux J.R., 2008. Biodiversité dans un espace insulaire le cas de l'avifaune à la Martinique. Thèse Doct. Univ. des Antilles et de la Guyane, 368p.

Guasmi F., Elfalleh W., Hannachi H., Fères KH., Touil L., Marzougui N., Triki T., et Ferchichi A., 2012. The Use of ISSR and RAPD Markers for Genetic Diversity among South Tunisian Barley. International Scholarly Research Network ISRN Agronomy, 10p.

Gustafson, D.J., Gibson, D.J., and Nickrent, D.L., 1999. Random Amplified Polymorphic DNA Variation among Remnant Big Bluestem (*Andropogon gerardii* Vitman) Populations from Arkansas' Grand Prairie, Mol. Ecol., vol. 8: 1693-1701.

H.C.D.S. (Haut-Commissariat au Développement de la Steppe), 2001. Problématique des zones steppiques et perspectives de développement Rap. Synth, 10 p.

Hadeid M., 2008. Approche anthropique du phénomène de désertification dans un espace steppique : le cas des hautes plaines occidentales algériennes. *VertigO (la revue électronique en sciences de l'environnement)*, vol. 8(1) : <http://vertigo.revues.org/index5368.html>

Hamasha H. R., Schmidt-Lebuhn A. N, Durka W., Schleuning M. and Hensen I., 2012. Bioclimatic regions influence genetic structure of four Jordanian *Stipa* species. Plant biology, 10p.

Hamrick J. L. and Godt M. J. W. 1989. Allozyme diversity in plant species: 43–63. In: Brown, A. H. D., Clegg, M. T., Kahler, A. L. and Weir, B. S. (Eds) Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources. Sinauer Press, Sunderland, Mass.

Hamrick J. L., Godt M.J.W. and S.L. Sherman-Broyles, 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. New forests, vol. 6 (1-4): 95-124.

Handaji N., Benyahia H., Gaboun F. et Ibriz M., 2012. Caractérisation de la diversité génétique du germoplasme de mandarines par les ISSR. Journal of Applied Biosciences, vol. 57: 4186 - 4197.

Haouari A. et Ferchichi A., 2004. Utilisation des marqueurs ISSR pour l'étude du polymorphisme génétique d'*Artemisia Herba-Alba* in Ferchichi A. et Ferchichi A. Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens. Zaragoza : CIHEAM. Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 62 :115- 119.

Harche M., 1978. Contribution à l'étude de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) en Algérie: Germination, croissance des feuilles et différenciation des fibres. Thèse Doct. Univ. de Lille, 131 p.

- Harche, M., 1985.** Différenciation et structure pariétale des fibres de l'alfa (*Stipa tenacissima*). Thèse Doct. Univ. P et M Curie, Paris., 88 p.
- Hasnaoui O. et Bouazza T., 2015.** Indicateurs de dégradation des bio-ressources naturelles de l'Algérie occidentale: Cas de la steppe de la wilaya de Saida. Algerian journal of arid environment, vol. 5(1): 63-75.
- Hellal B., Ayad N., Maatoug M., Boularas M., 2007.** Influence du « fatras » sur la biomasse foliaire de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) de la steppe du Sud oranais (Algérie occidentale). Sécheresse, vol. 18 (1) : 65-71.
- Henri J.P. et Gouyon P.H., 2008.** Précis de génétique des populations. Ed. Dunod, Paris, 200p.
- Henry R.J., 2012.** Molecular Markers in Plants. Ed. John Wiley & Sons, Hoboken NJ, United States, 196 p.
- Hensen I., Kilian C., Wagner V., Durka W., Pusch J. and Wesche K., 2009.** Low genetic variability and strong differentiation among isolated populations of the rare steppe grass *Stipa capillata* L. in Central Europe. Plant biology, vol. 12:526–536.
- Hirche A., Salamani M., Abdellaoui A., Benhouhou S., Valderrama J. M., 2010.** Landscape changes of desertification in arid areas: the case of south-west Algeria. Environ. Monit. Assess., vol.179: 403-420.
- Hulliburton R., 2004.** Introduction to population genetics. Ed. Pearson/Prentice Hall, Michigan, 650p.
- Jacobs S., Bayer R., Everett J., Arriaga M., Barkworth M., Sabin-Badereau A., Torres A., Vázquez F., and Bagnall N., 2007.** Systematics of the Tribe Stipeae (Gramineae) Using Molecular Data. Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany, vol. 23 (1): 349-361.
- Jeddi K. et Chaieb M., 2009.** The effect of *Stipa tenacissima* tussocks on some soil surface properties under arid bioclimate in the southern Tunisia, Acta Botanica Gallica: Botany Letters, vol. 156 (2): 173-181.
- Jeddi K. et Chaieb M., 2014.** The effect of *Stipa tenacissima* tussocks on some soil surface properties under arid bioclimate in the southern Tunisia. Acta Botanica Gallica: Botany Letters, 156 (2):173-181.
- Jing Z., Cheng J., Chen A., 2013.** Assessment of vegetative ecological characteristics and the succession process during three decades of grazing exclusion in a continental steppe grassland. Ecological Engineering, vol. 57: 162-169.
- Kaabèche M., 1990.** Les groupements végétaux de la Région de Bou-Saada. Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. Thèse de Doct. Univ. Paris-Sud, 134p.

- Kaabéche M., 2000.** Guide des habitats arides et sahariens : Typologie phytosociologique de la végétation d'Algérie, 59p.
- Kadi Hanifi H., 1998.** L'alfa en Algérie: Syntaxonomie, relation milieu: végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Thèse Doct. Univ H. Boumediéne, Alger, 265 p.
- Kadi-Hanifi H., Sadji A. and Amghar F., 2005.** The impact of anthropic action and aridity on the pastoral production in the *Stipa tenacissima* L. steppes of Algeria. Options Méditerranéennes, Séries A, vol. 67 : 61- 66.
- Khaldoun A., 1995.** Les mutations récentes de la région steppique d'El Aricha. Réseau Parcours : 59-54.
- Khelil M.A., 1995.** Le peuplement entomologique des steppes à alfa (*Stipa tenacissima* L.). Office des Publications Universitaires, Alger, 42 p.
- Kohli E., 2005.** Journal 20 : Quelle est la valeur du recensement de la biodiversité : www.biodiversitymonitoring.ch/francais/.../nachrichten.php
- Konate I., 2007.** Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) et des Bactéries Endophytes qui lui sont Associées. Thèse de Doct. Univ. Mohamed V-Agdal, faculté des sciences Rabat, 196 p.
- Konieczny A. and Ausubel F.M., 1993.** A procedure for mapping *Arabidopsis* mutations using codominant ecotype-specific PCR-based markers. Plant J., vol.4 : 403-10.
- Kremer A., 1994.** Diversité génétique et variabilité des caractères phénotypiques chez les arbres forestiers. Genet. Sel. Evol., vol. 26 (Suppl. 1): 105-123.
- Labadie L., 1979.** Etude caryosystématique de la flore de l'Algérie. Nat. Monspel. Bot., vol. 32 :1-11.
- Lacoste A. et Salanon R., 1999.** Eléments de biogéographie et d'écologie. Ed. Nathan, Paris, 318p.
- Lahmar-Zemiti B. et Aidoud A., 2016.** Suivi à long-terme dans la steppe d'armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso.) du sud-oranais (Algérie): Facteurs et indicateurs de changements. Revue d'Ecologie (Terre et Vie), vol. 71 (2): 168-177.
- Le Floc'h E., 2008.** Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation, Contribution technique n°1, ROSELT/OSS, 176 p.
- Le Duc J.P., 2005.** Biodiversité, sciences et gouvernance : actes de la conférence internationale. Ed. Paris : Museum national d'Histoire naturelle. 316 p.
- Le Houerou H. N., 1969.** La végétation de la Tunisie steppique. Ann. Inst. Natl. Rech. Agron. Tunis, vol. 42 (5): 624p.

- Le Houerou H. N., Claudin J. et Pouget M., 1977.** Etude bioclimatique des steppes Algériennes. Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord Alger. t. 68, fasc. J et 4: 33-74.
- Le Houerou H.N., 1985.** La régénération des steppes algériennes. Rapport de mission, de consultation et d'évaluation. Alger : ministère de l'Agriculture, 19 p.
- Le Houerou H.N., 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes aride du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. Options méditerranéennes, sér. B : recherches et études : 1-396.
- Le Houerou H.N., 1996.** La régression de *Stipa tenacissima* L. graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. Sécheresse, vol. 7: 87-93.
- Le Houérou H.N., 2001.** Biogeography of the arid steppe land north of the Sahara. J. Arid. Environ., vol. 48:103–128.
- Le Part J., 1997.** De la diversité spécifique à la biodiversité, les raisons d'un succès. Forêt Méditerranéenne, vol. 18 (1) : 4-10.
- Lefort-Buson M., Hebert Y., Damerval C., 1988.** Les outils d'évaluation de la diversité génétique et phénotypique. Agronomie, EDP Sciences, vol. 8 (3) :173-178.
- Leimu R., Mutikainen P., Koricheva J. and Fischer M., 2006.** How general are positive relationships between plant population size, fitness and genetic variation?, vol; 94 (5): 942-952.
- Lévêque C. et Mounolou J.C., 2001.** Biodiversité. Ed. Dunod, Paris, 248 p.
- Lévêque C. et Mounolou J.C., 2008.** Biodiversité : dynamique biologique et conservation. Ed. Dunod, Paris, 273p.
- Liu W., Zhao Y., You J., Qi D., Zhou Y., Chen J. and Song Z., 2016.** Morphological and Genetic Variation along a North-to-South Transect in *Stipa purpurea*, a Dominant Grass on the Qinghai-Tibetan Plateau: Implications for Response to Climate Change. PLoS One, vol. 11 (8): <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0161972>
- Liu W.S., Dong M., Song Z.P. and Wei W., 2009.** Genetic diversity pattern of *Stipa purpurea* populations in the hinterland of Qinghai–Tibet Plateau. Ann. Appl. Biol., vol. 154: 57-65.
- Lunardi J., 2011.** Biochimie des acides nucléiques et biochimie de l'information génétique. Université Joseph Fourier de Grenoble.
- Macherey-Nagel, 2014.** Genomic DNA from plant. User manual NucleoSpin® Plant II NucleoSpin® Plant II Midi NucleoSpin® Plant II Maxi. Rev. 09. Macherey-Nagel, 36 p.
- Maestre F. T. and Escudero A., 2009.** Is the patch size distribution of vegetation a suitable indicator of desertification processes?. Ecology, vol. 90 (7) : 1729–1735.

- Maestre F., Bautista S. and Cortina J., 2003.** Positive, negative, and net effects in grass shrub interactions in mediterranean semiarid grasslands. *Ecology*, vol. 84 (12) :3186–3197.
- Maire R., 1926.** Contribution à l'étude de la flore de l'Afrique du Nord. Fasc. 10. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, vol. 17 : 104- 126.
- Maire R., 1953.** Flore de l'Afrique du Nord. Tome 2, (Gramineae). Le Chevallier édit., Paris, 374 p.
- Marage D., 2009.** Mesurer la biodiversité : Concepts, outils et problèmes rencontrés : www.chaire-eco-conception.org/doc1conf2.pdf
- Mathieu A., 1891.** Les hauts-plateaux oranais, rapport de mission. Ed. Hachette BNF, Paris, 106 p.
- McNeely J. A., Miller K. R., Reid R. W., Mittermeier R. A. et Werner T. B., 1990.** Conserving the world's biological diversity. Ed. World Bank. Washington, DC, Etats-Unis et UICN, Gland, Suisse.
- Mehdadi Z., Benaouda Z., Belbraouet S., Benhassaini H., Hamel A. et Benali M., 2006.** Évolution saisonnière de la composition foliaire de *Stipa tenacissima* L. en lipides totaux et en acides gras. *Sécheresse*, vol. 17 (4) : 493-498.
- Mehdadi Z., Benaouda Z., Latreche A., i Benhassaini H. et Belbraouet S., 2008.** Évolution saisonnière de la composition foliaire de *Stipa tenacissima* L. en éléments minéraux et en fibres pariétales. *Acta Botanica Gallica*, vol. 155 (3) : 435-445
- Melzi S., 1993.** Evolution de la végétation et du milieu dans la région présaharienne des steppes algériennes. *Sécheresse*, vol. 4: 113-116.
- Mijangos J. L., Pacioni C., Spencer P.B.S. et Craig M. D., 2015.** Contribution de la génétique à la restauration écologique. *Écologie moléculaire*, vol. 24 (1): 22-37.
- Mohammadi S.A. et Prasanna B.M., 2003.** Analyse de la diversité génétique des plantes cultivées - outils statistiques et des considérations Salient. *Crop Science*, vol. 43 (4):1235-1248.
- Moulay A., Benabdeli K. et Morsli A., 2011.** Contribution a l'identification des principaux facteurs de dégradation des steppes à *Stipa tenacissima* du sud-ouest Algérien. *Mediterranea*, vol. II (22) : 149-188.
- Moulay, A., et Benabdeli, K., 2011.** Considérations sur la dynamique de la steppe à alfa dans le sud-ouest oranais. Journées scientifiques de l'INRF, Ain Sekhouna, 7 p.
- Nedjimi B. et Guit B., 2012.** Les steppes algériennes: causes de déséquilibre. *Algerian journal of arid environment*, vol. 2 (2): 50-61.
- Nedjimi B. et Homida M., 2006.** Problématique des zones steppiques Algériennes et perspectives d'avenir. *Revue de chercheur*, vol. 4 : 13-19.

- Nedjraoui D. et Bedrani S., 2008.** La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *Vertigo* - la revue électronique en sciences de l'environnement, vol.8 (1) : <http://vertigo.revues.org/5375>.
- Nedjraoui D., 2002.** Les ressources pastorales en Algérie. FAO : www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/Algeria/Algerie.htm.
- Nedjraoui D., 2004.** Evaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation. In : Ferchichi A. (comp.), Ferchichi A. (collab.). Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens. Zaragoza, CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 62: 239 -243.
- Nedjraoui D., 1990.** Adaptation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) aux conditions situationnelles: contribution à l'étude du fonctionnement de l'écosystème steppique. Thèse Doct. Univ H. Boumediène, Alger, 133 p.
- Nedjraoui D., 2003.** Le profil fourrager de l'Algérie. FAO, 30p.
- Nedjraoui D., Hirche A., Boughani A., Salamani M., Bouzenoune A., Hourizi R., Omari L. et Slimani H., 2016.** Surveillance à long terme des écosystèmes steppiques et suivi de la désertification. Cas de la steppe du Sud-Ouest. *Biocénose*, vol. 2 : 5-21.
- Nei M., 1973.** Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, vol. 70:3321– 3323.
- Nei M., 1978.** Estimation of Average Heterozygosity and Genetic Distance from a Small Number of Individuals, *Genetics*, vol. 89: 583-590.
- Nei M., 1987.** *Molecular Evolutionary Genetics*. Columbia University Press, New York, In: *Journal of Heredity*, vol. 79 (2): 139 p.
- Noss, R.F., 1990.** Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conserv. Biol.*, vol. 4: 355-364
- Noy-Meir I., 1973.** Desert ecosystems: Environment and producers. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, vol.5: 195-214.
- Nybom H., 2004.** Comparison of different nuclear DNA markers for estimating intraspecific genetic diversity in plants. *Molecular Ecology*, vol. 13: 1143-1155.
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économique), 2008 .**Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030-chapitre 9 : La biodiversité : www.oecd.org/.../0,3746,fr_2649_34283_40138216_1_1_1_1,00.html
- Office Nationale des Statistiques (ONS), 2013.** Statistiques environnementales. Collections Statistiques N° 177/2013. Série C : Statistiques Régionales et Cartographie. La Direction Technique Chargée des Statistiques Régionales et de la Cartographie, 110 p.

- Oksanen J., 2015.** Multivariate Analysis of Ecological Communities in R: vegan tutorial. 43p.
- Orita M., Iwahana H., Kanazawa H., Hayashi K. and Sekiya T., 1989.** Detection of polymorphism of human DNA by gel electrophoresis as single-strand conformation polymorphisms. Proc Natl Acad Sci USA, vol. 86: 2766-2770.
- Ozenda P., 1977.** Flore de Sahara. Ed. Centre national de la recherche scientifique, Paris, 630p.
- Ozenda P., 2000.** Les végétaux : organisation et diversité biologique. Ed. Dunod, Paris, pp 465-516.
- Ozenda, 1982.** Les végétaux dans la biosphère. Ed. Doin. Paris, 413 p.
- Ozinga W. A., Schaminée J. H. J., Bekker R. M., Bonn S., Poschlod P., Tackenberg O., Bakker J. and van Groenendael J. M., 2005.** Predictability of plant species composition from environmental conditions is constrained by dispersal limitation. Oikos, vol. 108: 555-561.
- Peng J., Liang C., Niu Y., Jiang W., Wang W. and Wang L., 2015.** Le pâturage modéré favorise la diversité génétique des espèces de *Stipa* dans la steppe intérieure mongole. Ecologie de paysage, vol. 30 (9): 1783-1794.
- Pérez de la Torre M., García M., Heinz R. and Escandón A., 2012.** Analysis of genetic variability by ISSR markers in *Calibrachoa caesia*. Electronic Journal of Biotechnology, vol. 15 (5) : <http://dx.doi.org/10.2225/vol15-issue5-fulltext-8>.
- Pharmawati M., Yan G. and Finnegan P.M., 2005.** Molecular Variation and Fingerprinting of Leucadendron Cultivars (Proteaceae) by ISSR Markers. Ann Bot., vol. 95(7): 1163–1170.
- Pouget M., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-algéroises. Travaux et documents d'Orstom, Paris. 569 p.
- Pouillandre N., 2005.** Biodiversité, Taxonomie et Barcode moléculaire: www.ebookbrowse.com/biodiversite-doc-d137931432.pdf
- Prevost A. and Wilkinson M.J., 1999.** A new system of comparing PCR primers applied to ISSR fingerprinting of potato cultivars. Theor. Appl. Genet, vol. 98: 107-112.
- Probst C. et Cibien C., 2006.** La biodiversité : www.agentdeterrain.espaces-naturel.fr/node/16
- Qian W., Ge S. and Hong, D.Y., 2001.** Genetic Variation within and among Populations of a Wild Rice *Oryza granulate* from China Detected by RAPD and ISSR Markers, Theor. Appl. Genet., vol. 102: 440-449.
- Quezel et Santa, 1962-63.** La nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. 2 tomes. Ed. CNRS, Paris, 1170p.
- Ramade, 2009.** Eléments d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 690p.

- Reynolds L.K., McGlathery K.J., Waycott M., 2012.** La diversité génétique améliore le succès de la restauration en augmentant les services écosystémiques. PLoS ONE, vol. 7 (6): <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038397>
- Romaschenko K., Peterson P.M., Soreng R. J., Garcia-Jacas N. and Susanna A., 2010.** Phylogenetics of Stipeae (Poaceae: Pooideae) Based on Plastid and Nuclear DNA Sequences. Diversity, phylogeny, and evolution in the monocotyledons edited by Seberg, Petersen, Barfod & Davis Aarhus University press, Denmark. 27p.
- Ronfort J., Jenczewski E. et Muller M.H., 2005.** Les flux de gènes et leur impact sur la structure de la diversité génétique. Le cas des prairies. Fourrages, vol.182: 275-286.
- Saiz H., et Alados C. L., 2011.** Effect of *Stipa tenacissima* L. on the structure of plant co-occurrence networks in a semi-arid community. Ecological Research, vol. 26 (3) : 595-603.
- Salamani M. et Hirche A., 2006.** L'état de la désertification en Algérie. Journées Internationales sur la Désertification et le Développement Durable : 175-181.
- Salamani M., Kadi Hanifi H., Hirche A. et Nedjraoui D., 2012.** Évaluation de la sensibilité à la désertification en Algérie. Rev. Écol. (Terre Vie), vol. 67 : 71-84.
- Santoni S., Faivre-Rampant P., Prado E. et Prat D., 2000.** Marqueurs moléculaires pour l'analyse des ressources génétiques et l'amélioration des plantes. Ressources génétiques. Cahiers Agricultures, vol. 9: 311-27.
- Schiller A., Hunsaker C.T., Kane M.A. et al., 2001.** Communicating ecological indicators to decision makers and the public. Conservation Ecology, vol. 5 (19) : <http://nls2.resalliance.org/Journalvol5/iss1art19/>
- Seltzer P., 1946.** Le climat de l'Algérie. Carbonel, Alger, 219 p.
- Sengenès J., 2012.** Développement de méthodes de séquençage de seconde génération pour l'analyse des profils de méthylation de l'ADN. Thèse Doct. Univ. Pierre et Marie Curie - Paris VI, 217p.
- Serre J.L., 2006.** Génétique de population. Ed. Dunod, Paris, 282 p.
- Shan, D., Zhao, M.L., Han, B., Han, G.D., 2006.** Genetic diversity of *Stipa grandis* under different grazing pressures. Acta Ecologica Sinica, vol. 26, 3175-3183.
- Shannon C.E., 1948.** A Mathematical Theory of Communication. Reprinted with corrections from The Bell System Technical Journal, vol. 27: 379-423.
- Simberloff, D., 1998.** Flagships, umbrellas, and keystones: is single-species management passe in the landscape era? Biol. Conserv., vol. 83: 247-257.
- Slimani H., 2012.** Mécanismes de désertification de la steppe des Hautes Plaines d'Algérie : cas de la steppe d'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Thèse Doct. Univ. H. Boumediène, Alger, 126 p.

- Sokal R.R. and Michener C.D., 1958.** A statistical method for evaluating systematic relationships. Univ. Kans. Sci. Bull., vol. 28:1409-1438.
- Slimani H., 2012.** Mécanismes de désertification de la steppe des Hautes Plaines d'Algérie : cas de la steppe d'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Thèse Doct. Univ. H. Boumediène, Alger, 126p.
- Slimani H., Aidoud A. and Rosé F., 2010.** 30 years of protection and monitoring of a steppic rangeland undergoing desertification. J. Arid Environ, vol. 74: 685-691.
- Sui X. Q., Wang K., Zheng S. H., Li L. and An S. Z., 2009.** Effects of landscape fragmentation on genetic diversity of *Stipa krylovii* roshev (Stipa L.) in agro-pastoral ecotone in Northern China. African Journal of Biotechnology, vol. 8 (15): 3431-3439.
- Tautz D., 1989.** Hypervariability of simple sequence as a general source for polymorphic DNA markers. Nucl. Acids Res., vol.17: 6463-71.
- Tazairt K., 1992.** Etude de la variabilité morphologique caryologie et électrophorétique de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) Dans trois régions d'Algérie selon un gradient longitudinal, Résultats préliminaires d'un essai de révision de la systématique de l'Alfa. Mémoire Magist. Univ. Scien. Techno. Houari Boumediène, Alger, 130p.
- Trabut L., 1889.** Étude sur l'Halfa. Ed. Jourdan, Alger, 90 p.
- UICN (Union International Pour La Conservation De La Nature), 2002.** Stratégie mondiale pour la conservation des plantes : Sixième réunion de la Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique (La Haye, Pays-Bas) : www.cbd.int/doc/meetings/cop/cop-06/official/cop-06-04-fr.doc
- Vázquez F.M. and Barkworth M.E., 2004.** Resurrection and emendation of *Macrochloa* (Gramineae: Stipeae). Botanical Journal of the Linnean Society, vol. 144: 483- 495.
- Vázquez, F.M., 1997.** Two new species and combinations of *Stipa* L. (Graminae from northwest Africa). Bot. J. Linn. Soc., vol. 124:201-209.
- Vicente M.C. and Fulton, T., 2003.** Using Molecular Marker Technology in Studies on Plant Genetic Diversity Studies: Learning Module. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy, 371p.
- Vidal R., González A., Gutiérrez L., Umaña R. and Speranza P., 2011.** Distribución de la diversidad genética y sistema reproductivo de *Stipa neesiana* Trin. et Rupr. Agrociencia Uruguay – Volumen, vol. 151:1-12.
- Vos P., Hogers R., Bleeker M., Reijans M., Van De Lee T., Hornes M., Frijters A., Pot J., Peleman J., Kuiper M. and Zabeau M., 1995.** AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. Nucl Acids Res., vol. 23: 4407-14.

- Wagner V., Treiber J., Danihelka J., Ruprecht E., Wesche K. and Hensen I., 2012.** Declining Genetic Diversity and Increasing Genetic Isolation toward the Range Periphery of *Stipa pennata* a Eurasian Feather Grass. *International Journal of Plant Sciences*, vol. 173 (7): 802-811.
- Wang J.L., Zhao N.X., Gao Y.B. and Lin F., 2006.** RAPD analysis of genetic diversity and population genetic structure of *Stipa krylovii* Reshov. in Inner Mongolia steppe. *Genetika*, vol. 42: 587-594.
- Williams J.G.K., Kubelik A.R., Livak K.J., Rafalski J.A. and Tingey S.V., 1990.** DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucl Acids Res.*, vol. 18: 6531-5.
- Wilson E.O., 1993.** *La diversité de la vie*. Ed. Paris : Odile Jacob. 496 p.
- Wright S., 1951.** The Genetical Structure of Populations. *Ann. Eugenics*, vol. 15: 323-354.
- Wu Y.G., Guo Q.S., He J.C., Lin Y.F., Luo L.J. and Liu G.D., 2010.** Genetic diversity analysis among and within populations of *Pogostemon cablin* from China with ISSR and SRAP markers. *Biochemical Systematics and Ecology*, vol. 38: 63–72.
- Yeh F.C., Yang R.C. and Boyle T., 1999.** POPGENE version 1.32, Microsoft window based software for population genetic analysis: a quick user's guide, University of Alberta, Edmonton.
- Yerou H. et Benabdeli K., 2003.** Rôle des types d'élevage dans la dégradation des formations steppiques dans la région de Naâma (Algérie sud -occidentale). *Rev. Écol. (Terre Vie)*, vol. 68: 157-165.
- Yu J., Jing Z-B. and Cheng J.M., 2012.** Genetic diversity of *Stipa bungeana* populations in the Loess Plateau of China using inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. *African Journal of Biotechnology*, vol. 11(34): 8425-8432.
- Zhai X.Y., Guo X.Y., Hou F.G., Liu Y., Ma D.T., Wang Y. and Yan X.B., 2015.** Structure génétique de la population et conservation de germoplasme de *Stipa purpurea* sur le plateau de Qinghai-Tibétain sous pâturage. *Systématique biochimique et écologie*, vol. 62 :51-57.
- Zhang H.-M., Zhao M.-L., Li Q.-F., Li Q.-F., Han B. and Suo P.F., 2003.** Detection of genetic diversity of *Stipa grandis* in Inner Mongolia using RAPD markers. *Acta Agrestic Sinica*, vol. 11: 170-178.
- Zhang Q., Niu J.M., Wu S.B., Buyantuyev A. and Dong J.J., 2012.** Impact of climatic factors on genetic diversity of *Stipa breviflora* populations in Inner Mongoli, *Genetics and Molecular Research*, vol. 11 (3): 2081-2093.

Zhao N.X., Gao Y.B., Wang J.L., Ren A.Z. and Xu H., 2006. RAPD diversity of *Stipa grandis* populations and its association with some ecological factors. *Acta Ecol. Sin.*, vol. 26:1312–1319.

Zhao N.X., Gao Y.B., Wang J.L. and Ren A.Z., 2008. Population structure and genetic diversity of *Stipa grandis* P. Smirn, a dominant species in the typical steppe of northern China. *Biochemical Systematics and Ecology*, vol. 36: 1-10.

Zietkiewicz E., Rafalski A. and Labuda D. 1994. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification. *Genomics*, vol. 20 : 176–183.

Annexes

Annexe 1

	1960														2017													
	A199	A200	A259	A263	A264	A266	A489	A499	A531	A542	A603	A628	A629	A634	B199	B200	B259	B263	B264	B266	B489	B499	B531	B542	B603	B628	B629	B634
Espèces communes	<i>Aegilops triuncialis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Ammodaucus leucotrichus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Anabasis articulata</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	<i>Anacyclus cyrtolepidioides</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	<i>Argyrobium uniflorum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Artemisia campestris</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	<i>Artemisia herba-alba</i>	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
	<i>Arthrophytum scoparium</i>	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Astragalus armatus</i>	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
	<i>Astragalus sinaicus</i>	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Atractylis serratuloides</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
	<i>Bromus rubens</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
	<i>Chrysanthemum fuscatum</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Cleome arabica</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Cynodon dactylon</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Dipcadi serotinum</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Echinops spinosus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Echium pycnanthum</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
	<i>Echium trygorrhizum</i>	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Erodium glaucophyllum</i>	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Eruca vesicaria</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
	<i>Eryngium ilicifolium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
	<i>Euphorbia sulcata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	<i>Fagonia microphylla</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Filago spathulata</i>	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	<i>Helianthemum lippii</i>	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Helianthemum papillare</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Herniaria hirsuta</i>	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1
	<i>Hippocrepis multisiliquosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Ifloga spicata</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Juniperus oxycedrus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	<i>Juniperus phoenicea</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Launaea acanthoclada</i>	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
	<i>Launaea resedifolia</i>	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	<i>Linaria aegyptiaca</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Lygeum spartum</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Malva aegyptiaca</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1
	<i>Marrubium deserti</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Medicago litoralis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Micropus bombicinus</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0
<i>Moricandia arvensis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
<i>Noaea mucronata</i>	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	
<i>Paronychia capitata</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
<i>Peganum harmala</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	
<i>Plantago albicans</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	
<i>Plantago ciliata</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Poa bulbosoa</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Quercus ilex</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
<i>Reseda alba</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Rosmarinus tournefortii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
<i>Salsola vermiculata</i>	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	
<i>Salvia verbenaca</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Scabiosa stellata</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	
<i>Schismus barbatus</i>	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	
<i>Stipa parviflora</i>	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	
<i>Stipa tenacissima</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<i>Thymelaea hirsuta</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Thymelaea microphylla</i>	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	
<i>Thymus algeriensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
<i>Thymus hirtus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	
<i>Vella annua</i>	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
Espèces non retrouvées en 2017	<i>Adonis annua.autumnalis</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	<i>Aizoon hispanicum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Ajuga iva</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Alyssum alpestre</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Alyssum montanum</i>	0</																										

Annexe 2

Tableau : Richesse floristique, contribution de *S. tenacissima* et couvert végétal des relevés de 1960 et de 2017

Relevés	Richesse floristique (espèces)		Contribution de <i>S. tenacissima</i> (%)		Couvert végétal (%)	
	1960	2017	1960	2017	1960	2017
199	39	17	49	00	30	40
200	22	26	56	13	20	41
259	51	27	30	18	35	46
263	29	17	44	18	30	30
264	20	10	25	24	30	53
266	7	18	54	40	50	63
489	27	21	02	00	50	32
499	35	22	24	00	90	63
531	34	19	68	25	80	46
542	36	14	62	58	60	45
603	46	10	15	14	80	44
628	41	15	13	68	80	48
629	46	28	21	25	80	71
634	35	24	51	50	70	70
Moyenne	33,43	19,14	37	25	56	49