

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
« HOUARI BOUMEDIENE »

FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER

En : SCIENCE DE LA NATURE

Spécialité : Ecologie et environnement

Par : AKKOUCHE SAIDA

Sujet

**Incidence des facteurs climatiques sur la croissance spatio-temporelle
des principales espèces fixatrices des dunes du reboisement de Djelfa :
Essai de proposition d'un modèle de lutte contre
la désertification.**

Soutenu publiquement le 16/10/2011, devant le jury composé de:

Mme F. RAHMANIA, Professeur (USTHB)
Mme L. KADIK, Professeur (USTHB)
Mme F. ABDOUN, Professeur (USTHB)
Mr B. KADIK, Docteur MA
Mr N. HANIFI, Maître de Conférence (USTHB)
Mr BOUSSAID, Conservation des forêts, (Djelfa)

Présidente
Directrice de mémoire
Examinatrice
Examinateur
Examinateur
Invité

Avant propos

Au terme de ce travail, j'exprime ma profonde reconnaissance à ma directrice de thèse ; Madame **KADIK L.**, Maître de Conférence à l'U.S.T.H.B d'avoir accepté de diriger ce travail malgré ses nombreuses préoccupations, d'avoir mis à ma disposition le matériel et les documents nécessaire, ainsi que pour sa compréhension et surtout ses remarques, conseils et ses encouragements qui m'ont fortement aidé à élaborer ce travail.

Je remercie madame **RAHMANIA F**, professeur à U.S.T.H.B, d'avoir accepté de présider ce mémoire.

J'adresse mes remerciements à Mme **ABDOUN F**, à Monsieur **KADIK B** et à Monsieur **HANIFI N** de siéger à mon jury et d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Je remercie agréablement Mr **BOUSSAID** d'avoir accepté notre invitation.

Je tiens à remercier tout particulièrement mes ami(e)s et compagnons de terrain ; Rachida, Amel, Nassima, Ahmed, Salima, Souad et Fahima avec qui j'ai partagé les bons et les mauvais moments de travail, surtout Mr Hazarchi Ahmed, ingénieur forestier, je le remercie pour son aide à la reconnaissance des espèces.

Je tiens à remercier aussi très chaleureusement monsieur le conservateur des forêts et tout le personnel de la conservation des forêts et de l'HCDH de la Wilaya de Djelfa, qui nous ont aimablement accueillis et aidés surtout ; Mr Saadane, Mr Zigham, Ami Belaherache, les ingénieurs et les Techniciens surtout Mr Mohammed et Melle Hassna.

- A le directeur de la réserve de chasse pour nous avoir assuré notre sécurité. Ainsi à toute l'équipe de la bibliothèque de l'université Ziane Achour de Djelfa pour leur aide pour la documentation mise à notre disposition.

- Je remercie vivement les gens de la station météorologique de la W .Djelfa surtout le directeur Mr Derradji pour les données climatiques qu'il nous a fournies.

- Enfin, je remercie très chaleureusement ceux et celles de l'école doctorale écologie et environnement 2008 et toute l'équipe du laboratoire d'écologie végétale et Environnement en particulier à Mlle Guerrache, Mlle Hassina et Mr Latreuche.

- Que toutes les personnes qui m'ont aidé trouvent ici mes sincères remerciements.

Incidence des facteurs climatiques sur la croissance spatio-temporelle des principales espèces fixatrices des dunes du reboisement de Djelfa : Essai de proposition d'un modèle de lutte contre la désertification.

Résumé

Le projet expérimental de la fixation des dunes a été lancé en 1982 par l'I.N.R.F à El-Mesrane au niveau du cordon dunaire Djelfa – Boussaâda, son but est de fixer les dunes et limiter l'avancée du sable vers les agglomérations et les terres agricoles menacées. Plusieurs matériaux et espèces fixatrices ont été employés pour la fixation mécanique et biologique. Le taux de réussite des plantations varie en fonction des espèces plantées; de leur adaptation aux conditions micro-stationnaires et climatiques.

Le travail entrepris dans le cadre de ce mémoire s'intéresse à l'étude de la croissance de différents taxons plantés et leur cortège floristique dans le temps et dans l'espace. Pour la première partie qu'est une approche diachronique fondée sur la comparaison de l'accroissement relatif des espèces fixatrices pendant les périodes (1984-1987), (2005-2009), a permis de ressortir les espèces qui ont mieux résisté aux contraintes climatiques. Pour la deuxième qu'est une approche synchronique basée sur l'exploitation des relevés effectués en 2009 ,a permis de visualiser l'occupation de l'espace par les taxons plantés et leur cortège floristique.

L'étude diachronique a permis d'élucider le rôle qu'a joué le climat sur la croissance spatio-temporelle des taxons plantés; *Lycium arabicum* Boiss reste très sensible à l'action du vent, ni la précipitation ni la température n'expliquent sa forte mortalité. *Eleagnus angustifolia* L et *Tamarix gallica* L supportent bien le manque d'eau, la gelée et les températures très rigides. *Retama retam* Webb peu exigeante en eau, résiste très bien aux températures rigides et au vent. *Tamarix aphylla* (L.) Karst résiste mal à l'action du vent et au bombardement de sable, et s'adapte bien au manque d'eau et résiste très bien aux fluctuations thermiques.

Ceci explique les résultats de l'étude synchronique qui a montré que les espèces plantées occupent l'espace différemment ; *Retama retam* Webb se développe sur l'ensemble de la dune à différentes topographies et expositions. *Tamarix gallica* L colonise toutes les topographies de la dune sauf les sommets à hautes altitudes exposés au vent. *Tamarix aphylla* (L.) Karst et *Eleagnus angustifolia* L colonisent les bas de versants et les espaces interdunaires. *Lycium arabicum* Boiss a enregistré un taux de réussite inférieur à 10 % surtout en position topographique en face du vent.

Mots clés : facteurs climatiques, El Mesrane, Désertification, fixation biologique, fixation mécanique, *Retama retam*, *Tamarix aphylla*, *Tamarix gallica*, *Eleagnus angustifolia*, *Lycium arabicum*.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents

Mes frères et soeurs

Toute ma famille

Tous mes ami(e)s

Tous mes collègues

Saida



LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Causes de la désertification.

Figure 2 : Conséquences de la désertification.

Figure 3 : Représentation schématique des moyens de lutte contre la désertification.

Figure 4 : Lutte contre l'érosion éolienne et la réhabilitation des terres.

Figure 5 : Technique de plantation à l'intermédiaire du cylindre métallique.

Figure 6 : Le barrage vert, Djelfa - Hassi Bahbah.

Figure 7 : Techniques de fixation des dunes à l'aide des mailles en plastique noires et vertes.

Figure 8 : Dunes avant et après la fixation à l'aide d'une maille en plastique noire.

Figure 9 : Différentes stations échantillonnées.

Figure 10 : Stations 1,2 et 3 échantillonnées.

Figure 11 : Stations 4,5 et 6 échantillonnées.

Figure 12 : Délimitation de la zone d'étude (Extrait de la feuille de Biskra au 1/500.000).

Figure 13 : Principales formations éoliennes mobiles.

Figure 14 : Fluctuation des pluviosités moyennes annuelles sur trente ans (de 1878 à 2009).

Figure 15 : Variations saisonnières des pluviosités pendant les trois dernières décennies (1980-1989), (1989-1999) et (2000-2009).

Figure 16 : Variations mensuelles des pluviosités pendant les trois dernières décennies.

Figure 17 : Variations mensuelles du nombre de jours de pluie pendant les trois dernières décennies.

Figure 18 : Variations saisonnière du nombre de jours de pluie pendant les trois dernières décennies.

Figure 19 : Variations de la moyenne des minima du mois le plus froid « m » graphe A et de la moyenne des maxima du mois le plus chaud « M » graphe B, pour les trois décennies

Figure 20 : Variation du nombre de jours de gelée pendant les trois dernières décennies

Figure 21 : Variation moyenne mensuelle de la vitesse du vent (1980-2009).

Figure 22 : Variation de l'humidité (1980-2009).

Figure 23 : Variation des températures moyennes, des précipitations et d'évaporation pendant les trois dernières décennies.

Figure 24 : Abaque de l'indice d'aridité de Martonne.

Figure 25 : Diagramme Ombrothermique de BAGNAULS et GAUSSEN des trois dernières décennies et de la période de SELTZER (1913-1938).

Figure 26 : Situation des périodes d'étude sur le Climagramme d'Emberger.

Figure 27 : Etat actuel des dunes fixées après 25ans.

Figure 28 : Nombre de pieds de différentes essences étudiées (2009).

Figure 29 : Représentation schématique de l'occupation de l'espace par les espèces étudiées.

Figure 30 : Richesse floristique et recouvrement global de la végétation sur les différentes topographies de la dune.

Figure 31 : Richesse floristique des dunes ; non fixées, récemment fixées et d'autres anciennement fixées.

Figure 32 : Répartition de l'humidité dans la dune ; in ZOGHT (1978).

Figure 33 : Nombre d'espèces sous et entre les pieds des espèces fixatrices.

Figure 34 : Occupation de l'espace sous et entre les pieds des espèces fixatrices.

Figure 35 : Relation entre la richesse floristique annuelle (nombre de familles, genres et espèces) et la pluviométrie annuelle des années 1984, 1987, 2005,2008 et 2009.

Figure 36 : Relation entre la richesse floristique (nombre d'espèce), les températures M, m et le vent des années 1984, 1987, 2005, 2008 et 2009.

Figure 37 : *Retama retam* Webb et *Tamarix gallica* L.

Figure 38: *Tamarix aphylla* (L.), *Eleagnus angustifolia* et *Lycium arabicum* Boiss.

Figure 39 : Répartition de précipitation de la première période (1983-1987) et celle de la deuxième (2005-2009).

Figure 40: Répartition des températures M, m des périodes ; (1983-1987) et (2005-2009).

Figure 41 : Nombre de jours de gelée des périodes d'étude.

Figure 42: Vitesse du vent, des deux périodes (1983-1987) et (2005-2009).

Figure 43 : Classification Ascendante Hiérarchique des 118 relevés.

Figure 44 : Carte factorielle des relevés selon le plan des axes 1-2.

Figure 45 : Carte factorielle des relevés selon le plan des axes 1-3.

Figure 46 : Carte factorielle des espèces selon le plan des axes 1-2.

Figure 47 : Spectres biologiques bruts de 1984 et 1987.

Figure 48 : Spectres biologiques bruts de 2005 et 2009.

Figure 49 : Spectres biologiques réels de 1984 et 1987.

Figure 50 : Spectres biologiques réels de 2005 et 2009.

Figure 51 : Spectres phytogéographiques bruts de 1984, 1987, 2005 et 2009.

Figure 52 : Spectres phytogéographiques réels de 1984, 1987, 2005 et 2009.

Figure 53: La végétation et la litière sous et hors le pied de *Tamarix aphylla*.

Figure 54 : La végétation et la litière sous et hors les pieds de *Retama retam*, *Eleagnus angustifolia* et *Tamarix gallica*

Figure 55 : La végétation et la litière sous et hors les pieds de *Lycium arabicum*.

Figure 56 : Recouvrement de la végétation et de la litière sous les différentes espèces fixatrices.

Figure 57 : Schéma des résultats des analyses qualitatives et quantitatives de différentes dunes fixées par *Retama retam* Webb, *Tamarix gallica* L et *Tamarix aphylla* (L). Karst, *Eleagnus angustifolia* L et *Lycium arabicum* Boiss.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Succession des années pluvieuses et sèches durant les trois dernières décennies

Tableau 2 : Variations mensuelles et annuelles des températures dans les trois décennies.

Tableau 3 : Ecart thermique et classe du climat.

Tableau 4 : Indice de MARTONNE de trois dernières décennies.

Tableau 5 : Quotient pluviothermique d'EMBERGER des périodes d'étude.

Tableau 6 : Richesse floristique (nombre de famille, genre et espèce) en relation avec les principaux facteurs climatiques (M, m, p et vitesse du vent) en 1984, 1987, 2005 et 2009.

Tableau 7 : Résultats de la croissance et de la réussite des plantations des périodes (1983-1987) et (2005-2009).

Tableau 8 : Croissance des espèces après 4 ans de fixation (1983-1987).

Tableau 9 : Valeurs propres et taux d'inertie des axes factoriels.

Tableau 10: Répartition des groupements selon le plan des axes 1-2 et la CAH.

Tableau 11 : Répartition des groupements selon le plan des axes 1-3.

Tableau 12: Composition systématique des années 1984, 1987, 2005 et 2009.

Tableau 13 : Indice de diversité spécifique de SHANNON « H'i » des années d'étude.

Tableau 14 : Indice de SORENSSEN et taux de variation des années d'étude.

Tableau 15 : Pluviosité et Température des années d'étude.

LISTE DES ABREVIATIONS

- CILSS** : Le comite permanent inter-états de lutte contre la sécheresse au Sahel.
- ONM** : Office national de la météorologie.
- I.N.R.F** : Institut National de la Recherche Forestière.
- Q2** : Quotient pluviothermique d'Emberger.
- UNCCD** : Convention pour la Lutte Contre la Désertification.
- A.F.C** : Analyse Factorielle des Correspondances.
- CAH** : Classification Ascendante Hiérarchique.
- CTR** : Contribution Relatives.
- CTA** : Contribution Absolue.
- H'i** : Indice de diversité spécifique de SHANNON.
- IS** : Indice de similitude de SORENSEN.
- MADR** : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.
- PNDA** : Programme National de Développement Agricole.

SOMMAIRE

Introduction	1
Chapitre I- Généralités	
1- La prise de conscience de la communauté internationale : « La Convention sur la Lutte contre la Désertification ».....	3
2- Causes de la désertification.....	3
3- Conséquences de la désertification.....	3
4- Moyens de lutte.....	4
5- Modèles de lutte.....	5
5.1-Les Sahéliens rivalisent de solutions ingénieuses pour lutter contre la désertification.....	6
5.2-L'expérience Tunisienne.....	6
5.3-L'expérience Mauritanienne.....	6
5.4-l'expérience Algérienne.....	6
5.4.1-Le barrage vert.....	7
5.4.2-Fixation des dunes.....	8
5.4.2.1-But des travaux réalisés dans la zone d'étude.....	8
5.4.2.2-Principe de fixation des dunes.....	8
5.4.2.3-Techniques de fixation des dunes.....	8
5.4.2.3.1-Fixation mécanique des dunes de sable.....	8
5.4.2.3.2-Fixation chimique.....	9
5.4.2.3.3-Fixation biologique.....	9
5.4.2.4-Description des deux projets.....	9
Premier projet.....	9
Deuxième projet.....	9
*Fixation mécanique.....	9
1- Protection avec mèches de fibres Texan.....	9
2- Protection en grille (fascine en maille plastique).....	9
3- Protection avec des fascines d'espèces végétales.....	9
4- Protection avec des plaques ondulées d'amiante en ciment.....	9
5- Protection en bande de pneus usés.....	10
*Fixation chimique.....	10
6 -Epanchage du bitume en bandes parallèles.....	10
7 -Epanchage du bitume en "v".....	10
8 -Epanchage partiel du bitume.....	10
*-Fixation biologique (plantation des dunes).....	10
Chapitre II. Description de la zone d'étude	
1- Situation géographique.....	11
2- Géologie.....	12
3- Hydrologie.....	12
4- Topographie.....	12
5- Pédologie.....	13
6- Morpho sédimentation.....	13
7- Végétation.....	15
8- Climat.....	15
8.1-Précipitations.....	15
8.1.1-Précipitation interannuelle.....	15
8.1.2-Précipitation saisonnière moyenne.....	17
8.1.3-Précipitation mensuelle moyenne.....	17

8.1.4- Nombre de jours de pluie	18
8.1.5- Nombre de jours de pluie par saison.....	19
8.2- Température.....	19
8.2.1- Températures moyennes mensuelles et annuelles (M+m)/2.....	19
8.2.2- Moyenne mensuelle des températures minimales du mois le plus froid « m » et moyenne mensuelle des températures maximales du mois le plus chaud « M ».....	20
8.2.3- Ecart thermique (t max – t min)	21
8.3- Autres paramètres climatiques	21
8.3.1- Gelée	21
8.3.2- Vent.....	21
8.3.3- Humidité de l'air	22
8.3.4- Humidité du sol.....	23
8.3.5- Evaporation	23
8.4- Synthèse climatique	24
8.4.1- Indice d'aridité de Martonne.....	24
8.4.2- Indice xérothermique d'EMBERGER.....	25
8.4.3- Diagramme Ombrothermique de BAGNAULS et GAUSSEN.....	26
8.4.4- Quotient pluviothermique d'EMBERGER.....	26
Conclusion.....	28

Chapitre III- Méthodologie et échantillonnage

1- Choix des parcelles échantillonnées	29
1.1- Description succincte des stations échantillonnées.....	30
2- Echantillonnage.....	30
2.1- Collecte des paramètres liés aux espèces fixatrices.....	31
2.1.1- Données dendrométriques.....	31
2.2- Collecte des paramètres liés au milieu.....	31
2.2.1- Données climatiques.....	31
2.2.2- Données phytoécologiques	32
2.2.2.1- Relevé phytoécologiques (Inventaire qualitatif)	32
2.2.2.2- Relevé linéaire (Inventaire quantitatif)	32
2.2.2.3- Relevé pédologique.....	33
3- Traitement statistique des données	33
3.1- Analyse statistique	33
3.2- Evaluation de la biodiversité.....	34
3.2.1- Evaluation qualitative	34
3.2.1.1- Diversité systématique.....	34
3.2.1.2- Diversité biologique.....	34
3.2.1.3- Diversité phytogéographique.....	34
3.2.2- Evaluation quantitative	34
3.2.2.1- Indice de diversité spécifique de SHANNON « H'i »	35
3.2.2.2- Indice d'équitabilité ou régularité (E).....	35
3.2.2.3- Indice de similitude de SORENSEN	35

Chapitre IV- Résultats et discussions

1- Relation Climat- Végétation.....	37
1.1- Etude spatiale de la végétation	37
1.2- Etude diachronique de la végétation	42

1.2.1-Facteur précipitation.....	46
1.2.2-Facteur température.....	46
1.2.3-Facteur gelée.....	47
1.2.4-Facteur vent.....	48
Conclusion.....	50
1.3- Analyse statistique.....	51
1.3.1-Identification des groupements végétaux et leurs caractérisations écologiques et floristiques	51
1.3.2- Choix des axes à interpréter.....	51
1.3.3- Carte factorielle des relevés	52
1.3.3.1- Caractérisation écologique et floristique des groupements.....	51
1.3.3.2- Signification écologique des axes factoriels.....	54
1.3.4- Carte factorielles des espèces végétales.....	55
1.3.4.1- Signification écologique des axes factoriels.....	56
1.4- Evaluation de la biodiversité.....	57
1.4.1- Evaluation qualitative.....	57
1.4.1.1- Diversité systématique.....	57
1.4.1.2- Diversité biologique.....	58
1.4.1.3- Diversité phytogéographique.....	61
1.4.2- Evaluation quantitative.....	62
1.4.2.1-Indice de diversité spécifique de SHANNON « H'i » et d'équitabilité « E ».....	62
1.4.2.2-Indice de similitude de SORENSEN et taux de variation (%).....	63
Conclusion.....	64
2- Relation Végétation –Sol.....	65
3- Synthèse.....	68
4- Modèle proposé pour la fixation des dunes.....	72
Conclusion générale	74
Bibliographie	76
Annexe	

Introduction

Introduction

Depuis ces dernières décennies, les hautes plaines steppiques subissent des dégradations qui s'accroissent d'une année à une autre, dans l'état initial le milieu physique (climat – sol) et la végétation sont en état d'équilibre qui reste relativement précaire dans les régions arides; quand le premier se modifie légèrement le second le ressent plus sensiblement. Au niveau de la steppe algérienne, le mouvement de la désertification provient de la steppe en équilibre qui aurait par dégradation permis l'avancée du désert.

Ce déséquilibre est provoqué par certains facteurs qui conditionnent le fonctionnement des systèmes méditerranéens et en particulier ceux de l'étage aride qui se caractérisent par une variabilité des facteurs écologiques (WENT 1949 ; NOY-MEIR 1985 ; BOWERS 1987 LE HOUEROU, 1992). Celle-ci s'exprime à travers soit la diversité (PITT et HEADY 1978; ARONSON et SCHMIDA 1992 ; TILMAN et EL HADDI 1992 ; NAVEH 1993) soit la production primaire (AIDOUD, 1992 ; LE HOUEROU, 1992, 1996).

L'interaction entre les facteurs et les causes de la désertification rend le phénomène plus complexe, c'est la raison pour laquelle de nombreuses études diachroniques ont été réalisées dont nous citons : MELZI (1986), AIDOUD (1989) et KADI HANIFI (1998) qui ont montré qu'il y a eu des changements considérables dans les espaces pastoraux. Ainsi les moyens de lutte doivent être bien étudiés, efficaces et surtout intégrés dans une politique globale de lutte contre la désertification, parmi ces études on cite aussi à titre d'exemple les travaux de : KADIK B(1982), OLDACHE (1988), CHOUAIL (1992), MAKHLOUF (1995), et TOLBA (2000), qui ont mis en évidence l'expérience algérienne en matière de fixation mécanique et biologique des dunes.

Le projet expérimental de fixation des dunes a été lancé en 1982 par l'I.N.R.F à El-Mesrane au niveau du cordon dunier Djelfa – Boussaâda, afin de fixer les dunes et limiter ainsi l'avancée du sable vers les agglomérations et les terres agricoles et permettre à la végétation naturelle et plantée de stabiliser le cordon et constituer ainsi une réserve de fourrage pour le cheptel. Plusieurs matériaux de fixation ont été employés pour la fixation mécanique qui permet une stabilisation temporaire des apports et des départs de sable, aussi plusieurs espèces fixatrices ont été testées pour la fixation biologique dont le taux de réussite varie en fonction des facteurs pédo- climatiques. Ces expériences de stabilisation soulèvent de nombreuses questions d'ordre théorique, scientifique et pratique, dont on cite principalement :

- L'efficacité des techniques de fixation des dunes et les différents modes de traitements.
- La dynamique de la végétation.
- Le comportement, l'adaptation et la croissance des espèces plantées et naturelles face aux contraintes pédo-climatiques.

Pour cela nous avons réalisé cette modeste contribution qui a pour objectif d'apporter quelques éléments de réponses sur l'incidence de principaux facteurs climatiques sur la croissance spatio-temporelle de principales espèces fixatrices des dunes ; *Retama retam* Webb, *Tamarix gallica* L, *Lycium arabicum* Boiss, *Eleagnus angustifolia* L et *Tamarix aphylla* (L.) Karst, ainsi que leurs végétations accompagnatrices.

Dans ce contexte, mener une étude diachronique des espèces fixatrices de la région d'El Mesrane, nous a paru très importante dans le but de quantifier la variation de leur croissance

après 26ans de plantation et de souligner les principaux facteurs qui en sont responsables, notamment par rapport au climat. Pour répondre à cet objectif, nous avons comparé la croissance des espèces cités ci-dessus, pendant deux périodes différentes (1984-1987) , (2005-2009), ainsi que leurs diversités floristiques en fonction de : la pluviosité ,les températures (la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud « M » et de la moyenne des températures minimales du mois le plus froid « m »),la gelée et la vitesse du vent. Aussi un traitement numérique des données floristiques permet de mettre en évidence les différents groupements végétaux caractérisant la zone d'étude ainsi que les principaux facteurs qui les déterminent. La comparaison des paramètres qualitatifs et quantitatifs de la diversité biologique obtenue permet d'estimer l'état de développement de la biocénose dans cet écosystème.

Ce travail nous a permis à la fin de mettre en évidence parmi les taxons étudiés, ceux qui sont performants et qui seront proposés dans un programme de réhabilitation future.

Les résultats sont exposés dans ce mémoire qui s'articule en quatre chapitres : Dans le premier chapitre nous avons présenté un petit historique du projet, dans le deuxième et le troisième nous avons illustré les caractéristiques physiques de la zone d'étude et la démarche méthodologique.

Le quatrième est réservé aux résultats et aux discussions enfin une conclusion.

Chapitre I: Généralités

Chapitre I- Généralités

1. Prise de conscience de la communauté internationale : « La Convention sur la Lutte contre la Désertification »

La lutte contre la désertification devient l'un des enjeux essentiels du monde les conséquences de la désertification sont donc d'ordre social, économique, politique et environnemental.

Le débat sur ce problème n'a été lancé qu'après la grande sécheresse des années 1970. Peu à peu, la communauté internationale s'est intéressée à cet enjeu, concrétisant cette prise de conscience par la mise en place de la Convention des Nations Unies sur la désertification en 1994. La synthèse suivante retrace les événements liés aux changements climatiques dans le monde.

- **Fin des années 60 et début des années 70** : une grande sécheresse frappe l'Afrique sub-Saharienne, plus de 200 000 personnes et des millions d'animaux meurent.
- **1973** : le comité permanent inter-états de lutte contre la sécheresse au Sahel (CILSS) est établi par 9 pays Sahéliens.
- **1977** : la Conférence des Nations Unies sur la Désertification, se réunit à Nairobi (Kenya), la désertification est présentée comme un problème mondial. Un plan d'action pour combattre la désertification est adopté mais reste en deçà des attentes (manque de coordination ; de choix politique et de soutien financier).
- **Début des années 80** : une autre famine frappe encore le Sahel (Ethiopie, Somalie).
- **1992** : Le 17 juin 1994 la Convention pour la Lutte Contre la Désertification (UNCCD) est née à Paris, en France. Elle sera adoptée en décembre 1996. Le 17 juin est devenu la journée mondiale de lutte contre la désertification. Cette convention définit **la désertification** comme : « c'est la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-humides, issue des différents facteurs comprenant les variations climatiques et les activités humaines ».

L'Algérie a proposé que la décennie 2010-2020 soit consacrée par les Nations unies au désert et à la lutte contre la désertification.

2. Causes de la désertification

Les causes de la désertification sont nombreuses (fig.1). La cause naturelle principale est bien connue ; la sécheresse liée aux caractéristiques du climat méditerranéen. Les causes anthropiques (démographie, surpâturages, défrichement des parcours et leurs causes,...) le sont moins (NEDJRAOUI et BEDRANI, 2008). En particulier, les causes qui relèvent des effets des politiques économiques d'ensemble (politiques monétaires, sociales, du commerce extérieur, politique des investissements publics et privés,...) sont peu abordées (BEDRANI, 1997).

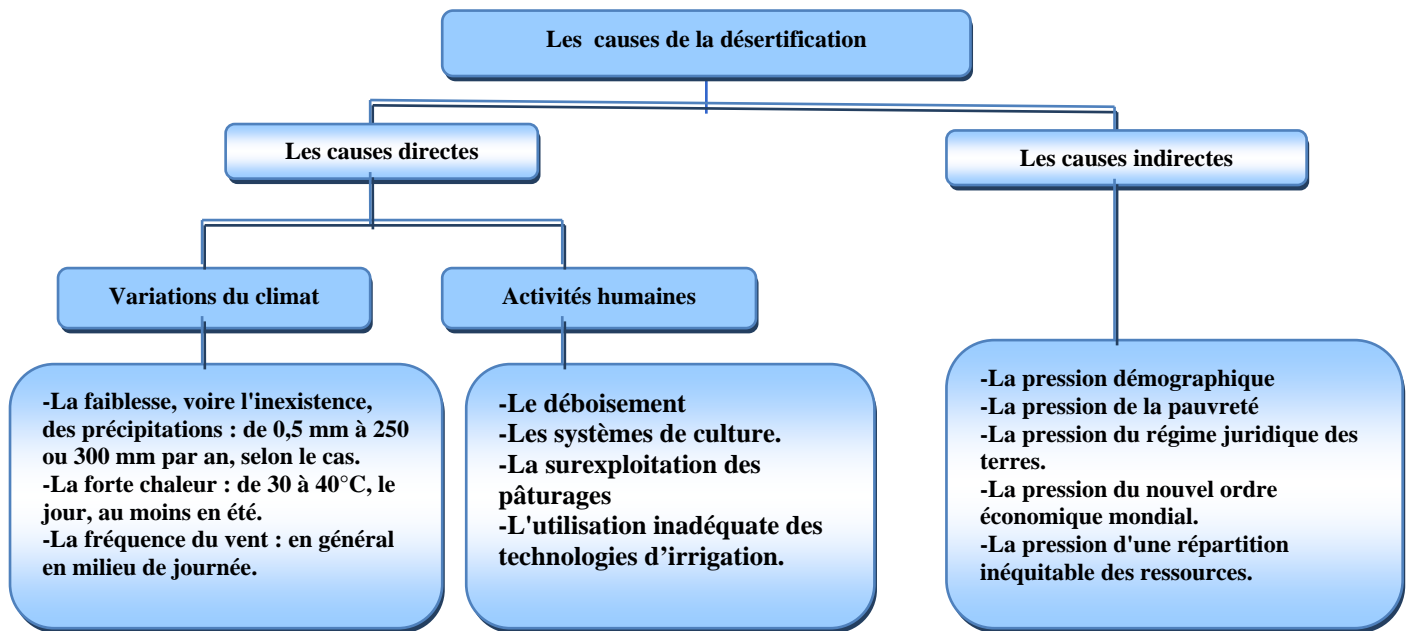


Figure 1 : Causes de la désertification.

3. Conséquences de la désertification

Parmi les conséquences les plus dangereuses sur l'environnement (fig.2) ; le changement du couvert végétal et l'érosion de la biodiversité qui caractérisent l'évolution régressive de l'ensemble de la steppe. Des faciès de végétation ont complètement disparu et sont remplacés par d'autres qui sont indicateurs de dégradation. Les faciès que l'on retrouve sont modifiés tant sur le plan de la densité du couvert végétal que sur le plan de leur valeur pastorale. Les productions pastorales fortement liées aux mesures de phytomasse et de valeurs énergétiques des espèces ont fortement diminué en raison de la disparition de la régression des espèces palatables telle que l'armoïse blanche (NEDJRAOUI ,2004).

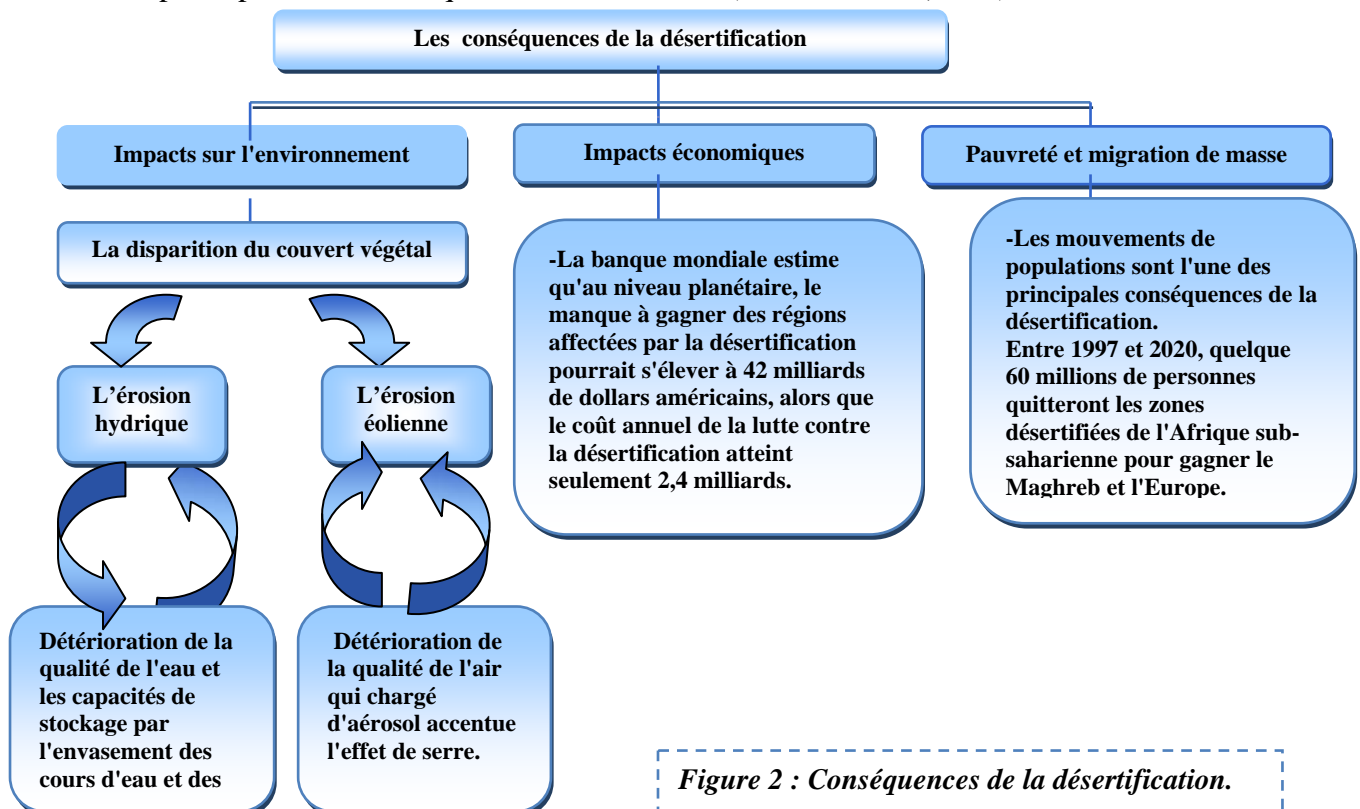


Figure 2 : Conséquences de la désertification.

4. Moyens de lutte :

La figure 3, résume les moyens de lutte qui doivent être bien étudiés, efficaces et surtout intégrés dans une politique globale de lutte contre la désertification (KADIK B, 1982 ; NEDJRAOUI ,2006).

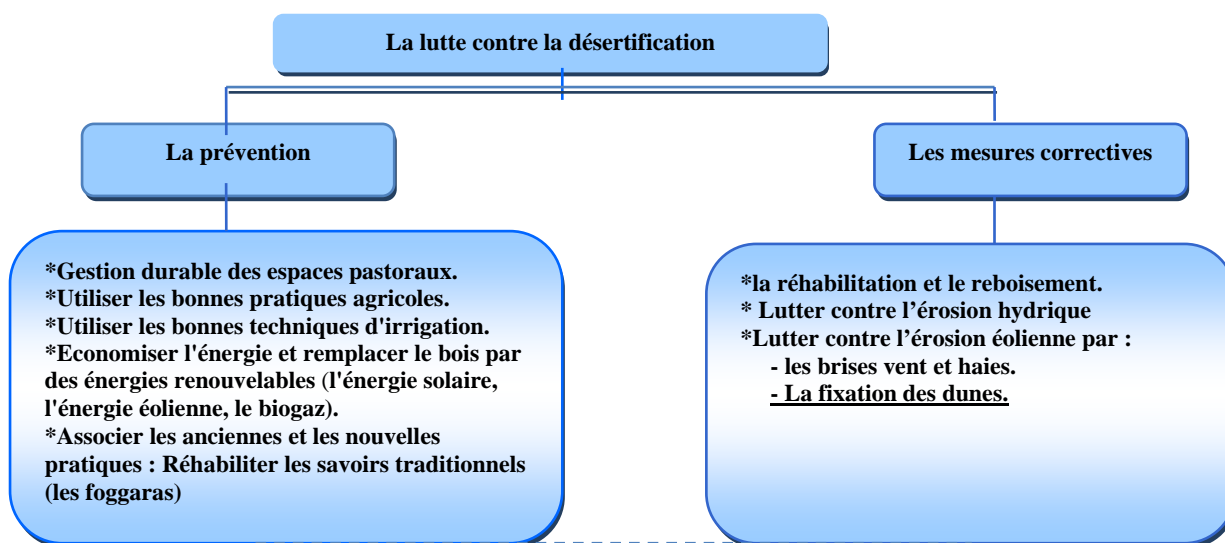


Figure 3 : Moyens de lutte contre la désertification.

5. Modèles de lutte

5.1. Les Sahéliens rivalisent de solutions ingénieuses pour lutter contre la désertification :

***La lutte contre l'érosion éolienne** : les Sahéliens utilisent des barrières végétales pour protéger le sol du vent : des haies brise-vent autour des champs, du clayonnage sur les dunes (photo1). Lorsqu'ils ne se servent pas de branchages, ils choisissent les plantes en fonction de leur résistance aux conditions d'extrême sévérité de climat et de sol et de leur intérêt économique.



La lutte contre l'érosion éolienne



La lutte contre l'érosion hydrique

Figure 4 : Lutte contre l'érosion éolienne et hydrique (photo1, 2)

***La lutte contre l'érosion hydrique** : les hommes et les femmes du Sahel aménagent des obstacles pour réduire la vitesse de ruissellement de l'eau de pluie. Cela limite le ravinement tout en favorisant l'infiltration vers les nappes phréatiques. Selon les pratiques locales et les types de terrain, ces « ralentisseurs » peuvent prendre la forme de cordons pierreux, de **diguettes** en terre ou de bandes enherbées (photo 2). Une parcelle boisée peut aussi être implantée en amont de la zone traitée pour faciliter l'infiltration et pour éviter de nouveaux creusements de ravines. Pour favoriser la pousse des plantes, les villageois usent par ailleurs le **paillage** (étalage de paille sur le champ) et l'agriculture sans labour.

5.2. L'expérience Tunisienne :

Plusieurs techniques de lutte contre l'ensablement sont utilisées. Elles peuvent être subdivisées en deux catégories:

- La fixation primaire qui a pour objectif soit de stabiliser par des moyens mécaniques les masses sableuses en mouvement quand elles menacent des infrastructures et des installations humaines, soit d'empêcher la formation et le déplacement des édifices dunaires.
- La fixation définitive ou reboisement qui s'acquiert par l'installation d'une couverture végétale durable et permanente.

Deux techniques de stabilisation mécanique sont utilisées ; il s'agit de la contre dune et du carroyage.

La contre dune est un obstacle linéaire placé perpendiculairement aux vents dominants pour bloquer la progression des dunes de sable vers les infrastructures. Elle est érigée selon la consistance du terrain, soit directement à même le sol dans un fossé de 30 à 40cm de profondeur, soit sur une levée de terre appelée localement tabia. Celle-ci est surmontée par une palissade en feuilles de palmes ou en plaques ondulées de fibrociment. La tabia, prend généralement la forme d'un trapèze dont la petite base est égale à 60cm, la grande base à 150cm et la hauteur à 120cm.

Le carroyage est un quadrillage de dimensions variables des dunes mobiles à l'aide des brise-vent inertes faits selon la disponibilité des matériaux de clayonnage en feuilles de palmes ou en plaques de fibrociment et servant à fixer les dunes sur place.

5.3. L'expérience Mauritanienne: Technique spécifique de plantation en zone saharienne (Utilisation d'un cylindre métallique)

La technique de plantation et d'arrosage nécessite l'utilisation d'un cylindre métallique biseauté de 30cm de diamètre et de 40cm de hauteur. Ce cylindre enfoncé dans le sable permet la confection du trou de plantation à la profondeur voulue, la pose en profondeur du plant (30 à 60cm selon l'espèce considérée) et, l'arrosage dirigé (10L par 25cm de sable) assurant la création de la colonne humide rejoignant l'humidité résiduelle. Après la plantation et l'arrosage, le cylindre est retiré et le trou de plantation comblé avec le sable sec.

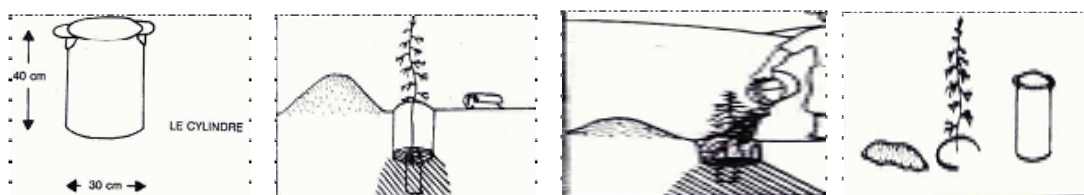


Figure 5 : Technique de plantation à l'intermédiaire du cylindre métallique.

5.4. L'expérience Algérienne :

Face à cette situation, de gros efforts et de nombreux programmes ont été déployés à différentes périodes au niveau des steppes algériennes (DGF, 2007).

De 1962 à 1969 il y a 99.000ha de plantations forestières ont été réalisés dans le cadre de l'amélioration et l'aménagement des parcours et la lutte contre l'érosion éolienne. Sur le terrain un programme a été entrepris à travers le lancement d'un projet ; celui du "Barrage – Vert" qui relie les frontières algériennes occidentales aux frontières orientales et un autre projet de fixation des dunes à El-Mesrane au niveau du cordon dunaire Djelfa – Boussaâda où se situe notre station d'étude.

5.4.1. Le barrage vert :

Vers les **années 70** l'Algérie a lancé le barrage vert, une immense ceinture de 1500km de long sur 20km de large (3 millions d'hectares) afin de protéger la partie Nord de l'Algérie de l'inexorable avancée du désert.



Figure 6 : Le barrage vert, Djelfa - Hassi Bahbah

Ce programme comprend la reconstitution des massifs forestiers dégradés de l'Atlas saharien par des espèces adaptées à ces zones, et le boisement des terres dégradées; l'amélioration des terres de parcours par des plantations d'arbres et d'arbustes fourragers notamment, la mise en valeur agricole essentiellement par l'amélioration des réserves fourragères au profit des populations concernées et de leur cheptel, la conservation de l'eau par la mise en place d'ouvrages anti-érosifs et la gestion des réserves en eau par le stockage, la récolte et l'économie d'utilisation.

Cette période voit également le lancement de la Révolution Agraire et la promulgation du Code Pastoral. Le principal objectif est la limitation du cheptel des gros possédants, la création de coopératives pastorales pour les petits éleveurs et une meilleure gestion de la steppe à travers des mises en défens, une interdiction des labours sur les zones pastorales, l'arrachage et le colportage des ligneux.

En **1983** l'adoption du dossier steppe a donné lieu à la création du Haut Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS), chargée de mettre en place une politique de développement intégré sur la steppe en tenant compte de tous les aspects économiques et sociaux et la réhabilitation des parcours dégradés par des mises en défens et des plantations d'Atriplex, à la création de quelques zones d'épandage, à la multiplication de points d'eau (les derniers réalisés utilisant l'énergie solaire). 3 He (sur plus de 20 millions) ont été préservés par la mise en défens, en collaboration avec la Conservation des Forêts, et 300 000He réhabilités par la plantation pastorale (ZIAD, 2006 ; DGF, 2007 ; MADR, 2007).

Le programme national de mise en valeur des terres par la concession qui créait des exploitations agricoles sur des terres marginales steppiques après les avoir aménagées (défoncements, épierrage, mobilisation d'eau pour l'irrigation) et le programme national de développement agricole (PNDA) qui a débuté en 2000 et qui visait le remplacement de la céréaliculture et de la jachère par des cultures à plus haute valeur (l'arboriculture fruitière).

5.4.2. Fixation des dunes :

Lutte contre le phénomène d'ensablement par les techniques de fixation des dunes et la protection des parcours à l'aide d'arbres et d'arbustes a toujours fait l'objet des travaux de la recherche, récemment en Algérie, Tunisie, et le Maroc.

L'Algérie a lancé un projet expérimental en 1982 par l'I.N.R.F, à El-Mesrane au niveau du cordon dunaire Djelfa-Boussaâda qui a pour but :

- fixer les dunes et limiter l'avancée des sables vers les agglomérations et les terres agricoles.
- Permettre à la végétation naturelle et plantée de reconquérir le cordon et constituer ainsi une réserve de fourrage pour le cheptel.



Figure 7 : Techniques de fixation des dunes à l'aide des mailles en plastique noires et vertes et en fascines d'espèces végétales.

5.4.2.1. But des travaux réalisés dans la zone d'étude

Le cordon dunaire du Zahrez est toujours en extension, et en plus, les édifices sableux ensevelissent les infrastructures, les terres agricoles, menacent même les agglomérations. Ceci a poussé les services des forêts à adopter deux projets pilotes de fixation à El-Mesrane. Nous résumerons ci dessous les méthodes de fixation appliquées dans ces projets (KADIK, 1982).

5.4.2.2. Principe de fixation des dunes

L'objectif principal est d'empêcher les mouvements des dunes par les différentes techniques qui permettent de reconstituer un couvert végétal approprié. Différents matériaux peuvent être utilisés. La fixation peut être obtenue par trois méthodes :

- barrière morte : constituée souvent de matériaux végétaux ou artificiels.
- barrière vivante : constituée par des espèces fixatrices.
- couverture protectrice par pulvérisation en surface d'émulsion bitumeuse...

5.4.2.3. Techniques de fixation des dunes

La fixation des dunes comporte deux phases qui se font simultanément.

- Phase 01 : fixation mécanique
- Phase 02 : fixation définitive par plantation, ou par végétation naturelle.

5.4.2.3.1. Fixation mécanique des dunes de sable

La technique de base consiste à édifier perpendiculairement aux vents dominants une barrière de 0.5 à 1 m de haut, qui provoque la formation d'une petite dune, le traitement doit être de la base au sommet afin de freiner la vitesse du vent et limiter les déplacements de grains de sable. Une fois la première barrière recouverte de sable, on établit une seconde, et ainsi de suite jusqu'à ce que la dune ait atteint sa hauteur d'équilibre.

Actuellement les matériaux utilisés comme obstacle sont variés (planche de bois, plaques ondulées d'amiante, branche d'arbre, maille de plastique, ...).

5.4.2.3.2. Fixation chimique

Méthode qui consiste à fixer la surface des dunes de sable par épandage de produits dérivés pétrolier cette couche joue le rôle de ciment. Elle a l'avantage d'être placée facilement, le coût est très faible mais l'inconvénient c'est qu'elle empêche la reprise de la végétation naturelle, après 2 à 3 ans la couche commence à désagréger (ZAAFOUR, 1983).

5.4.2.3.3. Fixation biologique

La fixation définitive des dunes n'est possible qu'avec un reboisement ou par une reprise de la végétation adaptée. Ces végétaux doivent avoir des caractéristiques comme (enracinement pivotant profond, aptitude à supporter le déchaussement ou l'ensevelissement par le sable, résistance à l'évaporation intense,...).

5.4.2.4. Description des deux projets

▪ Premier projet

Durant l'année 1982, une dizaine de dunes de sable ont fait l'objet d'une préfixation mécanique. La technique utilisée consiste en un clayonnage systématique de toute la dune pour mieux stabiliser le sable et favoriser une remontée biologique.

Le réseau de fixation a porté sur une superficie totale de 4052m². Plusieurs matériaux ont été employés, dont principalement les fascines du laurier rose et l'alfa.

▪ Deuxième projet

Dans ce projet; de nouvelles techniques de fixation mécanique et biologique ont été appliquées sur une superficie de 3ha ; parmi les techniques de **fixation mécanique** testées

1 - Protection avec mèches de fibres Texan

La technique consiste à étaler les mèches sur une surface de 2500m², à une profondeur de 40-50cm cela permettra la fixation du sable et piégées les semences, ainsi que les débris végétaux

2 – Protection en grille (fascine en maille plastique)



Figure 8 : Dunes avant et après la fixation à l'aide des mailles en plastique.

Les mailles en plastique utilisées jouant le rôle d'un brise vent, différentes dimensions ont été utilisées (mailles plastiques 2x2 mm couleur verte ,3x3 mm et 7x7 mm couleur noire).

3-Protection avec des fascines d'espèces végétales

Cette protection est faite au moyen de branchage ou des touffes d'espèces disponibles, telles que l'Alfa et le Laurier rose ou l'Alfa et le roseau (fig.7).

La technique consiste en un clayonnage systématique de la dune. Si la hauteur de la dune est supérieure à 10m, la fixation porte sur 25% de la surface de la dune, par contre si elle est inférieure à 10m, la fixation porte sur 75%de la surface de la dune.

4 -Protection avec des plaques ondulées d'amiante en ciment

Ces plaques sont enfoncées dans le sol à 30cm de profondeur, les plaques sont posées par bandes parallèles espacées entre elles d'environ 5m. L'inconvénient de ces plaques, c'est qu'elles sont fragiles (trop de casses lors du transport et la mise en place).

5 -Protection en bande de pneus usés

La disposition des 3 bandes de pneus usés, est faite sur la partie de la dune exposée aux vents dominants, chaque bande compte 54 pneus, l'espace inter bande est de 3m. Cette méthode présente un inconvénient pratique lié aux difficultés de transport et d'emplacement des pneus sur les dunes de sable. ZAAFOUR (1983) n'observe que les plantations de Tamarix réalisées (à raison d'un plant au milieu de chaque pneu). Présente un d'échec élevé.

En conclusion on peut dire que la fixation mécanique est nécessaire pour stabiliser la dune dans un premier temps et permettre à la végétation spontanée et plantée de s'installer. Les fascines en mailles plastiques (2x2mm) donnent de meilleurs résultats.

Parmi les techniques de **Fixation chimique** testées qui consistent à pulvériser un produit chimique sur le sable « le bitume » qui colle les particules de sable et empêche leur déplacement par le vent, l'épandage se fait de plusieurs façons :

6 -Epandage du bitume en bandes parallèles

L'épandage du bitume s'est fait en 3 bandes parallèles de 50m de longueur et 1m de largeur chacune. L'inter-bande est de 3m. Les bandes sont placées parallèlement à la direction des vents dominants. ZAAFOUR (1983) a constaté qu'à l'exposition (Sud-Ouest) les dépôts sont de l'ordre de 20 à 50cm.

7 -Epandage du bitume en "v"

Trois bandes de bitume en V, de longueurs variables et séparées par 3m de sable vif ont été réalisées.

- 1^{ère} bande (30m x 1m)
- 2^{ème} bande (25m x 1m)
- 3^{ème} bande (20m x 1m)

L'emplacement des bandes en V est parallèle à la direction des vents Nord-ouest, ce qui a favorisé des dépôts de sable dont la valeur est de 70cm (ZAAFOUR, 1983), le recouvrement des produits bitume par le sable est de l'ordre de 20 à 50cm de hauteur.

8 -Epandage partiel du bitume

La surface pulvérisée est de 500m² porte sur les sommets des dunes avec une répartition homogène et avec une épaisseur variant entre 3 à 5cm.

Pour la fixation biologique des dunes plusieurs espèces ligneuses ont été utilisées qui ayant les caractéristiques suivantes :

- Système racinaire très développé ;
- Croissance rapide ;
- Les feuilles persistantes ;
- Une résistance au vent (dessèchement) et à la sécheresse.
- On note principalement : *Tamarix articulata* (Tarfa), *Lycium arabicum* (Aousedj) et *Retama retam* (Rtem) au niveau des dunes.
- *Atriplex halimus* (Guetaf), *Atriplex nummularia* (Guetaf) et *Eleagnus angustifolia* (Olivier de Bohème) sur les dépressions inter-dunaires.

Chapitre II: Description de la zone d'étude

Chapitre II : Caractères généraux de la zone d'étude

1. Situation géographique

Selon POUGET (1980), le Bassin des Zahrez, souligné par un remarquable cordon dunaire, illustre la plus typique de ces dépressions le long de la bordure septentrionale de l'Atlas saharien, en s'intercalant entre le chott Chergui à l'ouest et le Chott el Hodna à l'Est, elle s'inscrit dans le système des grands chotts des Hauts plateaux algériens. Quand au Zahrez Gharbi, il se situe dans les hautes plaines steppiques Sud Algériennes à environ 60km au Nord Ouest de Djelfa et à 200Km au sud d'Alger. Il est localisé entre un alignement de petites montagnes au nord correspondant aux premiers plissements de l'Atlas Saharien proprement dit.

Cette position dépressionnaire explique comme pour les Chotts Hodna et Chergui l'endoréisme de la majorité des Oueds de la région qui convergent en direction du Zahrez, en assurant son alimentation en eau chargée de sels dissous, lors de leur ruissellement sur les affleurements gypso-salins.

La zone d'étude d'El-Mesrane est située dans la commune de Hassi-Bahbah (Wilaya de Djelfa), elle se trouve à 30Km environ au nord de Djelfa., elle présente une altitude moyenne de 870m, et dont les coordonnées géographiques sont :

Longitude : 3°03'Est

Latitude : 34°36'Nord.

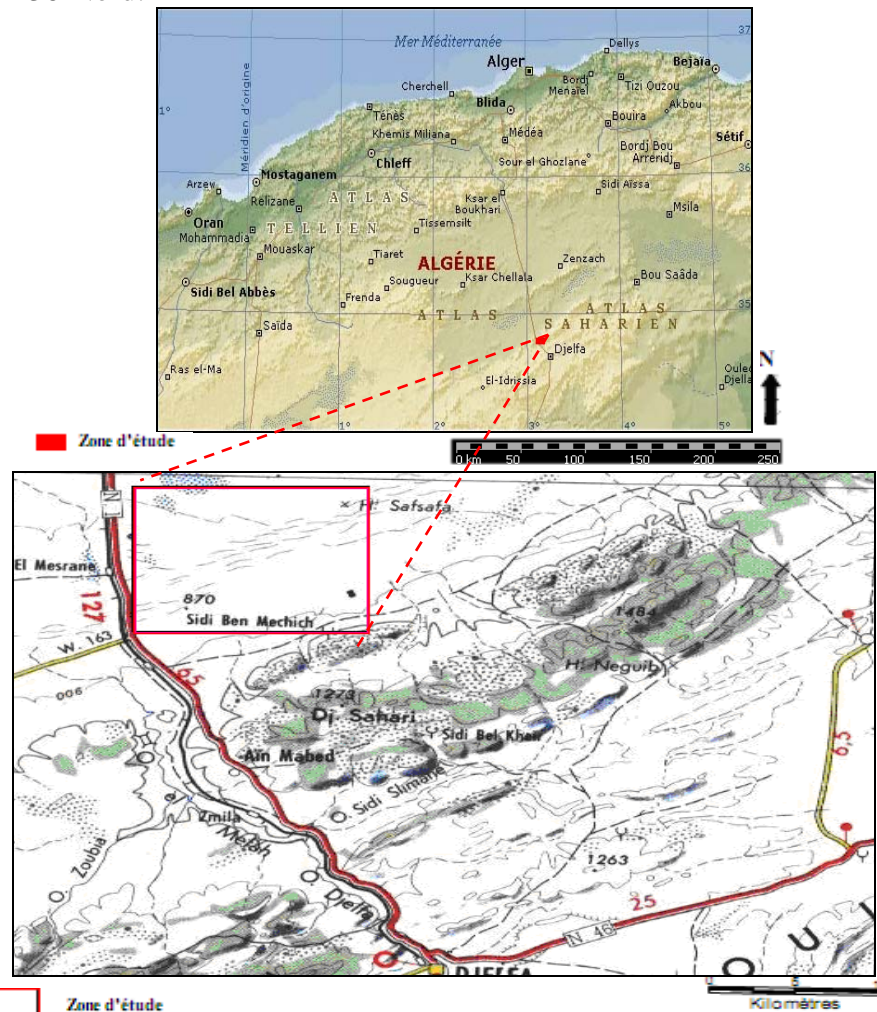


Figure 12 : Délimitation de la zone d'étude (Extrait de la feuille de Biskra au 1/500.000).

2. Géologie

Le Bassin de Zahrez marque l'emplacement d'un synclinal irrégulier, plus large à l'Ouest avec 50 km, qu'à l'Est avec 30 km, et d'environ 140 km de long avec une orientation Nord-est, Sud-ouest ; Les couches géologiques du bassin versant, appartenant essentiellement au crétacé, sont recouvertes par un Tertiaire continental surmonté par des dépôts du quaternaire.

Le Crétacé est composé par des couches de calcaires, de marnes, d'argiles et de grès massif poreux et perméable. Le Tertiaire, entièrement continental, est représenté principalement par un horizon conglomératique à la base et plus argileux au sommet. Les dépôts du Quaternaire sont principalement constitués par d'importants éboulis de pente, de dunes, d'alluvions torrentielles et de croûtes minces de calcaires discontinues.

Notre zone d'étude se situe dans le bassin du Zehrez Gharbi, qui est un système synclinal correspondant à une zone de subsidence où affleurent quelques rides anticlinales (calcaires et marnes), dont l'essentiel du remplissage est constitué par des sédiments de Tertiaires et Quaternaires.

3. Hydrologie

Selon QUEZEL (1978), du point de vue hydrogéologique, le Bassin des Zahrez offre vraisemblablement des ressources biologiques de grande importance. Localement des arrivées d'eaux souterraines sont " révélées " par des nappes phréatiques superficielles prennent naissance à plus de 30 m au-dessus du niveau de la Sebkha (nappe des Terres Blanches au Sud d'Hassi Bahbah, bordure Nord-Ouest du Zahrez Chergui.

Tous les oueds de l'atlas saharien ont une direction d'écoulement vers la grande cuvette de bassin du Zahrez sachant que le cours d'eau principal est Oued Mellah. Sa longueur est de 80 Km, il s'alimente dans le versant nord de djebel Guerbi au nord de la ville de Djelfa sur lequel se collent des petits oueds ; comme oued Lozen, oued Sidi Slimane,...

Tandis que vers l'ouest, oued Korrirech, oued El hadja et oued Mesrane, ils ont de taille moyenne et leur écoulement est souvent temporaire.

POUGET (1971), affirme que la profondeur de la nappe dans les dépressions inter-dunaires est comprise entre 50cm et 100cm pendant les périodes pluvieuses. Ceci est du aux fortes pluies, l'eau stagne sur la surface pendant plusieurs jours avec la présence d'une nappe dont le niveau descend rarement au dessous de 100cm, caractérisé par une faible salure comprise entre 0.2 à 3g/l.

4. Topographie

La topographie reste une cause d'évolution des sols très importante ; elle agit directement sur la répartition de l'eau infiltrée dans le sol, elle conditionne aussi les phénomènes d'érosion hydrique et partiellement d'érosion éolienne (POUGET, 1980). Le cordon dunaire s'amorce à l'Ouest de la plaine de oued Touil par un chapelet d'amas éolien où il finit par s'unifier au centre de la plaine des Zahrez Gharbi (Zaàferane) et va jusqu'à la plaine du Hodna à l'Est.

Deux ensembles bien distincts caractérisent le relief de la région :

- **Le cadre montagneux** : il est caractérisé par la chaîne Atlasique (Atlas saharien) au Sud et les chaînes de Sebaa-rous au Nord qui appartient également au dispositif morphologique de l'Atlas saharien.

-**La cuvette du Zehrez Gharbi** : celle-ci coincée entre les deux compartiments montagneux de l'Atlas saharien, se décompose en trois niveaux successifs à partir du versant Nord de l'Atlas saharien.

- Le piedmont au Sud se trouve à des altitudes comprises entre 900 et 1000m.

-La plaine d'épandage au centre à une altitude moyenne de 850m.

-Au Nord la sebkha qui constitue le niveau de base des écoulements régionaux.

Le cordon dunaire se maintient au 2/3 de la plaine .Il constitue une unité morphologique très dynamique et complexe.

5. Pédologie

Le sol est un milieu cohérent résultant de l'altération de la roche mère sous l'effet combiné des agents atmosphériques, biologiques et l'action humaine.

D'après (AIME ,1991) le sol, en plus, du rôle de la nutrition minérale constitue un système d'amortissement entre la plante et les conditions climatiques.

Les dépôts sableux formant le cordon dunaire des Zahrez sont considérés comme des sols des formations éoliennes. Selon (POUGET, 1971), on distingue trois ensembles dans le sens d'une évolution croissante qui est en étroite relation avec les facteurs extrinsèque, à savoir : climat, géomorphologie, végétation,...

- **Sols minéraux bruts d'apports éoliens** : se sont les dunes vives du cordon dunaire, les microdunes du bassin du Zahrez .La granulométrie de ces sols se caractérise par l'absence de la fraction fine (l'argile).La teneur en calcaire atteint rarement les 3%, alors que la matière organique reste insignifiante.

Généralement sur ces sols se développent timidement des espèces psammophiles. (Très faible pourcentage de recouvrement)

-**Sols hydromorphes** : ils occupent une aire très restreinte. Ils se rencontrent essentiellement dans les fonds des dépressions inter-dunaires, dans les lits d'oueds (O. Korririche, O. Mellah) et dans la sebkha. Ils présentent une matrice argilo-sableuse de couleur gris verdâtre, pour les gleys sous-jacents.

-**Sols minéraux bruts d'apports alluviaux** : ils se rencontrent dans les lits caillouteux des plus importants oueds (O. Korririche, Mellah, Zirg...).Ils sont formés d'un horizon A1 faiblement humifère .La teneur en carbone est moyenne .Le PH avoisine le 8 (DJEBAILI, 1984).Ils ont pour roche mère les accumulations des basses terrasses où ils sont constamment associés à des formations détritiques hétérogènes faiblement consolidés.

6- Morpho sédimentation

Les formations quaternaires dans le bassin du Zahrez Gharbi occupent une superficie très importante .Du discret voile sableux jusqu'aux formes majeures (dunes vives), ces formations actuelles prennent une extension considérable en relation avec l'abondance d'un matériel sableux fin et la réduction du couvert végétal.

Le cordon dunaire constitue par sa taille une forme semblable aux grandes accumulations sableuses du Sahara (Erg) orienté selon une direction Sud-Ouest, Nord-Est, sur 215km, depuis le Nord d'El-Idrissia, jusqu'à la rive Sud du Chott Hodna, leur origine selon (TRYSSAC, 1980) est l'érosion du bassin versant de Zahrez Gharbi.

Les mouvements qui font remodeler la morphologie du cordon dunaire due à l'activité éolienne sont surtout du Sud-Ouest et Nord-Est et cela créant un équilibre de force selon les saisons, toute fois il existe des couloirs dans l'Atlas saharien permettant le passage des vents du Sud qui entraînent le débordement latéral des sables qui crée un voile sableux sur le pâturage et les terrains agricoles.

L'accumulation et le dépôt de poussière et de sables transportés quand le vent perd de la vitesse ou quand il est trop chargé donne des formes différentes ; dans notre zone d'étude nous distinguons deux types de formes selon (TRYSSAC, 1980) ; les formes majeures et les formes mineures :

Les formes mineures: regroupe les nebkhas, les micro-dunes et les voiles sableux.

- **Micro-Nebkhas** : elles sont de petites tailles .Leur direction est théoriquement celle du dernier vent efficace .Elles se façonnent et se détruisent très rapidement .Leur présence sur le terrain reste indicatrice du dernier vent.
- **Nebkhas** : c'est une accumulation de sable éolien piégé par un obstacle de petite dimension (touffes de végétation, bloc rocheux) sous l'action du vent, les sables s'accumulent derrière l'obstacle en formant un monticule de pointe de flèche dont la hauteur diminue en s'éloignant de l'obstacle varie entre 30 et 70cm alors que la longueur peut varier de 50cm à 2m.
- **Voiles sableux** : cette forme mineure présente réellement un danger permanent, car c'est le résultat d'une activité éolienne récente, ils sont peu épais avec des aires de colonisation très importantes.

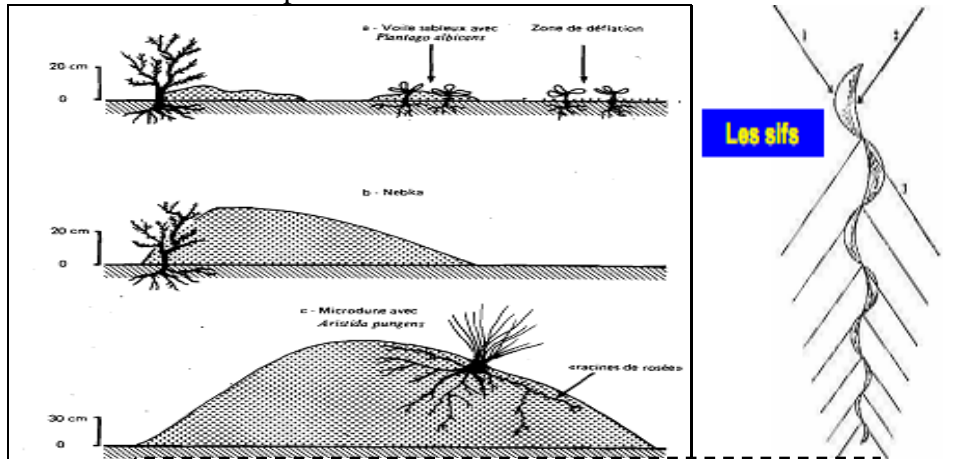


Figure 13 : Principales formations éoliennes mobiles.

Les formes majeures : sont les dunes vives qui forment le cordon dunaire .Ces formations majeures ont acquis une orientation presque qui est dû au vent WNW-ESE.

Les dunes qui forment le cordon dunaire sont des corps très meubles. Nous distinguons des dunes coalescentes avec des crêtes apparentes et sans crêtes, plus à l'Est, les dunes se présentent sous forme de Sif .La hauteur variée entre 6 à 15m.

7. La végétation

La végétation naturelle, pratiquement seule source de matière organique est indispensable à la formation et à l'évolution des sols, elle joue aussi un rôle protecteur considérable contre l'érosion (hydrique et éolienne).

La cuvette du Zahrez Gharbi est colonisée par une formation basse clairsemée (la steppe).

La steppe se compose de plantes vivaces xérophiles (*Stipa tenacissima*) en mélange avec des plantes annuelles, elle comporte trois variantes :

-La steppe à grandes graminées vivaces de piedmont et de bas de versant : Celle-ci évolue sur des sols non sales légèrement sablonneux à recailleux. L'espèce dominante est l'Alfa en association avec d'autres espèces chamephytes (Armoise blanche, *Lygeum spartum*).

-La steppe halophile en bordure de la sebka : elle comprend la steppe crassulescente typique des zones salées, les espèces dominantes sont ; *Salsola vermiculata*, *Atriplex halimus*.

-La steppe du cordon dunaire : il s'agit là des groupements typiques des sables. La végétation qui se développe est très clairsemée. Elle résiste difficilement aux vents .Dans les interdunes se développent une végétation d'hygrophile .L'espèce dominante est *Aristida pungens* en association avec *Pseudorucaria teretifolia*.

8. Cadre climatique

Le climat est un facteur déterminant pour le développement et la distribution des espèces végétales.

Nous avons essayé de caractériser la zone d'étude sur le plan climatique, en utilisant des données climatiques récentes, de 1980 à 2009 qui ont été récoltées auprès de l'O.N.M (Office National de la Météorologie), la station de référence (Djelfa) est localisée à une altitude de 1146m entre 3°15'E de longitude et 34°41'N de latitude. Nous l'avons retenue, pour sa proximité par rapport à la zone d'étude et aussi pour la disponibilité des données complètes portant sur une période assez appréciable.

Des séries chronologiques de données météorologiques, extraites des travaux réalisés par SELTZER (1946) sur une durée de 25 ans de 1913 au 1938 ont été utilisées comme référence.

8.1. Précipitations

D'après DJEBAILI (1978), la pluviosité c'est le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat. En effet, celle-ci conditionne le maintien et la répartition du tapis végétal d'une part, et la dégradation du milieu naturel par le phénomène d'érosion d'une autre part notamment, au début du printemps. Les précipitations varient selon trois paramètres :

- La latitude puisque la pluviosité diminue du Nord vers le Sud ;
- La longitude selon laquelle on note une diminution des précipitations d'Est en Ouest ;
- L'altitude, la pluie augmente avec l'altitude.

On signale que notre zone d'étude El Mesrane, se trouve à 870m d'altitude et la station météorologique de Djelfa ONM se situe à 1146m. Donc nous trouvons 276m de différence ; pour cela nous avons adopté le gradient de DJEBAILI (1984) pour les précipitations.

D'après DJEBAILI (1984); à chaque 100m de dénivellation; les précipitations augmentent de 20mm.

D'après STEWART P (1969) in TAZAIRT K (1989) ; les précipitations augmentent de 40mm par 100m de dénivellation.

8.1.1. Précipitation interannuelle

À partir des données récoltées sur trente ans (1980-2009), nous avons pu tracer la courbe correspondante aux variations interannuelles des précipitations (fig.14).

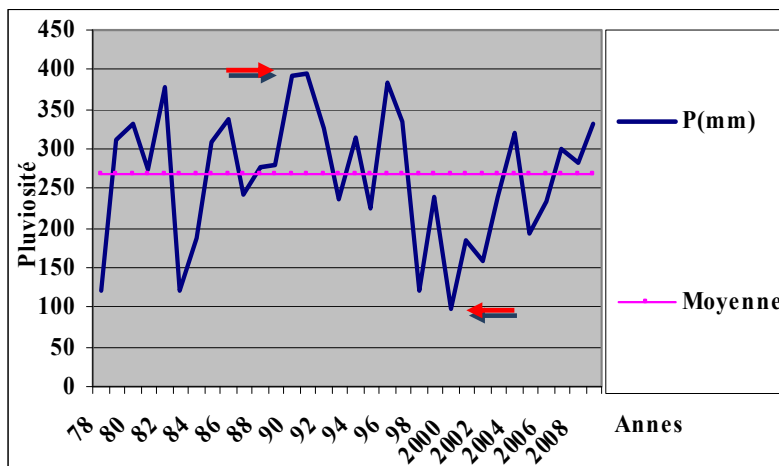


Figure 14 : Fluctuation des pluviométries moyennes annuelles sur trente ans 'de 1980 à 2009'

Le régime pluviométrique de la zone d'étude est caractérisé par une grande variabilité interannuelle, avec une tendance de diminution des totaux annuels des précipitations durant les dernières années. Sur 30 ans, nous disposons des données de 1980 à 2009, nous enregistrons une moyenne des précipitations annuelles de l'ordre de 268.57mm/an, soit une

diminution de 359,43mm du total pluviométrique de la période de référence de SELTZER (1913-1938).

Comme l'illustre la figure 14, une variabilité pluviométrique interannuelle de plus en plus importante est remarquée ; avec un minimum de 97mm qui est enregistré en 2000, et un maximum 396.3mm en 1991. Les années sèches succèdent à des années pluvieuses selon un rythme aléatoire. Mais les excédents sont de plus faible amplitude et surtout de plus courte durée (HIRCHE et al, 2007).

Selon LE HOUEROU (1969); depuis les premières observations météorologiques au début de ce siècle: « On enregistre de grandes périodes de quelques dizaines d'années anormalement pluvieuses ou sèches et surtout un rythme, certes très irrégulier, portant sur 5-6 ans : 1 à 2 années humides et le reste en années moyennes ».

Pour visualiser ce rythme pluvial, nous avons subdivisé les données récentes en trois décennies ; (1980-1989), (1990-1999) et (2000-2009), comme le montre le tableau 1 ; les valeurs annuelles moyennes sont comparées à la moyenne corrigée des précipitations (268.57mm), pour déterminer la nature de l'année.

Tableau 1: Succession des années pluvieuses et sèches durant les trois dernières décennies.

PREMIERE DECENNIE (1980-1989)									
1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
P	P	P	S	S	P	P	M	P	P
DEUXIEME DECENNIE (1990-1999)									
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
P	P	P	M	P	M	P	P	S	M
TROISIEME DECENNIE (2000-2009)									
2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
S	S	S	M	P	S	S	P	P	P

P : Année extrêmement pluvieuse, P : Année pluvieuse, M ; Année moyennement pluvieuse
 S : Année sèche, S : Année extrêmement sèche.

Sur 30 ans, le tableau 1, présente la succession des années pluvieuses, sèches et moyennes, dont 17 années ont enregistré des valeurs supérieures à la moyenne (268.57mm) (dont 12 ont plus de 300mm) et 13ans inférieures à cette moyenne (dont 4 ont moins de 150mm).

Le rythme de la première décennie est du type : 3P2S2P1M2P ; la deuxième décennie 3P1M1P1M2P1S1M, et la dernière 3S1M1P2S3P. La première décennie est très humide avec sept années pluvieuses (7P/1M/2S), la deuxième un peu moins humide (6P/3M/1S), par contre la troisième décennie est la plus sèche (4P/1M/5S), On déduit qu'il y a une augmentation des années sèches et une régression de celles pluvieuses. Cette variabilité interannuelle pourrait accentuer l'aridité du climat (LE HOUEROU ,1969).

8.1.2. Précipitation saisonnière moyenne

Selon QUEZEL (1978) ; la pluviosité annuelle moyenne est une donnée fondamentale à prendre en compte : la quantité d'eau reçue annuellement reste un facteur essentiel pour la vie végétale en zone aride. Pour les sols, les valeurs maximales de pluviosité ont une grande importance. Elles accentuent les processus d'érosion hydrique et favorisent les migrations des éléments les plus solubles (sels, gypse, calcaire).

Pour le végétal, la répartition des pluies est plus importante que la quantité pluviométrique annuelle. L'eau utile pour le végétal est celle qui est disponible durant son cycle de développement (ACHOUR, 1983).

D'après l'étude de SELTZER (1913-1938), le régime saisonnier de la wilaya de Djelfa était du type HAPE ; il représente un minimum estival, ce qui est l'une des caractéristiques

essentielles du climat méditerranéen (EMBERGER, 1955 et DAGET, 1977). Les pluies d'automne favorisent la germination et les pluies de printemps accélèrent le développement de la végétation.

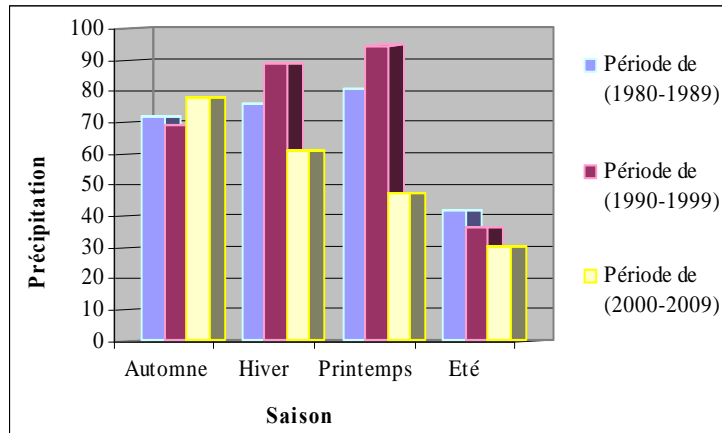


Figure 15 : Variations saisonnières des pluviosités pendant les trois dernières décennies (1980-1989), (1990-1999) et (2000-2009)

Il ressort de l'analyse de la figure 15, que les cumuls de précipitations d'Hiver et de Printemps de la décennie (2000-2009), ont diminué de 27,82mm et de 47,31mm, par rapport à la décennie précédente, mais en Automne une légère augmentation de 10mm a été recensée. Cette régression de pluviosité influe sur le régime saisonnier, qui était du type PHAE pour les deux premières décennies, mais il est devenu du type AHPE pour la dernière décennie dont la moyenne pluviale annuelle enregistrée est de l'ordre de 233,93mm, concentrée surtout en Automne. Cette décennie (2000-2009), est considérée comme la plus sèche, par rapport aux deux premières décennies qui ont marqué des moyennes annuelles de 274,52mm et 297,28mm respectivement (tableau 1).

8.1.3. Précipitation mensuelle moyenne

Les régimes mensuels des précipitations durant les périodes d'étude (1980-1989), (1990-1999) et (2000-2009) sont présentés dans la figure 16.

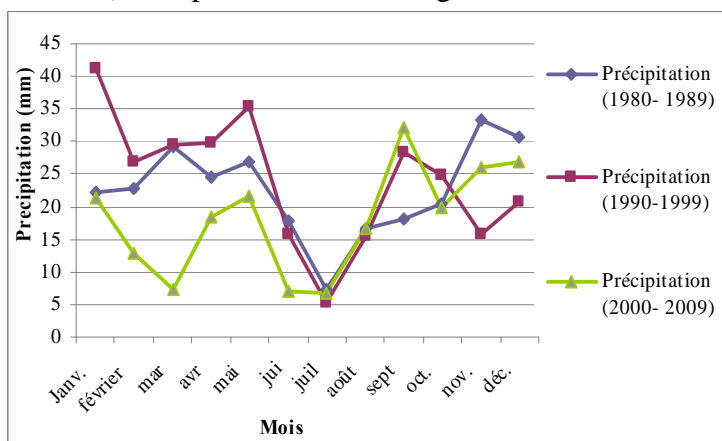


Figure 16 : Variations mensuelles des pluviosités pendant les trois dernières

La figure 16, illustre une nette différence entre les trois périodes ; la période (1990-1999) est la plus pluvieuse pendant les mois de Janvier, Février, Mars, Avril et Mai (c'est à dire les saisons d'Hiver et de Printemps).

La période (2000-2009), s'est caractérisée par une diminution des précipitations mensuelles ; cette baisse du cumul affecte en particulier les mois pluvieux de l'année c'est-à-dire, la période qui s'étale entre le mois de Novembre et Mai, aggravé en Février (12,76mm), Mars (7,41mm), Avril (18,36mm) et Mai (21,62mm). Une légère augmentation est enregistrée au mois de Septembre (32,12mm). Ce qui explique le changement de régime saisonnier.

8.1.4. Nombre de jours de pluie par mois

Comme le souligne DUBIEF (1950), ce qui est important pour la végétation n'est pas de savoir le nombre de millimètres d'eau qu'il reçoit, mais de savoir combien du temps la plante aura cette eau à sa disposition. Pour compléter nos conclusions, nous avons tracé la distribution du nombre de jours de pluie par mois, pour chaque décennie (fig.17).

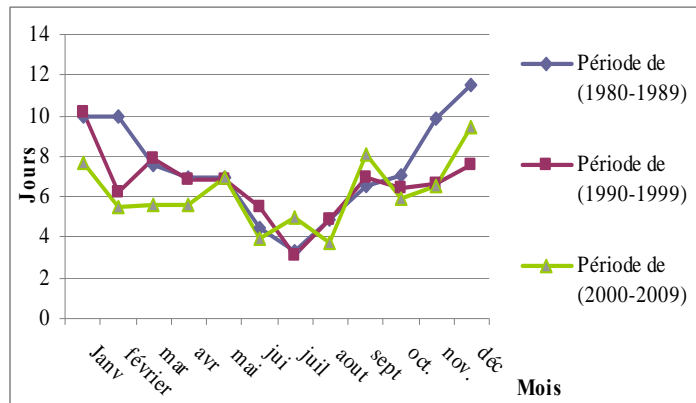


Figure 17: Variations mensuelles du nombre de jours de pluie pendant les trois dernières décennies.

La figure 18, illustre très bien la fluctuation du nombre moyen annuel de jours de pluie, oscillant entre 73 jours pour la période de (2000-2009), 89 et 79 jours pour les périodes (1980-1989) et (1990-1999). Donc la première décennie reste la plus humide et la dernière la plus sèche.

8.1.5. Nombre de jours de pluie par saison

La figure 18 représente la répartition saisonnière des jours de pluie pendant les périodes d'étude.

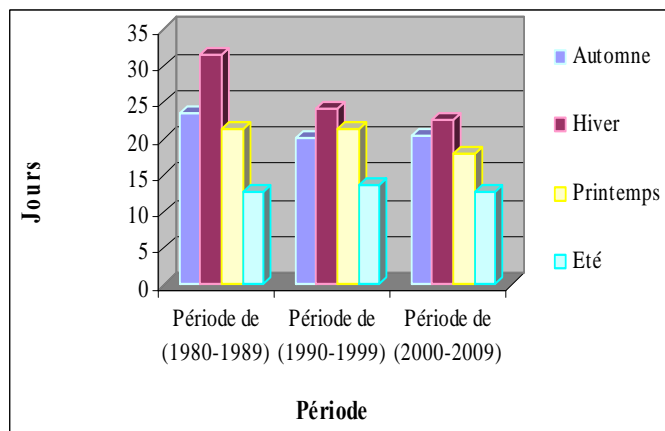


Figure 18 : Variation saisonnière du nombre de jours de pluie pendant les trois dernières décennies

Du point de vue saisonnier, l'Hiver reste la saison la plus arrosée, malgré que le nombre moyen annuel de jours pluvieux diminue d'une décennie à une autre ; 31 jours, 24 jours et 22 jours de pluie enregistrés successivement pour chaque décennie.

8.2. Température

Comme nous l'avons signalé plus haut, nous avons considéré les gradients calculés par SELTZER (1946), cet auteur propose pour chaque 100 m de dénivellation un gradient de ; 0,7°C pour la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (M) et 0,4°C pour la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m).

8.2.1. Températures moyennes mensuelles et annuelles

Dans la croissance et le développement des végétaux, les températures ont un rôle essentiel. Les deux facteurs limitant sont la durée du froid hivernal et la sécheresse estivale (KADIK, 1984).

Pour les températures, nous disposons des données datant de 1980 au 2009, comme le montre le tableau 2.

De l'analyse de ce tableau, on déduit que les températures moyennes mensuelles $(M+m)/2$, accusent un minimum de l'ordre de 6.63°C, 6.64°C et 6,33°C au mois de janvier, respectivement pour les trois décennies, et un maximum de l'ordre de 27.18°C, 27.14°C et 28.44°C au mois de juillet. D'après ces données, nous recensons une augmentation des températures surtout en troisième décennie par rapport à un minimum de 4.25°C et un maximum de 24.25°C qui sont enregistrés en période de SELTZER (1913-1938).

Tableau 2 : Variations mensuelles et annuelles des températures pendant les trois décennies.

Moyennes maximales des températures mensuelles et annuelles « M » en °C													
Source	J	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
Seltzer	de 1913 à 1938												
	9,30	11,0	14,3	18,7	23,4	28,5	32,9	33,5	27,50	20,10	13,80	9,80	20,23
O.N.M Djelfa	de 1980 à 1989												
	11,69	13,88	16,85	20,76	25,01	31,78	35,44	35,04	29,83	23,21	18	12,42	22,82
	de 1990 à 1999												
	11,56	13,88	16,69	17,53	25,61	31,61	35,63	35,23	29,33	22,91	19,75	12,62	22,69
O.N.M Djelfa	de 2000 à 2009												
	11,78	13,8	18,18	21,24	24,92	31,39	36,43	35,05	30,06	23,93	16,01	11,77	22,88
Moyennes minimales des températures mensuelles et annuelles « m » en °C													
Seltzer	de 1913 à 1938												
	-0,8	0,1	2,10	4,10	7,80	12,10	15,10	15,00	12,10	7,20	3,5	-0,10	6,5
O.N.M Djelfa	de 1980 à 1989												
	1,57	2,89	3,99	7,44	11,06	16,4	18,93	18,96	14,97	10,08	5,98	2,29	9,54
	de 1990 à 1999												
	1,72	2,92	4,18	6,35	11,57	16,3	18,66	19,09	15,4	10,36	5,92	3,44	9,65
O.N.M Djelfa	de 2000 à 2009												
	0,89	2,24	4,99	7,38	11,91	16,8	20,46	19,59	15,31	11,56	5,42	2,77	9,94
Températures moyennes mensuelles et annuelles « T » en °C													
Seltzer	de 1913 à 1938												
	4,25	5,55	8,20	11,46	15,6	20,30	24	24,25	19,80	13,65	8,65	4,85	13,35
O.N.M Djelfa	de 1980 à 1989												
	6,63	8,38	10,42	14,1	18,03	24,09	27,18	27	22,4	16,64	11,99	7,35	16,18
	de 1990 à 1999												
	6,64	8,4	10,43	11,94	18,59	23,95	27,14	27,16	22,36	16,63	12,83	8,03	16,17
O.N.M Djelfa	de 2000 à 2009												
	6,33	8,02	11,58	14,31	18,41	24,09	28,44	27,32	22,68	17,74	10,71	7,27	16,40

8.2.2 Température moyenne des minima du mois le plus froid « m » et des maxima du mois le plus chaud « M »

Selon DJEBAILI (1984), la moyenne des minima du mois le plus froid « m », et la moyenne des maxima du mois le plus chaud « M », sont les deux extrêmes thermiques entre lesquels se déroule la vie végétale.

Pour étudier ces deux paramètres, nous les avons représentés dans les deux graphes de la figure 19 : le graphe A, illustre sur trois décennies les variations de « m » et le graphe B illustre celles de « M ».

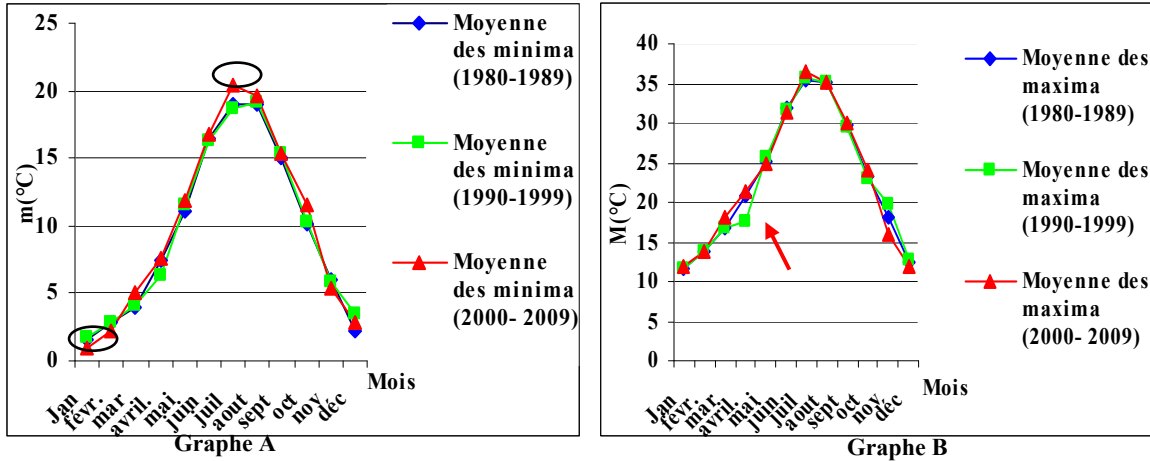


Figure 19 : Variation de la moyenne des minima du mois le plus froid « m » graphe A et de la moyenne des maxima du mois le plus chaud « M » graphe B, pour les trois décennies

Pour les moyennes minimales mensuelles du mois le plus froid (m) ; une diminution a été enregistrée en saison Hivernale (Janvier, Février et Décembre), et une augmentation en saison Estivale (Juin, Juillet et Août) pendant la troisième décennie (Graphe A). Ceci, aurait une répercussion sur la moyenne annuelle des « m » qui augmente d'une décennie à une autre ; nous avons enregistré des valeurs de $m=9,54^{\circ}\text{C}$, $m=9,65^{\circ}\text{C}$ et $m=9,94^{\circ}\text{C}$ successivement.

Pour les moyennes maximales mensuelles du mois le plus chaud (Graphe B), nous avons enregistré une diminution au mois d'Avril pour la période (1990-1999), Novembre et Décembre pour la période (2000-2009), mais une augmentation durant les autres mois pour les trois décennies, ce qui explique l'augmentation des moyennes annuelles de « M » qui augmentent d'une décennie à une autre $M=22,82^{\circ}\text{C}$, $M=22,69^{\circ}\text{C}$ et $M=22,88^{\circ}\text{C}$.

Nous pouvons donc déduire qu'il y'a une augmentation significative des températures maximales du mois le plus chaud « M » qui sont passées de $35,44^{\circ}\text{C}$ (1980-1989) à $36,43^{\circ}\text{C}$ (2000-2009), en revanche aux températures minimales du mois le plus froid « m » qui sont diminuées de $1,72^{\circ}\text{C}$ (1990-1999) à $0,89^{\circ}\text{C}$ (tableau 2).

8.2.3. Ecart thermique

Indique le caractère continental du climat, la wilaya de Djelfa reste aux amplitudes thermiques qui dépassent les 30°C . Il est obtenu en calculant la différence entre la température moyenne maximale du mois le plus chaud (M) et la température moyenne minimale du mois le plus froid (m), (Tableau 3).

Tableau 3 : Ecart thermique et classe du climat

La décennie	Ecart thermique (M-m)	Classe du climat
Première décennie 1980-1989	$33,87^{\circ}\text{C}$	Semi- continentale
Deuxième décennie 1990-1999	$33,91^{\circ}\text{C}$	Semi- continentale
Troisième décennie 2000-2009	$35,54^{\circ}\text{C}$	Semi- continentale
La trentaine (Seltzer) 1913-1938	$34,3^{\circ}\text{C}$	Semi- continentale

Source: Données de Seltzer et l'ONM de Djelfa.

De 2000 au 2009, l'écart thermique montre un degré élevé par rapport à la période de SELTZER et aux deux premières périodes ; 1980-1989 et 1990-1999 qui ont enregistré des valeurs faibles en les comparant à celui de la période de SELTZER (1913-1938).

8.3. Autres paramètres climatiques

8.3.1. Gelée

D'après SELTZER (1946), la menace de gelée commence lorsque le minimum de la température tombe au dessous de 10°C, la moyenne est de 7 jours de gelée.

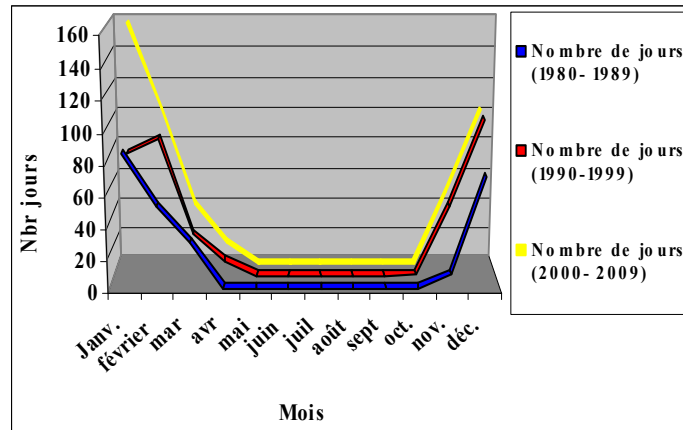


Figure 20 : Variation du nombre de jours de gelée dans les trois dernières décennies.

La figure 20, illustre une augmentation de nombre de jours de gelée d'une décennie à une autre ; 249 jours en (1980-1989), 356 jours en (1990-1999) et 465 jours en (2000-2009) ; concentré surtout en saison Hivernale ; ce qui peut avoir un impact sur le développement de la végétation (surtout les Thérophytes). Un Hiver particulièrement froid peut considérablement retarder la reprise de la végétation lors du réchauffement printanier.

8.3.2. Vent

Les effets du vent sont partout sensibles et se traduisent par le transport et l'accumulation du sable, le façonnement des dunes, la corrosion et le polissage des roches et surtout l'accentuation de l'évaporation (MONOD, 1992).

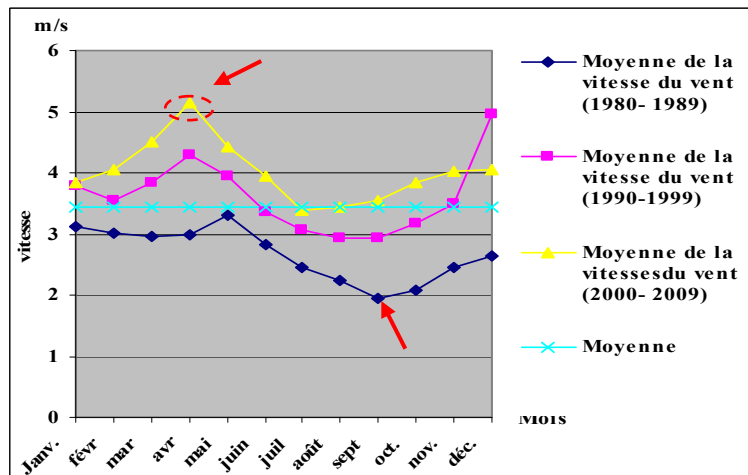


Figure 21 : Variation moyenne mensuelle de la vitesse du vent (1980-2009).

Sur la période considérée (1980-2009), la vitesse moyenne mensuelle varie généralement de 1,96m/s à 5,15m/s, et augmente d'une période à une autre (fig.21), ce qui fait augmenter les moyennes annuelles du 2,66 (1980-1999) à 4,04m/s (2000-2009).

Pendant l'Hiver et le Printemps les vents viennent surtout du SW et du NW, puis du NE et enfin du N, mais en Eté et en Automne, ces vents sont relayés par les vents du SW.

Ces deux dominantes saisonnières sont à l'origine d'une forte mobilisation dunaire. La vitesse moyenne annuelle de la trentaine considérée (1980-2009) est de 3,43m/s.

Selon les travaux de SELTZER (1913-1938). Les vents dominants proviennent du W et du NW. En revanche à la période (1980-2009) la direction dominante est du SW et secondairement du N. On a remarqué que les vents du nord dominent pendant les années 2007,2008 et 2009.

8.3.3. Humidité de l'air

L'humidité relative de l'air au Sahara est faible, elle est généralement comprise entre 20 et 30% pendant l'été et s'élève à 50 et 60% parfois davantage en janvier (OZENDA, 1991; LE HOUEROU, 1995)

Sur une période de 30 ans (1980-2009) réparties sur trois décennies, nous avons relevé un minimum de l'ordre de 33.3 %,37% et 33% au mois de Juillet et un maximum de 73.7%et 81.2% au mois de Décembre pour la première et la dernière décennie, mais au mois de Janvier ce maximum de l'ordre de 77.3% est enregistré pour la deuxième décennie.

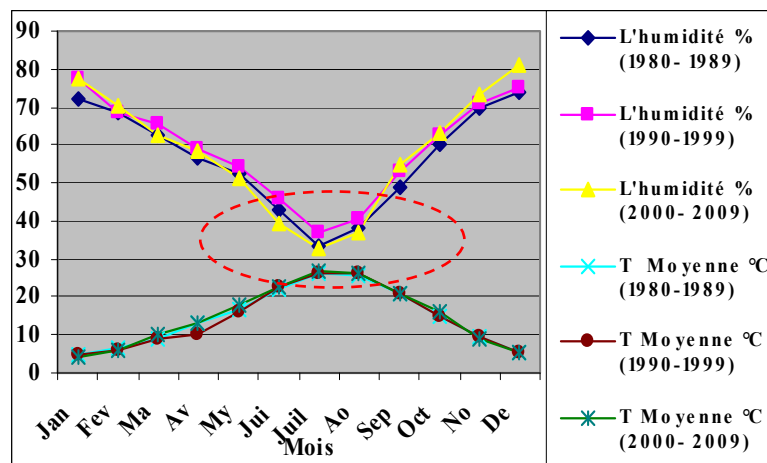


Figure 22 : Variation de l'humidité (1980-2009).

D'après cette figure on voit nettement que l'humidité de l'air est inversement proportionnelle à la température (Fig.22), ce qui explique la diminution intense de l'humidité en période Estivale.

8.3.4. Humidité du sol

DELEMPS ; (1978) affirme qu'après une pluie, l'eau pénètre dans la dune et y demeure jusqu'à la saison de pluie suivante et qu'après une longue période de sécheresse, la quantité d'eau est quatre fois plus faible dans un sol sableux que dans un sol limoneux. Le même auteur ajoute qu'après un an sans précipitation, une couche de sable reste humide au dessous d'un mètre de profondeur et la tranche humectée en centimètre est

approximativement égale à la couche de précipitation exprimée en millimètre : 150mm de pluie donne 150cm de sol humecté.

Le sol dunaire possède une faculté due aux propriétés physiques du sable.

- Faible remontée capillaire entraîne une faible évaporation, l'eau s'infiltré rapidement et remonte lentement.
- Une couche de sable sec à la surface aide considérablement à protéger les couches les plus profondes contre l'évaporation ; « Self mulching », qui a un effet très positif pour l'environnement dunaire .En plus de son rôle isolant, elle est capable également d'absorber l'humidité de l'air directement en contact avec le sol.
- Capacité de rétention en eau des sables dunaires très faible, de l'ordre de 6 à 9% (FERLIN, 1981) et même moins dans les sables grossiers.
- Faible teneur en éléments colloïdaux fait que le point de flétrissement est rapidement atteint, et donc presque la totalité de l'eau est disponible pour les plantes.

D'après une étude faite en 1987 par l'I.N.R.F, sur la station d'étude et qui a montré que le dessèchement du sol augmente progressivement du mois d'Avril au mois de Juin. Au mois d'Avril, Mai la saturation du sol en eau est atteinte, le sol présente une humidité qui permet le développement optimal des plantes ; mais un dessèchement progressif du sol est enregistré lié à la période de chaleur et de sécheresse qui limite la croissance des plantes. Les variations de l'humidité semblent épouser étroitement les variations saisonnières de la pluviosité, mais en saison estivale, le sol dessèche sous l'effet de la température qui accentue le phénomène d'évaporation.

8.3.5. Evaporation

Selon DUBIEF, (1950) le Sahara apparaît comme la région du monde qui possède l'évaporation la plus élevée qui se définit par l'épaisseur, exprimée en millimètre, de la couche d'eau évaporée dans l'unité du temps que l'on considère : jours, mois, année. Cette perte d'eau, peut avoir comme origine:

- l'évaporation de masses d'eau libre ou de celle contenues dans le sol: évaporation physique.
- l'évaporation par les végétaux (qui peut être considérée comme secondaire dans les régions Sahariennes) : évaporation physiologique.

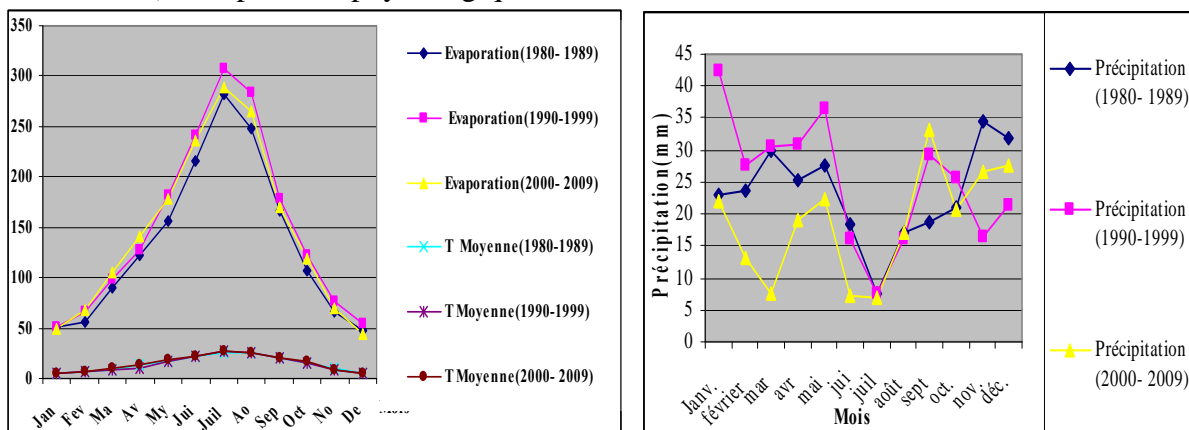


Figure 23 : Variation des températures moyennes, des précipitations et d'évaporation pendant les trois dernières décennies.

D'après OZENDA (1991) l'évaporation : c'est un phénomène physique qui augmente avec la température, la sécheresse de l'air et son agitation. D'après la figure 23, on déduit que l'évaporation est intensifiée d'une décennie à une autre; maximale en deuxième décennie (149.23mm), causée par l'augmentation des températures Estivales et la dominance des vents secs «SW» pendant toute cette période, ce qui a accentué le phénomène d'évaporation, (Fig.24). On enregistre 144.68mm en troisième décennie opposant à 133.79mm pour la première.

Il y a lieu de remarquer que les plus fortes chaleurs coïncident avec les précipitations les plus faibles (mois de Juillet et Août) et que la période pluvieuse coïncide souvent avec les températures minimales les plus basses. D'après POUGET (1980) ; ces valeurs nous renseignent sur les difficultés rencontrées par la vie végétale, et sur le degré d'adaptation des plantes.

8.4 Synthèses climatiques

« La synthèse climatique met en évidence les caractéristiques du climat méditerranéen permettant ainsi une délimitation des différents étages de végétation » (Rivas-Martinez, 1981 ; DAHMANI, 1997).

Afin de caractériser notre zone d'étude sur le plan bioclimatique, nous avons considéré l'indice d'aridité de Martonne, l'indice xéothermique d'Emberger, le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson (1953) et le quotient pluviothermique d'Emberger (1930). Ainsi pour évaluer l'intensité et l'évolution de la sécheresse du climat méditerranéen.

8.4.1 .Indice d'aridité de Martonne

L'indice d'aridité de Martonne évalue l'intensité de la sécheresse (l'aridité) d'une région. Il est calculé comme suit :

P : pluviosité moyenne annuelle (mm)
T : Température moyenne annuelle (°C)

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Tableau 4 : Indice de MARTONNE de trois dernières décennies.

	N° de période	l'indice de Martonne
Première décennie 1980-1989	01	10,62
Deuxième décennie 1990-1999	02	11,44
Troisième décennie 2000-2009	03	8,51
La trentaine de Seltzer 1913-1938	04	13,18

Source: ONM de Djelfa

Le tableau 4, présente des variations importantes de cet indice. On note pour les deux premières décennies (1980-1989), (1990-1999) et la trentaine de SELTZER (1913-1938) que l'indice de Martonne les a classées sous un régime semi-aride à écoulement temporaire et à formation herbacée, par contre la dernière décennie (2000-2009) a une tendance désertique à écoulement temporaire à drainage intérieur (fig.24).

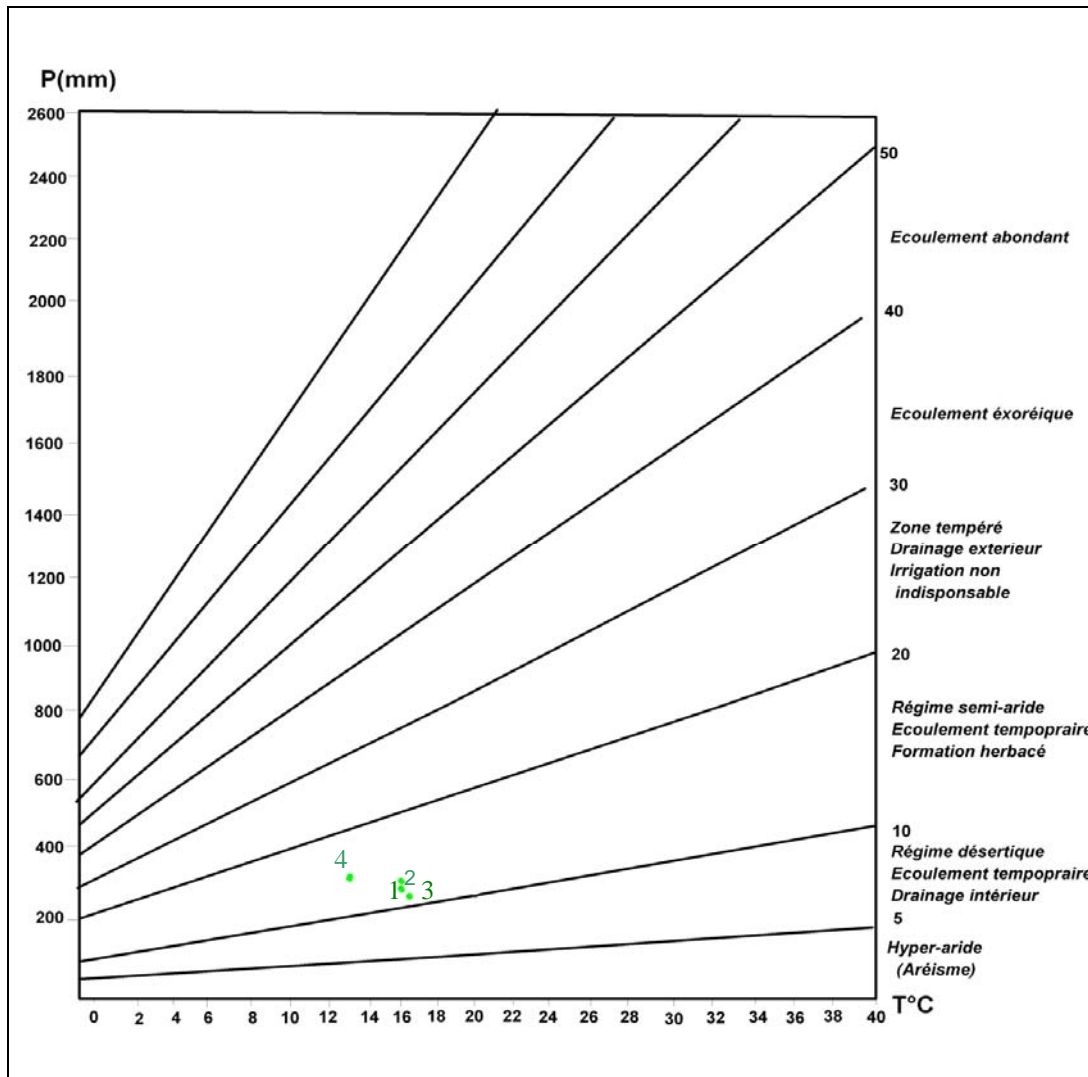


Figure 24: Abaque de l'indice d'aridité de Martonne.

8.4.2 .L'indice xérothermique d'EMBERGER

L'indice de Xéricité ou de Sécheresse (S) qui caractérise l'intensité de la sécheresse estivale est égal à:

$$S = P_e / M$$

P_e : le total des précipitations estivales

M : la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (DAGET, 1977).

La valeur de cet indice est $S=1$ pour la période (1913-1938) et de 1,17 pour (1980-1989), de 1,02 pour (1990-1999) et de 0.83 pour (2000-2009). Cet indice varie dans le même sens que les précipitations (DAGET, 1977) et à cet effet, sa valeur est importante en première décennie caractérisée par des précipitations estivales plus élevées.

8.4.3. Diagramme Ombrothermique de BAGNAULS et GAUSSEN

BAGNAULS et GAUSSEN (1953) considèrent « qu'un mois est sec si le total des précipitations est inférieur ou égal au double de la moyenne des températures ».

$$P \leq 2T$$

La représentation des températures moyennes mensuelles (T) et des précipitations mensuelles (P) sur le même graphique met en évidence la période sèche de l'année durant les trois périodes d'étude: (1980-1989), (1990-1999) et (2000-2009) (fig.25).

On constate un allongement de la période sèche de la région d'étude durant la troisième période (2000-2009), elle s'étale sur 09 mois (de la mi-février jusqu'au début de Novembre). En effet, la période sèche de SELTZER (1913-1938) a été débutée du mois de Mai jusqu'au début d'Octobre durant cinq mois ; tandis qu'elle s'étale sur 06mois (mi-avril à mi-octobre) pour la décennie (1980-1989), et de la fin de Mai jusqu'à Novembre pour (1990-1999). Cet allongement est expliqué par la diminution des pluies Hivernales et l'augmentation des températures surtout en dernière décennie (fig.23).

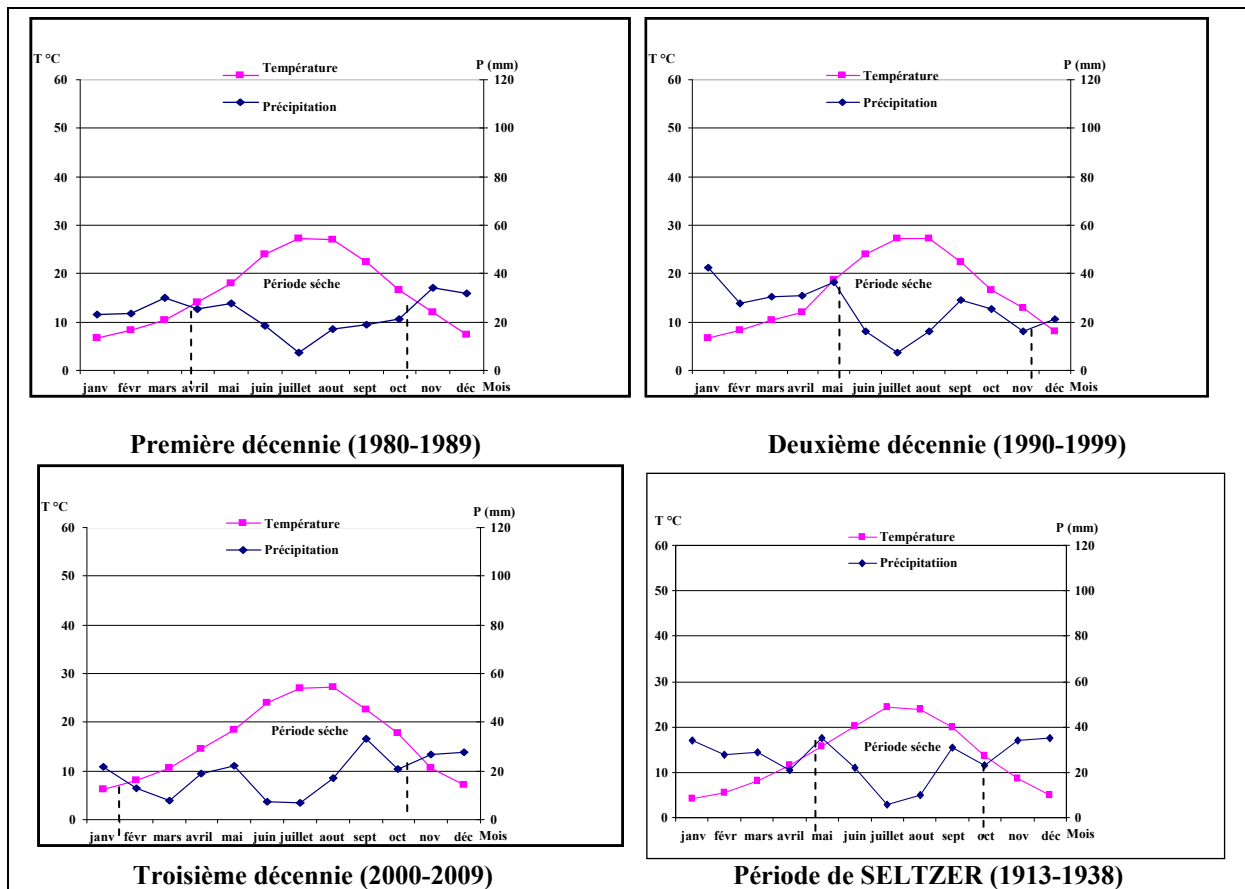


Figure 25 : Diagramme Ombrothermique de BAGNAULS et GAUSSEN des trois dernières décennies et de la période de SELTZER (1913-1938).

8.4.4. Quotient pluviothermique d'EMBERGER

Pour définir les divers types de bioclimat de la région méditerranéenne, EMBERGER (1933-1955) a proposé la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

P : pluviosité exprimée en mm.

M et m : moyenne des maxima et des minima en degré Kelvin.

HIRCHE (1995) a signalé que plus ce coefficient est faible plus nous assistons à une sécheresse annuelle sévère.

EMBERGER, en conjuguant le quotient pluviométrique « Q_2 » avec « m » a construit un climagramme avec « Q_2 » en ordonnée et « m » en abscisse (fig.26). Ceci nous a permis de localiser nos périodes d'étude sur ce climagramme.

Tableau 5 : Quotient pluviothermique d'EMBERGER des périodes d'étude.

	N° de décennie	m	Q_2
Première décennie 1980-1989	01	1,57	27,8
Deuxième décennie 1990-1999	02	1,72	30,05
Troisième décennie 2000-2009	03	0,89	22,56
La trentaine de Seltzer 1913-1938	04	-0,8	30,80

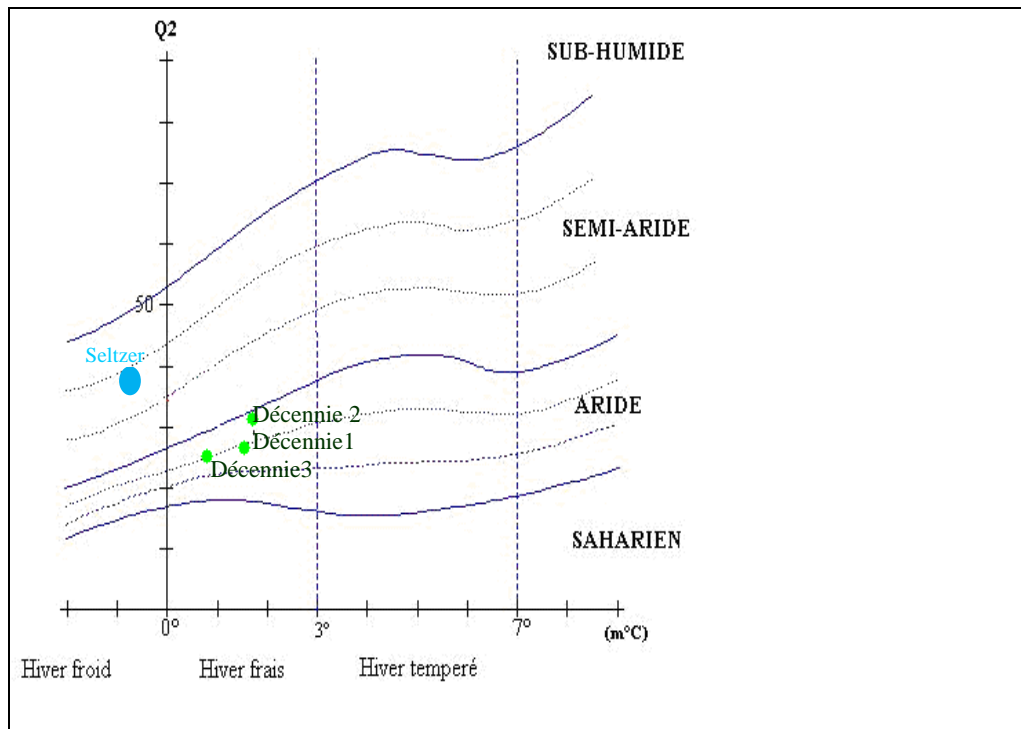


Figure 26: Situation des périodes d'étude sur le Climagramme d'Emberger.

Le calcul du Q_2 d'Emberger de la station d'étude durant les trois dernières décennies révèle que la valeur de cet indice a diminué de 30.05 en (1990-1999) à 22.56 en (2000-2009), ce qui fait un glissement de l'étage bioclimatique de la troisième décennie vers la gauche et légèrement vers le bas sur le Climagramme d'Emberger de la figure 26.

Le climagramme d'Emberger précise que l'étage bioclimatique de cette station pendant la période de de Seltzer (1913-1938) est le semi-aride à hiver froid mais actuellement il se situe dans l'étage aride à hiver frais. (Fig.26).

Conclusion

De cette partie il ressort :

Du point de vue climatique la région fait partie du climat méditerranéen, semi continental contrasté, à un étage bioclimatique aride à hiver frais.

Nous enregistrons actuellement pour la période 2000-2009 qu'elle est:

- La décennie la plus sèche, elle a enregistré une période sèche de 09 mois avec une diminution de la moyenne annuelle des précipitations. Et une diminution de nombre de jours de pluie.
- Une augmentation de l'amplitude thermique et des températures moyennes mensuelles et annuelles induisant une augmentation de l'évaporation moyenne annuelle.
- Une augmentation de nombre de jours de gelée et un redoublement de vitesse du vent.

Chapitre III: Méthodologie et échantillonnage

Chapitre III- Méthodologie et échantillonnage

Cette étude a pour but d'évaluer l'incidence de principaux facteurs climatiques sur la croissance spatio-temporelle des principales espèces fixatrices des dunes (*Tamarix gallica* L, *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Retama retam* Webb, *Eleagnus angustifolia* L et *Lycium arabicum* Boiss) au niveau du cordon dunaire d'El-Mesrane Wilaya de Djelfa. Pour cela, nous avons adopté une démarche méthodologique basée sur la comparaison des relevés phytoécologiques effectués en 1984 et 1987 à ceux de 2005 et 2009, qui nous permettront de recenser les espèces qui ont donné les meilleurs résultats en fixant et colonisant efficacement les dunes.

1. Choix des parcelles échantillonnées

Des relevés phytoécologiques ont été réalisés pendant les mois de Mars et d'Avril des années 2005, 2008 et 2009. Au total 60 parcelles réparties sur six stations le long de la surface du projet ont été échantillonnées (fig.9). Des dunes fixées mécaniquement par la maille plastique (noire, verte) ou/et les branchages de pin d'Alep et biologiquement par différentes espèces telles que : *Retama retam* Webb, *Tamarix aphylla*(L.) Karst, *Tamarix gallica* L, *Eléagnus angustifolia* L et *Lycium arabicum* Boiss.

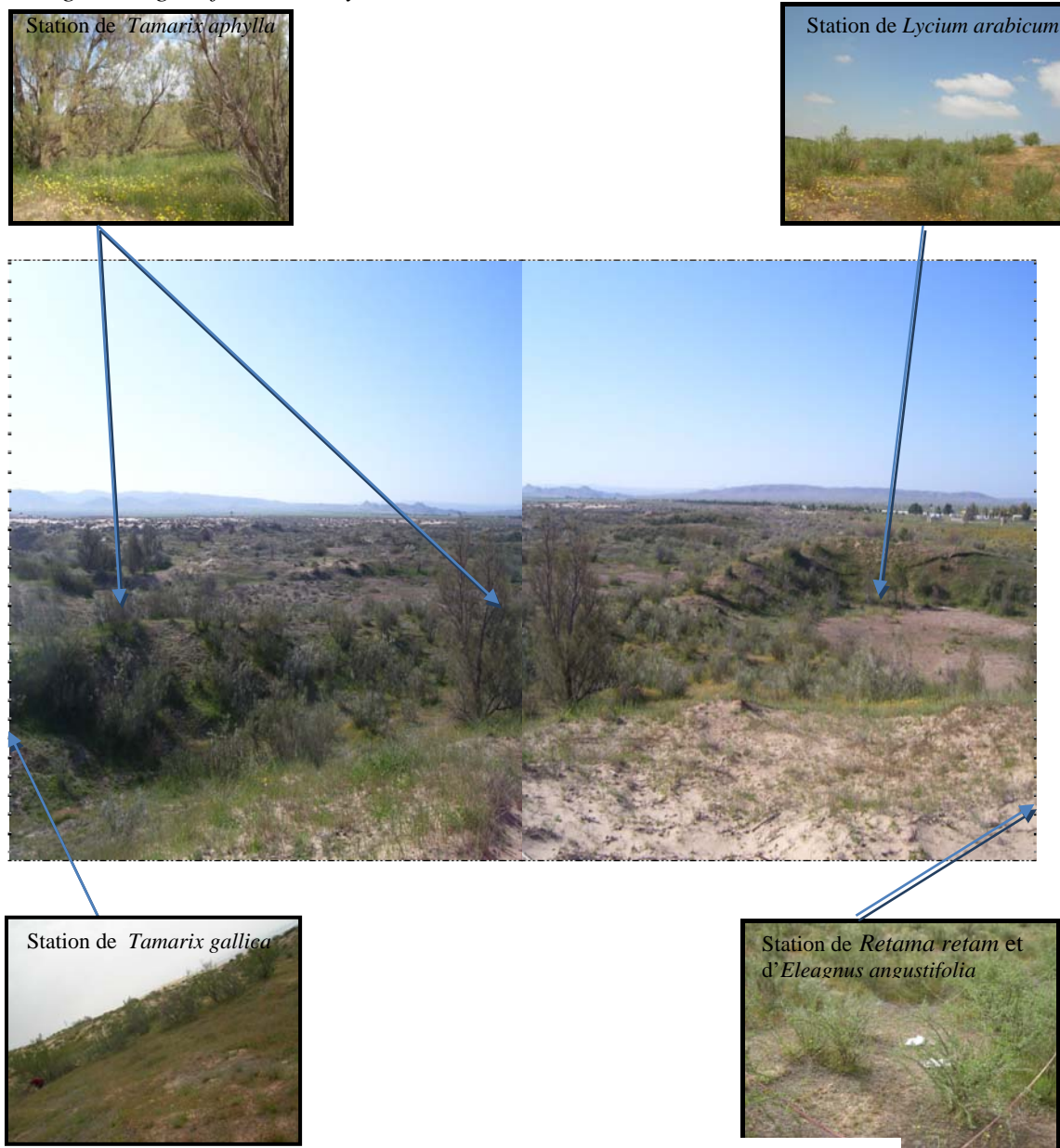


Figure 9 : Différentes stations échantillonnées.

1. Description succincte des stations échantillonnées

Sur six stations, nous avons réalisé au total 120 relevés phytoécologiques répartis entre les cinq espèces étudiées *Retama retam* Webb, *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Tamarix gallica* L, *Eleagnus angustifolia* L et *Lycium arabicum* Boiss. 74 espèces végétales ont été recensées, appartenant à 22 familles botaniques.

Stations 1, 2 et 3



Figure 10 : Stations 1,2 et 3 échantillonnées

Station 1 : c'est une dune de 858m d'altitude et de 6% de pente, fixée mécaniquement par le branchage de pin d'Alep et biologiquement par *Retama retam* Webb au sommet et au mi-versant, mais par *Eleagnus angustifolia* L en bas de la dune.

Station 2 : c'est une dune fixée mécaniquement par la maille plastique noire et plantée par *Retama retam* Webb au mi-versant sur une altitude de 880m et une pente de 5%.

Station 3 : il s'agit d'une interdune fixée par le branchage de Pin d'Alep et biologiquement par *Retama retam* Webb et *Lycium arabicum* Boiss à une altitude de 790m sur une pente très faible.

Stations 4,5 et 6



Figure 11 : Stations 4,5 et 6 échantillonnées.

Station 4 : un bas fond de 872m d'altitude, a pente nulle, mécaniquement fixé par la maille plastique verte et un film de plastique polyéthylène et biologiquement par *Tamarix aphylla* (L.) Karst.

Station 5 : une dune de 890m d'altitude fixée mécaniquement par le branchage de pin d'Alep et biologiquement par quatre espèces ; bas fond par *Lycium arabicum* Boiss, *Eleagnus angustifolia* L au sommet et au mi-versant par *Tamarix aphylla* (L.) Karst et *Retama retam* Webb.

Station 6 : c'est un ensemble de dunes fixées mécaniquement par le branchage de Pin d'Alep et biologiquement par *Tamarix gallica* L, elles ont des altitudes changeant entre 879 et 900m et des pentes varient de 2 à 10%.

2. Echantillonnage

L'échantillonnage consiste à choisir des éléments de façon à obtenir des informations objectives et d'une précision mesurable (GOUNOT, 1969).

Il existe plusieurs techniques d'échantillonnage, celui adopté dans cette étude est un échantillonnage mixte (systématique + subjectif), il nous a paru le plus efficace et convenable pour atteindre notre objectif.

2.1. Collecte des paramètres liés aux espèces fixatrices

Au début de notre travail, on a pensé à faire une étude dendroécologique qui s'avère difficile car la majorité des espèces étudiées sont de jeunes arbustes ne permettant pas d'effectuer un carottage satisfaisant. Pour cela, nous avons fait recours à la méthode de mesure des paramètres dendrométriques; la hauteur de l'individu, le diamètre de pied et de houppier.

2.1.1 Données dendrométriques

Les paramètres dendrométriques, nous ont permis d'avoir une idée sur l'état de développement des différentes espèces plantées. Les paramètres retenus sont :

- *Hauteur des individus* qui a été mesurée à l'aide d'un ruban mètre pour les arbustes et par la méthode de perche pour les arbres (Annexe).
- *Diamètre de pied* les espèces étudiées sont caractérisées par leur développement en touffe plus ou moins homogène ; pour apprécier ce développement nous avons jugé utile de mesurer le diamètre ou bien la surface occupée par tous les rejets des individus. Le même ruban mètre a été utilisé pour les mesures.
- *Diamètre houppier*, c'est un paramètre dendrométrique important qui permet de connaître l'estimation de la surface de l'ombre projetée par l'espèce.

2.2. Collecte des paramètres liés au milieu

Le milieu naturel est caractérisé par plusieurs paramètres, géomorphologiques, pédologiques, climatiques et biotiques. Dans notre étude nous avons pris en considération les paramètres qui ont un impact direct sur l'efficacité des plantations, ainsi que ceux liés à la végétation naturelle et au sol.

2.2.1. Données climatiques

Pour que les données climatiques soient représentatives du climat d'une région donnée, ils doivent couvrir une période assez longue, supérieure ou égale à 25ans. Pour notre étude, nous avons pris une période de 30 ans (1980 à 2009).

Les données climatiques utilisées dans cette étude proviennent de la station météorologique de la ville de Djelfa qui se situe à 1146m d'altitude, une différence de 276m par rapport à l'altitude moyenne de notre zone d'étude qui est à 870m. Comme nous l'avons signalé plus haut on a considéré les gradients calculés par SELTZER (1946) et DJEBAILI (1984) pour l'extrapolation des données climatiques.

2.2.2. Données phytoécologiques

2.2.2.1. Relevé phytoécologique

La réalisation d'un relevé floristique est basée sur deux critères fondamentaux: la représentativité et l'homogénéité floristique, comme le souligne GODRON (1971) ; un relevé ne sera représentatif de la station où il est placé que si cette station n'est pas trop hétérogène. Selon AIDOUD, 1984 « Le relevé phytoécologique est considéré généralement comme un échantillon, il est en réalité un ensemble de mesures, chacune correspondant à une variable donnée ».

DJEBAILI(1978) utilise « une aire minimale égale à 100m² pour l'ensemble de la steppe », alors que récemment AIDOUD-L (1984) adopte, pour sa part « 32m² d'aire minimale, tout en notant les espèces des alentours du relevé dans les limites imposées par le respect de l'homogénéité ».

Sur le terrain et après la détermination de différentes parcelles échantillonnées en 2005 ,nous avons pris des aires de 32m² ,à l'intérieur desquelles nous avons effectué des relevés phytoécologiques ;un relevé sous l'espèce étudiée et l'autre hors cette dernière .Les relevés portent des informations floristiques , écologiques et des variables d'ordre régional (la latitude, la longitude et l'étage bioclimatique) ,sectoriel (la géomorphologie, la topographie et la lithologie) et stationnel (la pente, l'exposition et l'altitude).

Nous avons également noté les caractéristiques de la surface du sol : on estime le recouvrement (en %), de la litière, du sable, de la végétation, des roches et blocs et des pierrailles.

Concernant la végétation, nous avons noté tout le cortège floristique en mentionnant le recouvrement des espèces dominantes.

Les informations recensées sur le terrain sont reportées sur un formulaire de relevé qui est une liste complète de toutes les espèces présentées sur la surface échantillonnée. Chaque espèce est représentée par un indice d'abondance dominance selon l'échelle de BRUN-BLANQUET et al. (1952).

+ : Espèce simplement présente (recouvrement et abondance très faibles).

1 : Espèce très abondante mais recouvrement faible.

2 : Espèce très abondante et recouvrement compris entre 5 et 25%.

3 : Recouvrement compris entre 25 et 50%, abondance quelconque.

4 : Recouvrement compris entre 50 et 75%, abondance quelconque.

5 : Recouvrement compris entre 75 et 100%, abondance quelconque.

2.2.2.2.. Relevé linéaire

En steppe, «la technique de la ligne », c'est la plus efficace pour ces formations ; car elle est simple, rapide, relativement objective et utilisable dans tous les types de végétation basse.

Définition du relevé linéaire

Le relevé linéaire est considéré comme un moyen efficace pour étudier l'évolution de la couverture végétale lorsqu'il s'agit d'une ligne permanente (LONG, 1958 ; GOUNOT, 1969 ; AIDOUD, 1983). Une lecture se fait tous les 10 cm le long d'une ligne de 10m ou 20m, matérialisée par un ruban gradué tendu au-dessus de la végétation et à l'aide d'une aiguille qu'on laisse glisser vers le sol nous notons sur un formulaire : les diverses espèces présentées, ainsi que le nombre de points de contacts des espèces, le sable, la litière et les éléments grossiers ; pour notre cas nous avons retenu une ligne de 10 m, ce qui fait 100 points de lectures.

Le relevé linéaire fournit les informations suivantes :

- **Le recouvrement global de la végétation (R.G) :**

C'est le rapport en pourcentage entre le nombre de points de végétation (**n**) et le nombre total de points (**N**).

$$\text{RG (\%)} = (n / N) \times 100$$

- **Le recouvrement des éléments à la surface du sol :**

C'est la fréquence des éléments à la surface du sol sans végétation (sable, litière), il est exprimé comme suit :

$$\text{Fe (\%)} = (E_{ss}/N) \times 100$$

E_{ss} : nombre de points ou un élément particulier de la surface du sol.

2.2.2.3. Relevé pédologique

Au total 120 profils ont été faits. La profondeur de nos profils varie entre 10 et 30 cm, ils sont formés généralement par deux horizons ; un deuxième horizon est formé par le sable et un horizon superficiel qui est une couche de quelques centimètres de litière ; l'épaisseur de cet horizon change selon l'espèce fixatrice dominante.

Dans notre étude, une simple comparaison de l'horizon superficiel a été faite de différents profils réalisés.

3. Traitement statistique des données

3.1 Analyse statistique

Vu le nombre important des données : 118 relevés et 74 espèces, nous avons jugé utile pour les étudier de faire appel aux méthodes statistiques d'analyses multivariées (AFC et la CHA). Dont l'objectif est la mise en évidence des relations entre le milieu et la végétation ainsi que la distinction des groupements végétaux

L'analyse des correspondances, présentée sous ce nom est développée par BENZECRI (1966), a un certain nombre de précurseurs, parmi lesquels il faut citer HIRSCHFELD (1935 in TASSI, 1989), GUTTMAN (1941), et HAYASHI (1956) in AIDOUD-L (1997).

Elle est utilisée pour les traitements des données phytoécologique et phytosociologiques avec notamment les études sur la végétation de la région steppique (AIDOUD.A, 1989, KADI HANIFI, 1998, KADIK, 1984, 2005)

L'analyse factorielle des correspondances, mise au point par BENZECRI (1973), s'applique à des données qualitatives ou semi-quantitatives et permet de comparer des relevés deux à deux à partir d'un ensemble d'individus sans leur attribuer une valeur particulière pour but de visualiser les affinités floristiques qui existent entre les groupements végétaux.

Dans notre cas, les tableaux analysés présentent les relevés floristiques en colonne, et les espèces végétales en ligne, à l'intersection d'une ligne et d'une colonne est porté le coefficient d'abondance-dominance d'après l'échelle de BRUN-BLANQUET (1952).

Le nuage des points lignes ou des points colonnes s'étire le long d'une direction privilégiée correspondant à l'axe factoriel. Chaque axe factoriel est caractérisé par une valeur propre traduisant l'inertie du nuage de points le long de l'axe. Le taux d'inertie de l'axe représente quant à lui le pourcentage d'information apporté par l'axe dans l'inertie totale du nuage. Ainsi, la structuration d'un nuage le long d'un axe est proportionnelle au taux d'inertie et à la valeur propre de ce même axe. Les faibles fréquences se répartissent de façon antagoniste aux fortes fréquences de part et d'autre des pôles positifs ou négatifs des axes.

BENZECRI (1973) précise qu'il n'y a pas lieu de remettre en doute la validité d'un premier axe ayant plus de 50 % de taux d'inertie. Deux facteurs consécutifs ayant des taux voisins peuvent cependant traduire deux types d'informations indépendantes et non brouillées.

D'une manière générale, des taux d'inertie supérieurs à 10 % peuvent se révéler significatifs. Une valeur propre d'axe supérieure à 0,6 indique une dichotomie nette sur l'axe alors que des valeurs comprises entre 0,2 et 0,6 traduisent plutôt un gradient le long de l'axe. Le nuage des points lignes correspond au nuage des points colonnes sur un même plan factoriel, mais ils ne sont pas superposables dans l'absolu car ils caractérisent des espaces vectoriels différents.

AFC est généralement complétée par des *Classifications Ascendantes Hiérarchiques* (CH) réalisée à partir des tableaux floristiques, afin d'hiérarchiser et visualiser les limites des principaux types d'assemblages présents sur l'aire d'étude représentés par un dendrogramme qui comporte une succession de classes de relevés. La CH fournit une typologie des sites

d'études interprétée à l'aide de références bibliographiques sur les traits de vie ou les exigences écologiques des espèces

Dans notre étude les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de logiciel "STATISTICA" version française 05.

3.2. Evaluation de la biodiversité

Pour chaque espèce inventoriée nous avons identifié son type biologique, son type phytochorique pour étudier les spectres biologiques et phytogéographiques.

3.2.1. Evaluation qualitative

3.2.1.1. Diversité systématique

Les taxons composant les différentes unités de végétation prises en considération ont été regroupés en familles ; ceci a été réalisé à partir de la flore d'OZENDA (1977) et celle de QUEZEL et SANTA (1962-1963).

3.2.1.2. Diversité biologique

Pour valoriser le changement des spectres biologiques en fonction du temps (valoriser l'effet des facteurs climatiques), nous avons établi les spectres de différentes années''1984, 1987,2005 et 2009''')

Cinq groupes ont été établis suivant le degré de protection assuré par les bourgeons selon la classification de RAUNKIAER (1934). Ainsi selon RAUNKIAER, la participation de différents types biologiques à la flore d'une région par leur seule présence constitue **le spectre biologique brut**. Il est établi à partir du cortège floristique étudié. Alors que **le spectre biologique réel** au sens de CARLE (1949), considère le recouvrement, l'abondance dominance de chaque espèce ; il est établi en tenant compte du pourcentage de recouvrement réel de chaque type biologique des taxons formant l'association. Ce spectre se rapproche de la réalité terrain et permet de comprendre souvent la biologie des groupements végétaux, leur comportement synégénétique et bien souvent leur liaison écologique (LONG, 1954).

3.2.1.3. Diversité phytogéographique (phytochorique)

Pour déterminer le type phytochorique nous avons utilisé plusieurs flores dont la flore de l'Algérie (QUEZEL et SANTA, 1962-1963), la flore du Sahara (OZEND, 1977), la flore de la Tunisie(POTTIER-ALAPETITE, 1979-1981), la flore du Maroc (NEGRE,1962), les trois volume de MED-CHEK-LIST(1984,1985,1989), les travaux de AMGHAR et BRIKI(1997), AIDOUUD-L(1997), DAHMANI(1997),AMGHAR(2002) et BENAHMAD et BENSARA (2007).

Pour les mêmes années d'étude (1984, 1987,2005 et 2009), des spectres **bruts** et **réels** sont représentés par la présence puis le recouvrement de taxons appartenant aux divers types phytogéographiques.

3.2.2. Evaluation quantitative

L'étude de la composition floristique d'un milieu, consiste à étudier sa diversité spécifique qui est un paramètre essentiel et nécessaire, pour la simple raison que la diversité floristique compte parmi les attributs vitaux d'un éco-complexe (LE FLOC'H et ARONSON, 1995). En effet, la diversité spécifique est traditionnellement mesurée par des indices ; nous aborderons ceux des 4 années d'étude 1984, 1987,2005, et 2009 en calculant la diversité spécifique de SHANNON ,l'indice d'équitabilité et l'indice de similitude de SORENSEN.

3.2.2.1. Indice de diversité spécifique de SHANNON « H'i » :

Selon RAMADE (1994), la diversité spécifique se calcule en appliquant l'indice de SHANNON WEAVER (H') au peuplement correspondant. Cet indice est donné par la formule suivante :

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i$$

$P_i = n_i/N$

P_i = probabilité de rencontre l'espèce i dans le groupement. Pour notre étude nous avons utilisé le recouvrement relatif de l'espèce au lieu de sa probabilité d'apparition.

n_i = l'effectif de l'espèce i ou le recouvrement relatif de l'espèce i .

N = l'effectif total ou le recouvrement relatif total d'individus.

L'indice de diversité spécifique H_i varie entre 0,5 et 5, Il est d'autant plus petit (proche de 0) quand le nombre d'espèces est faible et une ou quelques espèces dominant. Il est d'autant plus grand quand le nombre d'espèces est élevé et réparties équitablement. Cet indice donne moins de valeur aux espèces rares et aux espèces moins abondantes.

3.2.2.2 Equitabilité ou régularité (E)

L'évaluation de la diversité spécifique d'un échantillon est généralement complétée par un indice d'équitabilité (E). On appelle régularité d'un peuplement, le rapport de sa diversité à la diversité maximale (FRONTIER et al ; 1998). La formule est la suivante :

$$E = H' / \log_2 S$$

H' = indice de Shannon.

S = richesse spécifique.

Cette quantité varie de 0 à 1. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement et tend vers 1 lorsque chacune des espèces est représentée par un nombre semblable d'individus (RAMADE, 1994). Le degré d'équitabilité (ou de régularité) fournit une image plus précise de la structure spécifique du peuplement et, en définitive, des modalités de partage du biotope (LACOSTE & SALANON, 1999).

3.2.2.3 Indice de similitude de SORENSEN:

Selon ACHOUR (1978) et HIRCHE (1987), si l'indice de similitude ne dépasse pas 50% en moyenne, le pourcentage d'espèces communes est faible ou moyen, et dénote une dynamique de végétation importante.

L'indice de similitude de SORENSEN permet une comparaison entre deux sites, car il évalue la ressemblance entre deux relevés en établissant le rapport entre les espèces communes aux deux relevés et celles propres à chaque relevé.

$$I_s = \frac{2c}{a+b}$$

a = nombre d'espèces pour l'année antérieure.

b = nombres d'espèces pour l'année actuelle.

c = nombre d'espèces commune entre les deux périodes d'observation.

Chapitre IV: Résultats et discussions

Chapitre IV- Résultats et discussions

Plusieurs expériences ont montré que l'amélioration du couvert végétal est possible grâce à certaines opérations d'interventions de l'homme. Dans notre zone d'étude, quatre ans après la mise en place des palissades anti-érosives dans notre zone d'étude, une végétation spontanée, comprenant 27 espèces (14 familles et 26 genres), s'est installée à l'intérieur du carroyage, soit 12 espèces de plus par rapport aux zones non traitées. Au fil des ans, la diversité floristique s'est améliorée avec 74 espèces en 2009 (22 familles et 61 genres), témoignant ainsi d'une réduction notable des perturbations du milieu, engendrées surtout par l'action érosive des vents et d'autres facteurs microclimatiques.

Sur le projet pilote d'El Mesrane, plusieurs espèces fixatrices ont été utilisées, pour stabiliser les dunes selon différentes expositions et topographies, mais quelques espèces seulement ont donné un optimum de croissance ou taux de réussite important. Ces taux restent relatifs aux certains facteurs pédologiques et climatiques à déterminer. Les photos ci-dessous, illustrent l'état initial et actuel du projet après plus de 26ans de fixation.



Figure 27 :L'état actuel des dunes consolidées, après 26ans de fixation.

La différence est très significative, à gauche la photo montre les dunes presque nues couvertes du sable et d'une végétation naturelle très claire, par contre à droite la végétation naturelle est soutenue par une végétation plantée en colonisant presque 70% de la surface dunaire, ce recouvrement varie dans l'espace et dans le temps d'une année à une autre selon l'interaction : *climat-végétation-sol* ;c'est-à-dire selon l'effet des facteurs climatiques sur la croissance végétale, la plasticité écologique de cette dernière face aux contraintes pédoclimatiques et l'effet de la plantation sur le sol.

1. Relation Climat –Végétation

La végétation est une expression du milieu (FLORET et LE FLOC'H, 1973), sa répartition reflète l'ensemble des conditions qui y régnant (ZEDAM, 1991) et où la signification écologique de la présence d'une espèce végétale indicatrice varie énormément avec l'importance de ses exigences (GOUNOT, 1969).

L'objectif de cette étude est l'évaluation de *la croissance spatiale* (la croissance végétale en fonction des facteurs stationnels tels que : la topographie, l'exposition, l'humidité du sol et la pente) et *le taux de l'accroissement relatif* (la croissance végétale en fonction des facteurs climatiques tels que : les températures, les précipitations la gelée et le vent), des principales espèces testées pour stabiliser les dunes dans la région d'El Mesrane. Pour bien déceler ces relations nous avons procédé deux types d'analyses distinctes:

- La première analyse descriptive (graphes, corrélation) a eu pour objectif d'une part, l'étude spatio-temporelle de la végétation naturelle et plantée des dunes et échantillonnées en différentes périodes (1984, 1987, 2005 et 2009) elles sont fixées en 1983, afin de mettre en évidence l'influence des facteurs climatiques sur la croissance et l'évolution de la végétation. D'autre part une étude spatiale pour l'année d'échantillonnage (2009), afin de définir les facteurs stationnels qui conditionnent la répartition de la végétation sur la dune traitée.
- Les deuxièmes méthodes classiques, l'Analyse Factorielle des Correspondances "A.F.C" et la classification ascendante hiérarchique "C.A.H" ont permis de définir d'une part, les principaux facteurs écologiques qui régissent la végétation et d'autre part d'établir les principaux groupements de la zone d'étude échantillonnée.

1.1. Etude spatiale de la végétation

Sur l'ensemble du projet, on a inventorié 120 parcelles (les mêmes parcelles échantillonnées en 2005). Au moment de notre échantillonnage, nous avons remarqué que le pourcentage global de la végétation était de 70% sur le versant Nord et de 45% sur le versant Sud. La distribution des espèces dans l'espace montre une nette dominance de *Retama retam* Webb avec un recouvrement de 43.2% représenté par 86 individus suivi par *Tamarix gallica* L (17.6%), *Lycium arabicum* Boiss (15.5%), *Eleagnus angustifolia* L(14%) et *Tamarix aphylla* (L.) Karst (9.5%) ; représentées successivement par 35, 31, 28 et 19 pieds (fig.29).

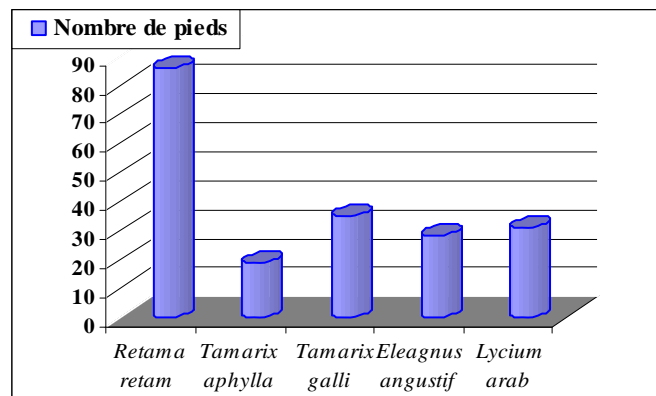


Figure 28 : Nombre d'individus de différentes essences étudiées (2009).

La figure 28, met en relief le nombre de pieds de chaque essence fixatrice recensée dans la station échantillonnée en 2009. Cette comparaison fournit des informations précieuses sur la résistivité et la capacité adaptative de chaque espèce dans les milieux ensablés. D'après les données disponibles de l'INRF ; (KADIK B, 1982; MAKHLOUF ; 1988) *Eleagnus angustifolia* L a été plantée sur les bas de versants surtout (tableau 7), mais les autres espèces ont été testées sur des topographies différentes.

On signale que *Retama retam* Webb se régénère naturellement par ses graines ; on a observé sur le terrain des jeunes pousses qui donneront par la suite de nouveaux pieds. L'optimum de développement de ce taxon dans cette station explique sa dominance sur l'ensemble du projet.

Pour illustrer la distribution actuelle des espèces fixatrices sur l'ensemble du projet nous avons représenté schématiquement leur répartition en fonction de différentes positions topographiques sur la dune (fig.29).

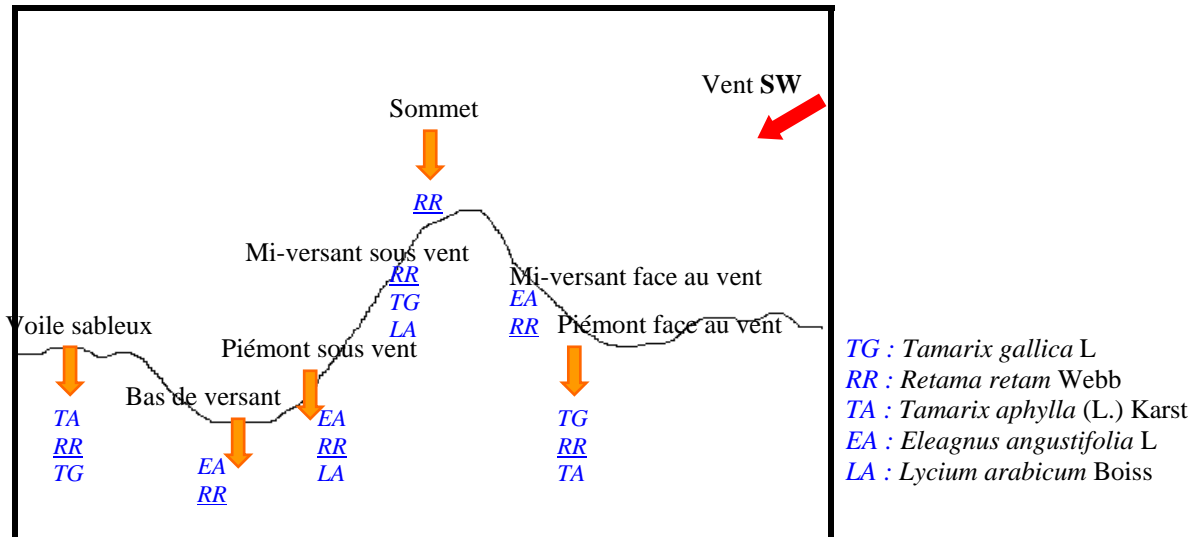


Figure 29 : Représentation schématique de l'occupation de l'espace par les essences qui présentent un taux de réussite élevé (optimum de développement).

La figure 29, montre la présence de *Retama retam* Webb sur toutes les topographies, cette espèce colonise toute la dune de la base au sommet, on peut la considérer comme la seule essence qui colonise avec succès les sommets exposés aux vents violents.

Tamarix aphylla (L.) Karst se développe surtout sur les voiles sableux et les bas de versants inter-dunaires. La plantation de cette essence est très conseillée pour ce type de topographie, grâce à sa résistance aux phénomènes éoliens, sa vitesse de croissance et son bon développement racinaire. Il faut noter qu'elle colonise rapidement les dunes vives et rend invulnérable les formations sableuses aux effets néfastes du vent. Donc elle supporte bien les contraintes pédoclimatiques de la région.

Eleagnus angustifolia L colonise les bas de versants des dunes où le taux d'humidité est très élevé et l'effet néfaste du vent y est modéré.

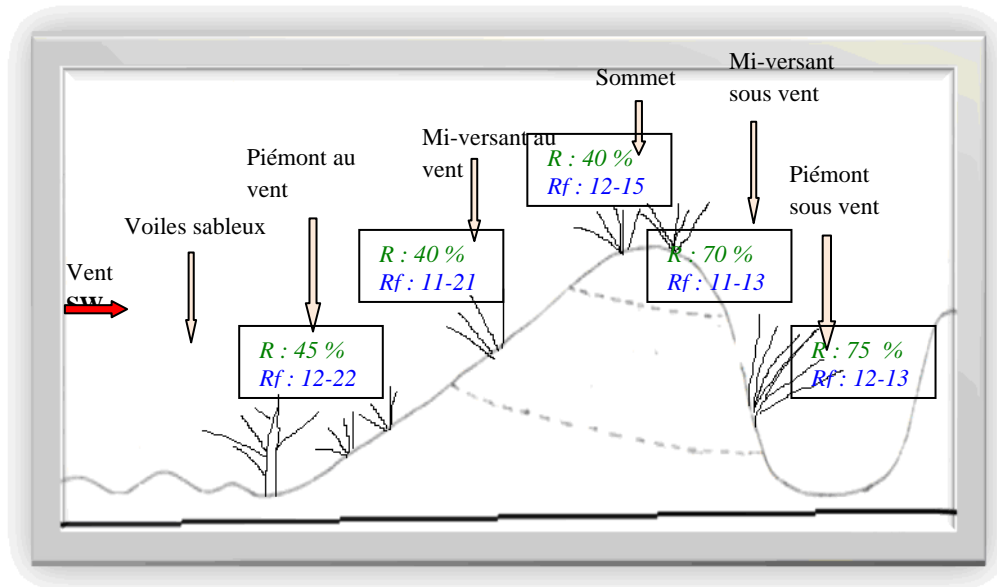
Lycium arabicum Boiss se développe avec succès sur les piémonts et les bas de versants protégés du vent, cependant on enregistre un taux élevé de mortalité dans les stations exposées au vent. ZAAFOUR (1981) a remarqué un taux de réussite faible de l'ordre de 0 à 3% des plantations sur le mi-versant et au sommet des dunes vives sans protection mécanique.

Tamarix gallica L présente un optimum de développement sur les voiles sableux et les dunes à faible pente ou micro-dunes, mais pas les sommets à hautes altitudes exposés au vent violent.

Ces différences de croissance et de réussite indiquent que le taux de réussite de plantation reste tributaire d'un ensemble de facteurs interactifs qui sont : d'ordre stationnel (le vent, l'exposition, la hauteur de la dune), d'ordre climatique (pluviosité, température et vent) ou d'ordre physiologique (les formes d'adaptations physiologiques des espèces fixatrices face aux contraintes climatiques).

À l'échelle stationnelle, sur la même dune et pendant la même saison d'échantillonnage (la même pluviosité, température M et m uniformes), une croissance différente des espèces fixatrices a été observée ainsi qu'une variation de leurs cortèges floristiques. Pour cela et pour mettre en évidence le facteur le plus influant sur la distribution spatiale de la végétation, on a

considéré des dunes fixées par *Retama retam* Webb en effectuant des relevés le long de la dune, selon des transects définis sur le terrain. Les résultats obtenus sont très significatifs, comme les illustre la figure 30.



R : Recouvrement global de la végétation (%).

Rf : Richesse floristique.

Figure 30 : Représentation de la richesse floristique et du recouvrement global de la végétation sur les différentes topographies de la dune.

L'espèce fixatrice *Retama retam* Webb, présente de très bons résultats de croissance sur toutes les topographies de la dune; c'est une espèce qui se développe sous forme d'un bouquet (une touffe), qui résiste très bien à l'action du vent et au bombardement de grains de sable, elle se développe plus en largeur qu'en hauteur et donc elle s'expose moins aux vents fréquents chauds et desséchants (OZENDA, 1991), ce qui crée un microclimat favorable à l'installation des espèces colonisatrices qui couvrent la dune de sable consolidée ; on note que le recouvrement de ces espèces diminue face au vent (*zone de réception*) et augmente sous le vent (*zone d'accumulation*), inversement à leurs nombres qui augmentent face au vent, ce qui pourrait être expliqué par :

- L'action positive du vent sur la richesse floristique; le vent transporte les graines des Thérophytes qui sont accumulées au piémont et au mi-versant, par les touffes de plantation et le maillage plastique qui joue le rôle d'un obstacle et d'un lieu de piégeage.
- Son effet est négatif sur le recouvrement de la végétation, à cause de sa direction SW qui accentue l'évapotranspiration et provoque un déficit hydrique qui influe négativement sur la densité du couvert végétal.

Nous avons obtenu des résultats contradictoires avec ceux obtenus par les chercheurs de l'INRF (1988), qui ont effectué des relevés sur des dunes non et récemment fixées, où ils ont recensé un nombre d'espèces très faible et variables selon les différentes positions topographiques, ce nombre diminue en face du vent et augmente à l'abri du vent, où les graines de Thérophytes s'installent, s'accumulent et germent ; par contre face au vent les graines de petites tailles s'envolent en absence des touffes de plantations et de maillage plastique qui les accumulent. La figure 31 illustre le changement du nombre d'espèces sur des dunes non fixées (témoins), récemment fixées et anciennement fixées.

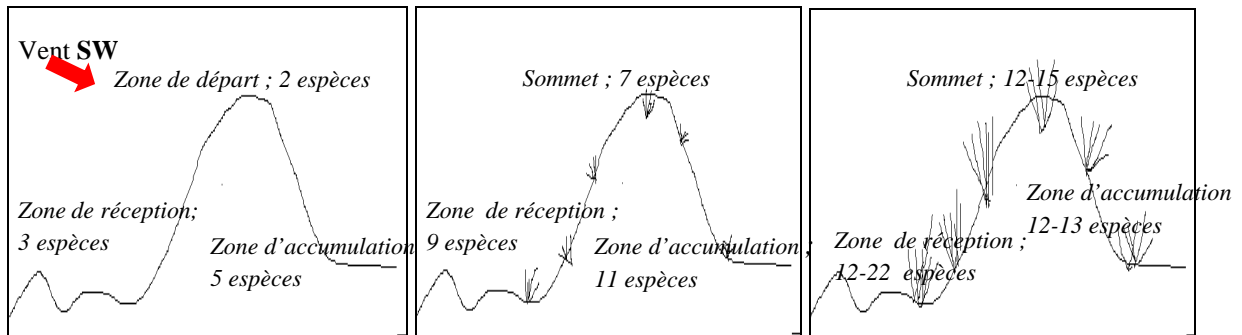


Figure 31 : Richesse floristique des dunes non, récemment et anciennement fixées.

La richesse floristique est variable comme suit :

*La zone protégée du vent (SV) présente la moyenne la plus élevée étant donné que c'est une zone « cachée », à l'abri des vents « zone d'accumulation ».

*La zone face au vent (FV) marque une moyenne moins importante que la zone précédente où les graines emportées par le vent sont plaquées contre le sol où une partie s'installe et la majorité est emportée par le vent « zone de réception » vers la zone d'accumulation.

*Le sommet (S) enregistre la moyenne la plus faible. C'est la zone la plus exposée aux vents desséchants (BOUZIANE, 1986), « zone de départ ».

L'existence de la végétation dans un tel milieu sans traitement est surtout liée à des facteurs biotiques (la phénologie de l'espèce par exemple). Cette végétation est particulièrement présente sur les bas de versants des dunes, à l'abri du vent où l'humidité est relativement importante et les adventices sont sensibles à ce paramètre pédo-climatique. Ce qui a été remarqué sur le terrain, où nous avons recensé une végétation dense avec même la présence des mousses, indicatrices d'humidité. Le recouvrement et la densité de la végétation varient selon l'exposition, la topographie et la pente.

Une étude effectuée en 1987 par l'I.N.R.F sur la station d'étude, a démontré que la position à l'abri du vent présente en général des taux d'humidité relativement assez importants, vis-à-vis des positions face au vent dominant sec et desséchant (fig.32).

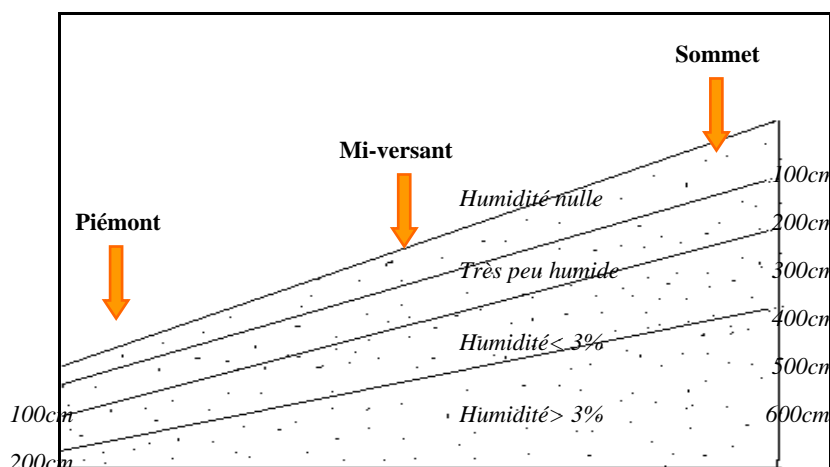


Figure 32 : Répartition de l'humidité dans la dune ; in ZOGHT (1978).

ZOGHT (1978) a déduit, d'après de nombreuses mesures faites à différents endroits de la dune que la répartition de l'humidité relative dans la dune suit à peu près la forme de la dune; c'est-à-dire elle décroît du pied au sommet de la dune, conditionnée par certains facteurs micro-stationnels (pente et exposition) et d'autres facteurs climatiques surtout la température qui accentue le dessèchement du sol, qui augmente progressivement du mois d'Avril au mois de Juin, ce qui limite la croissance végétale.

L'humidité du sol croît en fonction de la profondeur; nulle ou faible au sommet et au mi-versant, mais élevée au piémont. Ces résultats sont confirmés par les observations de GAOUAS(1977), dans la région du cordon dunaire à Boussaâda. Cette humidité qui change selon la topographie de la dune est le vent qui explique la colonisation des portions les plus humides de la dune par certaines espèces exigeantes en humidité.

En se basant sur l'examen des résultats des travaux effectués sur les zones dunaires (ZAAFOUR, 1981) et les observations du terrain, nous pouvons affirmer que l'humidité augmente suivant un gradient croissant allant des dunes vives aux dunes traitées:

- Sous l'effet du traitement (mécanique et biologique); le sable est stabilisé par les mailles plastiques et les essences fixatrices, cette stabilisation est suivie par l'installation d'un groupe d'espèces capables de fixer le matériau mobile, formant par la suite un écran plus au moins important contre le déplacement de sable (stade initial pionnier).
- Quand le sable devient peu mobile, d'autres espèces grâce aux précédentes généralement dépourvues d'adaptation aux mouvements de sable s'installent et forment par la suite une couche superficielle du sol, réduite parfois en quelques centimètres permettant aux nouvelles plantes de s'alimenter facilement de l'humidité disponible à ce niveau.
- La modification de la structure du sol (apport des éléments fins; argiles et limons) permet une rétention d'eau relativement importante, préservée pendant une longue période de l'année.

Ceci montre clairement que le traitement des dunes par la fixation mécanique et biologique a contribué considérablement à l'installation d'une végétation adaptée fixatrice du sol (diminution de l'action néfaste du vent et augmentation de l'humidité du sol). À court terme c'est la fixation mécanique qui intervient d'abord sur la distribution spatiale de la végétation, mais à long terme, c'est la fixation biologique qui s'interpose.

Pour valoriser l'influence de la fixation biologique (l'espèce fixatrice) sur la distribution de la végétation accompagnatrice, nous avons comparé la richesse floristique (fig.33), puis le recouvrement occupé par cette végétation sous les pieds (l'ombre du bouquet) et entre les pieds de différentes espèces testées (fig.34), sur des dunes fixées depuis 1983.

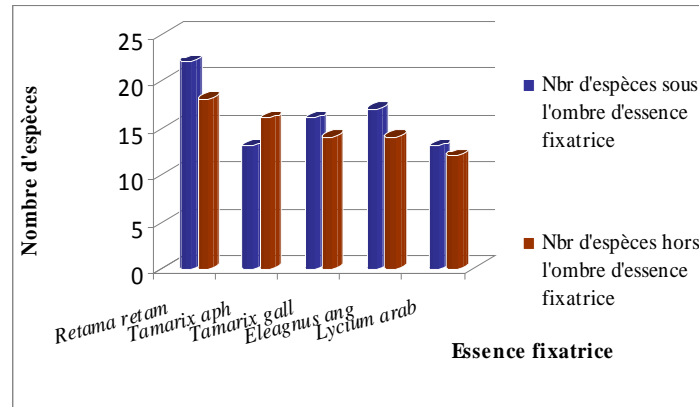


Figure 33 : Nombre d'espèces accompagnatrices sous et entre les essences fixatrices.

Lycium arabicum Boiss est un arbrisseau multibranches, qui peut atteindre 2m de hauteur. Par son port droit, il se distingue de *Retama retam* Webb et de *Tamarix gallica* L dont les branches poussent en formant un bouquet, les branches inférieures couvrent des superficies importantes du sol. Cette différence de forme a une influence sur les espèces adventices. *Lycium arabicum* Boiss est plus ouvert et il ne recouvre que 45% du sol. Le nombre moyen d'espèces accompagnatrices est de 13 sous les pieds et 12 espèces entre ces derniers, *Retama retam* Webb (22 / 17espèces), suivie par *Eleagnus angustifolia* L (17/ 15 espèces), *Tamarix gallica* L (16/14 espèces), mais pour *Tamarix aphylla* (L.) Karst nous avons dénombré 13 espèces seulement sous l'arbre et 16 en dehors. Cette différence est due selon TRABUT (1927) à l'acidité de la litière de *Tamarix aphylla* (L.) Karst, qui inhibe l'installation des annuelles ; et KILLIAN (1948) conclue que la litière de l'arbre a une décomposition très lente à cause de l'affaiblissement de la vie microbienne due à la sécheresse du climat et à la salinité du sol.

En ce qui concerne l'occupation de l'espace ; la méthode de la ligne nous a permis de connaître l'état, nous avons eu une idée sur l'état de la surface de notre zone d'étude, en calculant le taux de recouvrement des différents éléments qui occupent le sol tels que le sable, la végétation , la litière et les mousses sous et entre les pieds de chaque essence fixatrice, comme le montre la figure 34.

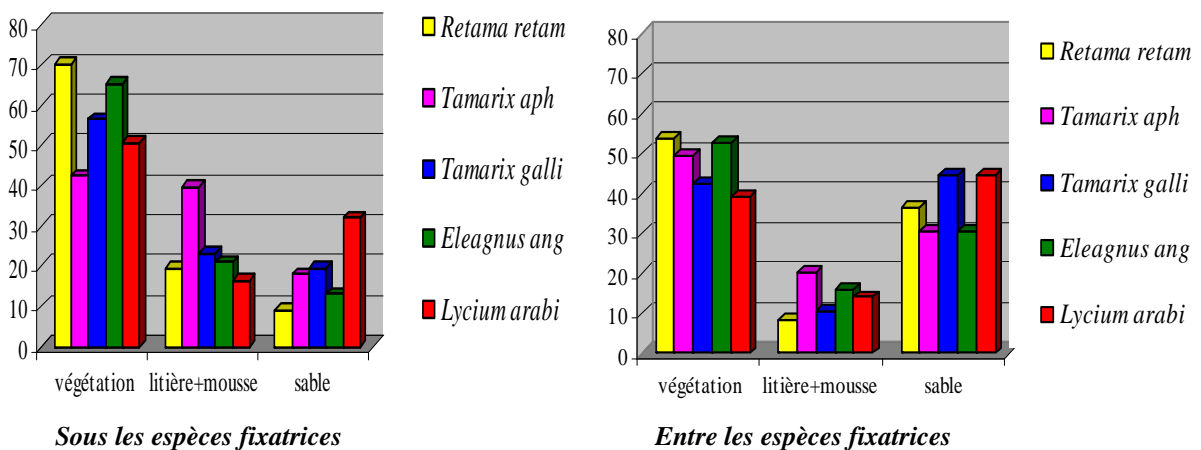


Figure 34 : Occupation de l'espace sous et entre les pieds des espèces fixatrices.

La figure 34, permet de remarquer que le recouvrement de la végétation sous les pieds de plantations est plus important qu'en dehors. Il change selon l'espèce fixatrice dominante; par exemple sous les pieds de *Retama retam* Webb où le feuillage de l'espèce offre un ombrage et une protection en créant un facteur propice à la régénération, on trouve un recouvrement de 70.3%, mais entre ses touffes seulement 53.6% est recensé. Ce résultat est identique pour toutes les espèces plantées avec un recouvrement de la flore accompagnatrice dépassant 50% sous les touffes mais moins entre ces dernières, toutefois une exception est faite pour *Tamarix aphylla* (L.) Karst où la végétation occupe des surfaces relativement équivalentes sous le pied de l'arbre et à l'extérieur du pied, malgré l'importance de la litière qui couvre 35% de la surface en moyenne.

En résumé, nous relevons que les espèces fixatrices jouent aussi un rôle important dans la distribution de la végétation accompagnatrice. La diversité et le nombre des espèces sont variables selon les essences plantées.

1.2. Etude diachronique de la végétation

Pour valoriser la richesse floristique en fonction des principaux facteurs climatiques (précipitation, température et vent), nous avons comparé la richesse floristique des dunes fixées en 1983 à différentes périodes : 1984, 1987(l'échantillonnage de ces deux années a été effectué par l'INRF), 2005,2008 et 2009.

Tableau 6 : Richesse floristique (nombre de familles, genres et espèces) en relation avec les principaux facteurs climatiques (T max, T min, p et vitesse du vent) des années (1984, 1987, 2005,2008 et 2009).

	Nombre d'espèce			Pluviosité (mm)	T max (°C)	T min (°C)	Vitesse du vent (m/s)
	Famille	Genre	Espèce				
1984	8	14	15	188,4	21,94	9,43	2,5
1987	11	22	27	243,5	23,51	10,27	2,45
2005	12	29	32	192,6	22,92	9,73	3,65
2008	20	49	57	282,1	22,61	9,87	4,08
2009	22	61	74	<u>332,7</u>	22,78	9,71	4,11

D'après le tableau 6, on déduit que le nombre de genres et de familles qui caractérisent la flore de notre zone d'étude est variable selon les années; faible en 1984 ,1987 et 2005 mais important durant les années 2008 et 2009, cette différence pourrait être due aux facteurs biotiques ou abiotiques.

La comparaison de la richesse spécifique de différentes années étudiées montre qu'après un an de fixation (1984) le nombre des espèces est faible (15); trois années après ce nombre augmente légèrement (27). Cependant, 21 années plus tard ce nombre passe à 32 en 2005, puis à 57 en 2008 et enfin à 74 en 2009. Il faut remarquer qu'il existe deux descripteurs qui conditionnent cette richesse floristique ; en plus de l'ancienneté de la fixation mécanique et biologique il y a le descripteur « climat » notamment les précipitations et les températures. D'après (PITT et HEADY 1978 ; ARONSON et SHMIDA 1992 in AIDOU, 1998) ; la

richesse floristique est influencée par les conditions climatiques telles que la température mais surtout la répartition des pluies

Les dunes anciennement traitées et donc bien consolidées (2005,2008 et 2009), présentent un nombre d'espèces élevé mais ce nombre est aussi lié à la pluviosité, qui est un facteur limitant qui intervient d'abord par sa quantité puis par sa répartition pendant l'année.

Quelque temps après la fixation des dunes (1984 et 1987), un autre facteur non climatique influe sur la richesse floristique, exprimé par la fixation mécanique des dunes ; le sable de ces dunes récemment fixées non encore bien consolidé qui est très sensible à l'action du vent ; ceci pourrait gêner le développement des espèces pionnières qui s'installent juste après la fixation.

En outre, le vent reste un autre facteur important à effet qui conditionne la répartition de la végétation, surtout des dunes non ou récemment traitées.

La mise en relation de la richesse floristique annuelle (nombre de familles, genres et espèces) (fig.35) avec la quantité de pluie annuelle (les années 1984, 1987, 2005,2008 et 2009), donne une corrélation hautement significative ($r= 0.9$), en revanche aux autres facteurs (T max, T min et vent) qui ont donnée des coefficients de corrélations* positifs, mais de très mauvaises qualités (r proche de zéro) (fig.36).

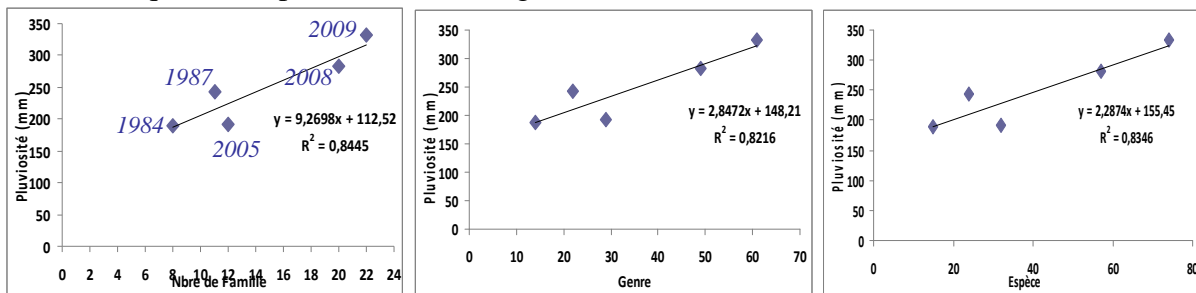


Figure 35 : Relation entre la richesse floristique annuelle (nombre de familles, genres et espèces) et la pluviosité annuelle des années 1984, 1987, 2005,2008 et 2009.

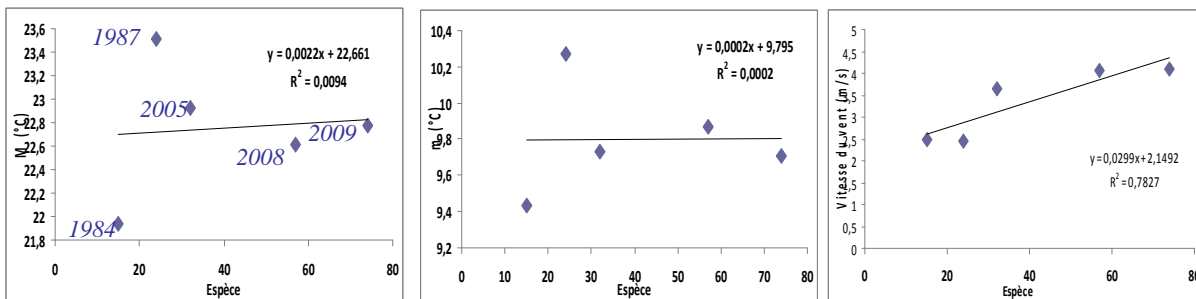


Figure 36 : Relation entre la richesse floristique (nombre d'espèces), les températures et le vent des années 1984, 1987, 2005,2008 et 2009.

* Le coefficient de corrélation nous donne des informations sur l'existence d'une relation linéaire (sous forme d'une droite) entre les deux grandeurs considérées.

La figure 36, illustre des mauvaises corrélations pour la moyenne des températures maximales et la moyenne des températures minimales en relation avec la richesse floristique. Par contre nous observons une très bonne corrélation entre le vent et la richesse floristique.

Durant les trente dernières années, d'après les données de (l'ONM, Djelfa), nous remarquons que la vitesse du vent est augmentée voire même redoublée dernièrement (2000-2009), ce qui pourrait gêner la stabilité des dunes récemment fixées. Ce qui n'est pas le cas pour notre station où les espèces plantées ont atteint des hauteurs importantes qui forment un obstacle face au vent (2005,2008 et 2009). L'existence d'une bonne corrélation entre le nombre d'espèces et la vitesse du vent ($r=0.88$), n'est jamais la preuve d'une relation de cause à effet (fig.36).

Afin de mettre en évidence les facteurs les plus influents sur la croissance des espèces fixatrices nous nous sommes intéressés à une comparaison intra et interspécifique en utilisant la base de données disponible (tableau 7), dont on a comparé nos mensurations dendrométriques faites en 2005 et 2009 à celles de l'INRF faites en 1987, sur des individus plantés à différentes périodes, c'est-à-dire, on trouve des individus de différents âges (4ans, 3ans et 2ans).

Dans ce tableau nous avons mentionné la croissance moyenne des individus choisis au hasard (INRF,1987), leur accroissement annuel et leur croissance moyenne pendant les quatre dernières années(2005-2009).

Tableau 7 : Résultats de la croissance et de la réussite des plantations des périodes ;(1983-1987) et (2005-2009).

Espèce	Date de plantation	Lieu de plantation	Hauteur (m) en 1987	Accroissement annuel (m/an)	Taux de réussite	Adaptation au milieu	Hauteur entre 2005.2009=
<i>Retama retam</i> Webb	1984	Dune	1.3m	0.15m /an	+90%	Bons résultats même en exposition du vent.	1.35-1.85= 0.5m
	1985	Dune	1.15m	0.2m /an	+95%		
	1986	Dune	0.95m	<u>0.35m</u> /an	+95%		
	1987	Dune	0.6m	/	+95%		
<i>Tamarix aphylla</i> (L.) Karst	1983	Inter dune	1.33m	0.34m/an	55%	Taux de réussite 10 à 20% au sommet de la dune.	4.1-4.7= 0.6m
	1986	Mi-versant	0.3m	/	50%		
<i>Tamarix gallica</i> L	1983	Bas versant	2.6m	<u>0.66m</u> /an	80%	Très bonne bouture racinée.	1.75-2.7= <u>0.95m</u>
	1986	Bas versant	0.6m	0.3m/an	+80%		
	1987	Bas versant	0.3m	/	80%		
<i>Eleagnus angustifolia</i> L	1983	Bas fond	<u>2.3-3m</u>	0.3-0.7m/an	88%	Très bonne croissance de 0.7-1 m/an	2.6-3.3= 0.7m
	1984	Bas fond	2m	0.25m/an	80%		
	1986	Bas fond mi-versant	1.5m 0.8m	<u>0.95m</u> /an 0.25m/an	70%		
	1987	Bas fond	0.55m	/	74%		
<i>Lycium arabicum</i> Boiss	1984	Dune	0.7m	0.2m/an	55%	Taux de réussite inférieur à 10 % surtout au mi versant, sommet	1.11-1.51= 0.4m
	1985	Dune	0.5m	/	50%		

Le tableau 7, présente une nette différence de croissance entre les cinq espèces qui ont une croissance rapide pendant les premières années de fixation surtout *Eleagnus angustifolia* L, dont certains individus ont atteint 3m de hauteur (elle a enregistré une croissance annuelle de 0.7-1m), suivie par *Tamarix gallica* L puis *Retama retam* Webb avec 2.6m et 1.3m de hauteur respectivement. Cette différence de croissance pourrait être expliquée par plusieurs facteurs tels que ; le comportement de l'espèce face aux certains facteurs édaphiques et climatiques.



Figure 38 : Photos représentant *Retama retam* Webb et *Tamarix gallica* L

Retama retam Webb, arbuste saharien qui a marqué dans notre zone d'étude une croissance moyenne annuelle de 0.074m en hauteur .Elle a enregistré une moyenne de croissance 1.85m (2009), pareil pour le houppier, cette espèce forme un bouquet en couvrant le sol par ses rameaux sur une superficie de 0.4m² (fig.38). Elle piège le sable, colonise l'ensemble de la dune à différentes topographies et expositions. Selon QUEZEL et SANTA (1962) sa hauteur varie entre 1m et 3,5m.

Tamarix gallica L, arbuste qui atteint 2.7m de hauteur moyenne avec 0.1m d'accroissement annuel. Cette espèce se développe en « masse », (croissance en rameaux), la croissance latérale est en général un peu plus importante que celle de verticale (fig.38).

En comparant la morphologie de ces deux espèces (fig.38); on voit clairement sur la photo représentant *Tamarix gallica* L les espaces entre les branches, ce qui laisse le vent circuler facilement.



Figure 39 : Photos représentant *Tamarix aphylla* (L.), *Eleagnus angustifolia* L et *Lycium arabicum* Boiss

Tamarix aphylla (L.) Karst, est un arbre dont la hauteur moyenne atteint 4.7m avec une croissance annuelle de 0.2m. Certains pieds ont atteint 10m de hauteur dans notre zone d'étude. Selon FERLIN (1981) elle peut atteindre une hauteur de 15m.

Eleagnus angustifolia L est un arbuste qui atteint 3.3m de hauteur et 3.6m de largeur du houppier, il enregistre une croissance annuelle de 0.13m, espèce qui colonise surtout les bas de versants avec une excellente croissance.

Lycium arabicum Boiss, est un arbrisseau multibranches (fig.38) qui peut atteindre 2m de hauteur .Cette essence a enregistré la plus faible croissance verticale (0.51m), avec un accroissement annuel de 0.02m, une mortalité importante de cette espèce est enregistrée surtout au sommet et au mi-versant de la dune.

Cette évaluation nous donne des indications précieuses concernant le comportement des essences fixatrices face aux facteurs climatiques(en se basant sur le taux de réussite, de mortalité et la moyenne de croissance après 26ans de plantation). En ce qui concerne, le choix des espèces fixatrices qui stabilisent rapidement la dune en mouvement, ces données pourraient être utilisées dans les prochains projets de fixation.

Dans le but d'approfondir ces informations acquises et d'avoir plus de réponses sur le comportement de ces espèces, face aux facteurs climatiques nous avons comparé la croissance enregistrée des espèces pendant les quatre premières années juste après la fixation et les quatre dernières années en fonction de différents facteurs climatiques.

1.2.1- Facteur précipitation

Pour le facteur précipitation; nous avons considéré trois périodes de croissance (la première période s'étale entre 1983 et 1987 ; pour les espèces *Eleagnus angustifolia* L, *Tamarix gallica* L et *Tamarix aphylla* (L.) Karst ; et entre 1984 et 1987 pour *Retama retam* Webb et *Lycium arabicum* Boiss et une troisième période qui s'étale entre 2005 et 2009, qui est commune pour toutes les espèces) où nous avons calculé les régimes saisonniers des précipitations pour les corrélérer avec la croissance annuelle des espèces plantées (fig.39).

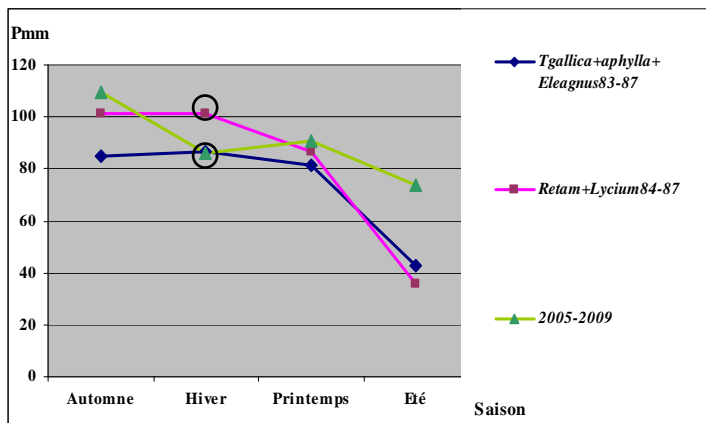


Tableau 8: croissance des espèces après 4 ans de fixation (1983-1987).

Espèce	Période d'étude	Croissance après 4ans	Accroissement annuel
<i>R retam</i>	1984-1987	1.3m	0.43m
<i>T aphylla</i>	1983-1987	1.33m	0.33m
<i>T gallica</i>	1983-1987	2.6m	0.65m
<i>Eleagnus a</i>	1983-1987	2.3-3m	0.75m
<i>Lycium a</i>	1984-1987	0.7m	0.23m

Figure 39 : Répartition des précipitations de la première période (1983-1987) et la deuxième (2005-2009).

Lycium arabicum Boiss; est l'espèce qui a enregistré le plus faible taux de réussite et de croissance (0.7m) en première période (1984-1987), on note qu'elle a reçu une tranche pluviale très importante de 324.72mm répartie sous un régime HPAE très favorable à la croissance végétale. Il paraît que *Retama retam* Webb, est une essence peu exigeante en eau, on note que les plantations faites en 1984 (188.4mm ; une année sèche) atteignent un taux de

réussite dépasse 90%, en opposant au *Lycium arabicum* Boiss qui marque seulement 55% (tableau 7). Alors que *Tamarix gallica* L et *Eleagnus angustifolia* L qui ont reçu la plus faible tranche pluviale (295.24mm), ont enregistré des hauteurs de 2.6m et 3m respectivement.

Pour la deuxième période (2005-2009) qui est la plus arrosée, où on a enregistré une tranche pluviale de 359.85mm, distribuée favorablement sur l'année, malgré cela aucune espèce n'a atteint la même croissance que celle enregistrée en première période «1983-1987», ce qui pourrait être expliqué que certains individus ont atteint leur croissance maximale. Ces données permettent d'affirmer que ; *Tamarix gallica* L et *Eleagnus angustifolia* L ont eu de très bonnes croissances malgré la faible tranche pluviale enregistrée, ce sont donc des espèces résistantes à la sécheresse ou peu exigeantes en eau.

Lycium arabicum Boiss a enregistré le plus faible accroissement (0.23m), qui pourrait être lié à l'intervention d'un autre facteur climatique qui pourrait être la température.

1.2.2-Facteur température

Pour évaluer l'effet des températures sur la croissance végétale, nous avons présenté les variations de la moyenne des températures du mois le plus chaud « M » et de la moyenne des températures du mois le plus froid « m » de différentes périodes d'étude (fig.40).

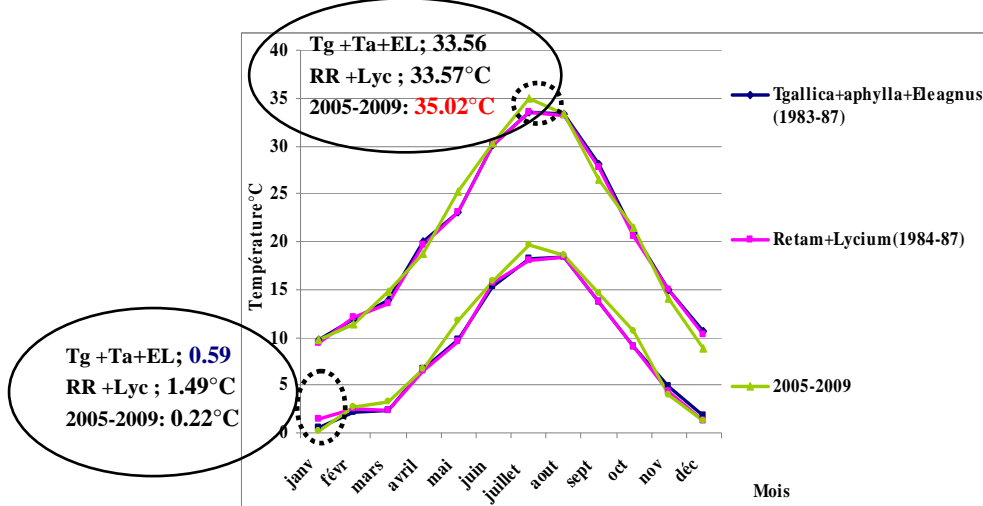


Figure 40: Répartition des températures M, m des périodes ; (1983-1987) et (2005-2009).

D'après la figure 40, on déduit ; Pour la moyenne maximale des températures du mois le plus chaud « M », on observe la même valeur pour les deux premières périodes (33.56 - 33.57°C), mais une valeur maximale de l'ordre de 35.02°C, a été enregistrée en troisième période (2005-2009).

Durant cette période (2005-2009), la moyenne minimale des températures mensuelles « m » a enregistré une valeur minimale de l'ordre de 0.22°C en la comparant aux deux premières périodes où elle s'oscille entre 0.59 et 1.49°C. Ce qui fait augmenter l'amplitude thermique de cette période (2005-2009), qui a atteint une valeur maximale de l'ordre de 34.8°C. Malgré ces fluctuations thermiques *Eleagnus angustifolia* L et *Tamarix gallica* L ont enregistré les croissances les plus importantes en atteignant 0.95m et 0.7m respectivement, opposant aux *Retama retam* Webb, *Tamarix aphylla* (L.) Karst et *Lycium arabicum* Boiss qui ont inscrit des valeurs faibles de croissance (0.5m, 0.6m et 0.4m).

On note que les amplitudes thermiques calculées pour les deux premières périodes sont de l'ordre de 32.97°C et 32.08°C, donc moins de fluctuations que durant la période de 2005 à 2009.

En résumé, nous remarquons que *Tamarix gallica* L et *Eleagnus angustifolia* L résistent aussi aux changements et fluctuations thermiques.

1.2.3-Facteur gelée

Pour évaluer l'effet de gelée sur la croissance de nos espèces, nous avons établi le schéma de la figure 41 qui met en relief le nombre de jours de gelée pendant les périodes de croissance.

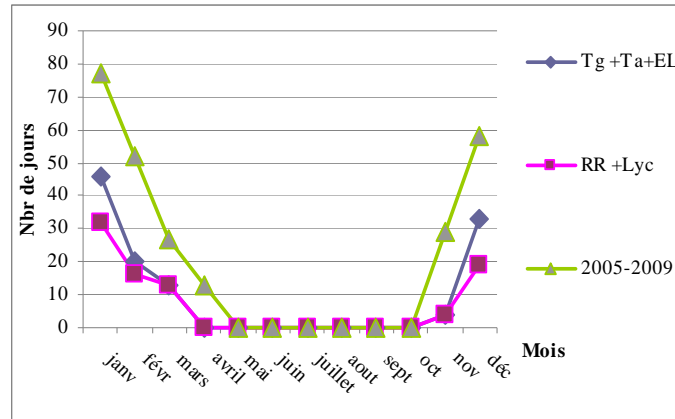


Figure 41 : Nombre de jours de gelée durant les périodes d'étude.

La figure 41, montre que la période 2005-2009 a subi en moyenne 51.2 jours de gelée par an, par opposition aux autres périodes qui ont enregistré 23.2 et 21 jours/an. D'après ces données et les données des tableaux 7 et 8, on admet que *Eleagnus angustifolia* L et *Tamarix gallica* L résistent mieux à l'action de gelée par rapport aux autres espèces car elles enregistrent les dimensions de croissances les plus importantes durant ces deux périodes.

La période de croissance de *Lycium arabicum* Boiss et *Retama retam* Webb de 1984 à 1987 a eu le plus faible nombre de jours de gelée (21 jours/an), pourtant ces deux espèces ont eu une faible croissance. Nous pensons que le vent qui pourrait être le facteur qui avait causé cette faible croissance.

1.2.4-Facteur vent

Les courbes de vitesse du vent représentées sur la figure 42 permettent d'étudier les fluctuations durant les différentes phases concernées.

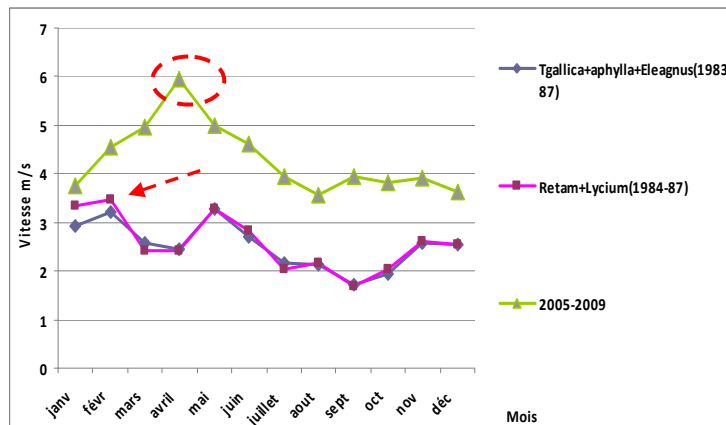


Figure 42: Vitesse du vent des périodes (1983-1987), (2005-2009).

La vitesse du vent n'a pas dépassé 2.57m/s en moyenne pour la période 1983-1987, mais elle a augmenté durant la période 2005-2009 en atteignant 4.3m/s. Le vent a un effet néfaste surtout sur la végétation des dunes récemment fixées, cette action est intensifiée sur le versant et le sommet de la dune les plus exposés au vent. Sur le terrain les espèces plantées sur ces positions topographiques ont donné les plus faibles taux de réussites.

Parmi les espèces testées sur toute la dune et qui ont donné des résultats de croissance satisfaisants: *Retama retam* Webb qui paraît la plus adaptée au bombardement de grains de sable et *Tamarix gallica* L, qui a donné de bons résultats ,surtout sur les micro-dunes, inversement au *Lycium arabicum* Boiss qui a enregistré un taux de réussite inférieur à 10 % surtout en position topographie face au vent (mi-versant et sommet de la dune).

Conclusion

L'étude quantitative spatio-temporelle de la végétation a révélé que la densité des espèces végétales augmente sur les dunes stabilisées par paillage. Cette augmentation reste néanmoins dépendante des conditions climatiques saisonnières, malgré l'atténuation de l'évaporation du sol par le paillage. Les résultats obtenus ont mis en évidence que les milieux plantés sont floristiquement plus riches que les milieux non plantés, en effet la flore recensée dans les plantations est 2 à 3 fois plus élevée que la flore présente hors plantations et varie selon les espèces (*Retama retam* Webb, *Tamarix gallica* L, *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Lycium arabicum* Boiss et *Eleagnus angustifolia* L).

Cette différence trouve son origine dans l'interaction de plusieurs facteurs favorables, notamment la pluviosité et sa distribution saisonnière. Il faut considérer également l'action des espèces plantées sur le milieu ; d'une part par le microclimat humide généré par les touffes de plantations qui vont influencer positivement sur le pédoclimat en améliorant le sol et en diminuant l'action du vent et par conséquent l'évapotranspiration. Cela permet d'économiser la réserve d'eau disponible, ce qui favorise le développement des thérophytes (DAGET, 1980), (BARBERO et al 1990) et d'autre part par le piégeage du sable, sur lequel se forme une pellicule de self- mulching après emmagasinement de l'eau (KADI-HANIFI, 1998, AMGHAR, 2002) qui empêche l'eau de s'évaporer, ce qui favorise le pédoclimat et par conséquent, le développement des plantes (DJEBAÏLI et al, 1983).

D'après les données disponibles nous pouvons déduire ; concernant le comportement et la croissance des espèces fixatrices face aux contraintes climatiques, que ni la précipitation ni la température n'expliquent la forte mortalité de *Lycium arabicum* Boiss qui reste très sensible à l'action du vent. *Eleagnus angustifolia* L et *Tamarix gallica* L supportent bien le manque d'eau, la gelée et les températures très rigides. *Retama retam* Webb résiste très bien à l'action du vent. C'est la seule espèce qui a colonisé l'ensemble de la dune. *Tamarix aphylla* (L.) Karst résiste mal à l'action du vent et au bombardement de sable, pour cela elle colonise surtout les espaces inter-dunaires.

1.3. Analyse statistique

1.3.1. Identification des groupements végétaux et leurs caractérisations écologiques et floristiques

La distinction des groupements végétaux et leur définition phytoécologique sont basées sur la composition floristique qui est variée en fonction de multiples historiques écologiques ou anthropozoïque (AIDOU-LOUNIS, 1997).

118 relevés et 74 espèces ont été traités par une Analyse Factorielle de Correspondance (AFC) basée sur l'Abondance-dominance de l'espèce dans le relevé, l'objectif principal est la recherche d'un sens écologique significatif à l'agencement des relevés. L'interprétation écologique de l'agencement en fonction de directions d'allongement privilégié du nuage permet de rechercher la signification écologique des axes factoriels correspondants. (WARTENBERG et al 1987, in AIDOU-LOUNIS, 1997).

L'examen des projections des points « relevés » de l'AFC et l'analyse du dendrogramme de la CAH permettent d'identifier les principaux groupements végétaux de la zone d'étude.

L'utilisation de la CAH met en évidence deux grands ensembles : l'ensemble A réunit les relevés effectués sous le pied de l'espèce fixatrice et l'ensemble B réunit ceux effectués en dehors de pied de l'espèce (fig.43).

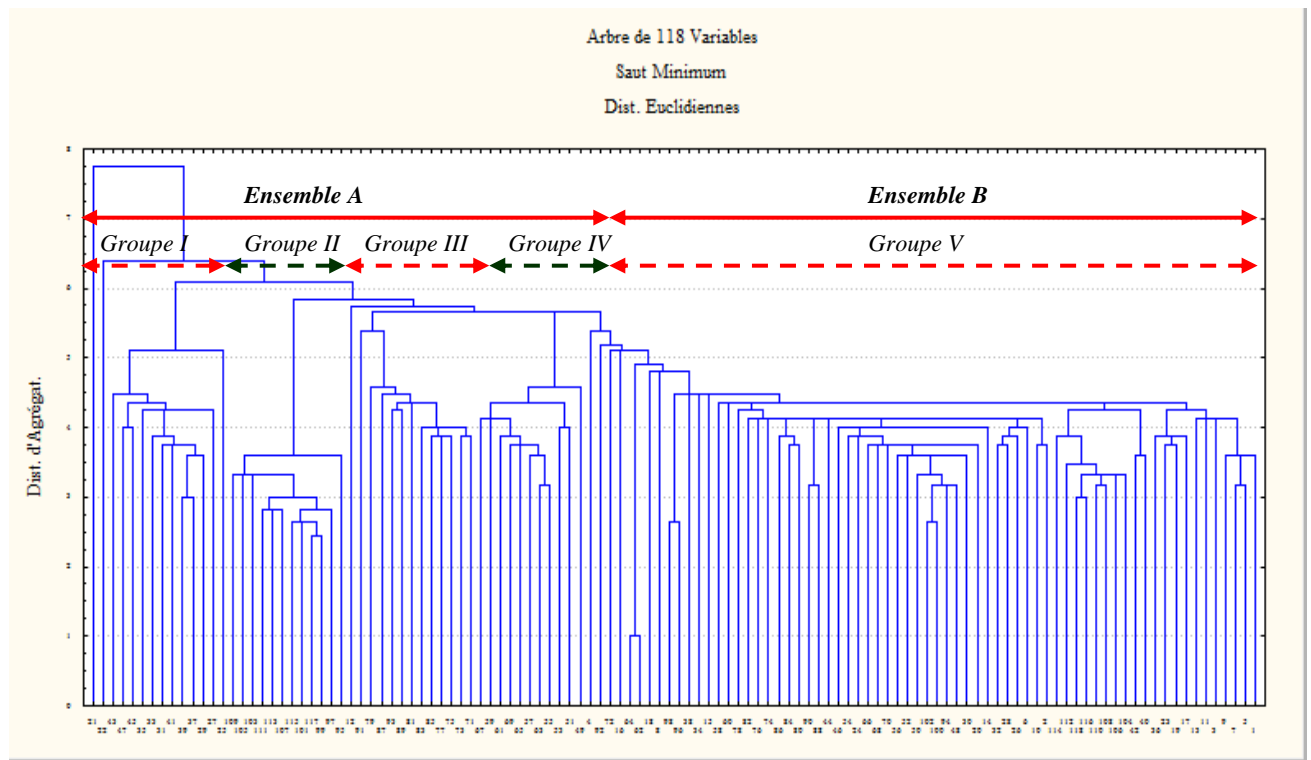


Figure 43: Classification Ascendante Hiérarchique des 118 relevés.

1.3.2. Choix des axes à interpréter

L'analyse factorielle des correspondances permet de faire ressortir les facteurs écologiques qui influent sur les groupements végétaux de la zone d'étude : grâce à l'examen des cartes factoriels obtenues avec les premiers axes qui sont plus significatifs. Elle est basée sur les relevés et les espèces à fortes contributions relatives (CTR) et absolues (CTA).

Les sorties de cette analyse révèlent que les trois premiers axes donnent une information non négligeable « égale à 9.765%, 8.070% et 7.574% » (Tableau 9). En revanche aux axes 4 et 5 qui ont enregistré des taux d'inerties relativement faibles, donc ces axes n'apportent aucune information supplémentaire, pour cela nous avons retenu seulement les trois premiers axes.

Tableau 9: Valeurs propres et taux d'inerties des axes factoriels.

Axes	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
Valeurs propres	0.40447	0.33427	0.31370	0.23741	0.22721
Taux d'inerties (%)	9.765	8.070	7.574	5.640	5.397

Les cartes (fig.44 et 45) représentent des relevés dans les plans (1-2) et (1-3), montrent des nuages de points qui s'étalent surtout selon l'axe1. Les relevés se hiérarchisent le long de l'axe1 selon la pente de la dune et le long de l'axe3 selon la topographie. Mais comme la pente est directement corrélée à la topographie et les deux influent sur le recouvrement de la végétation colonisatrice qui reflète l'humidité du sol, (axe 2), on peut dire que les trois axes sont corrélés.

1.3.3. Carte factorielle des relevés

1.3.3.1. Caractérisation écologique et floristique des groupements

Le plan factoriel (1-2) qu'illustre la figure 44, montre cinq groupements d'affinités écologiques voisines (OZENDA, 1982).

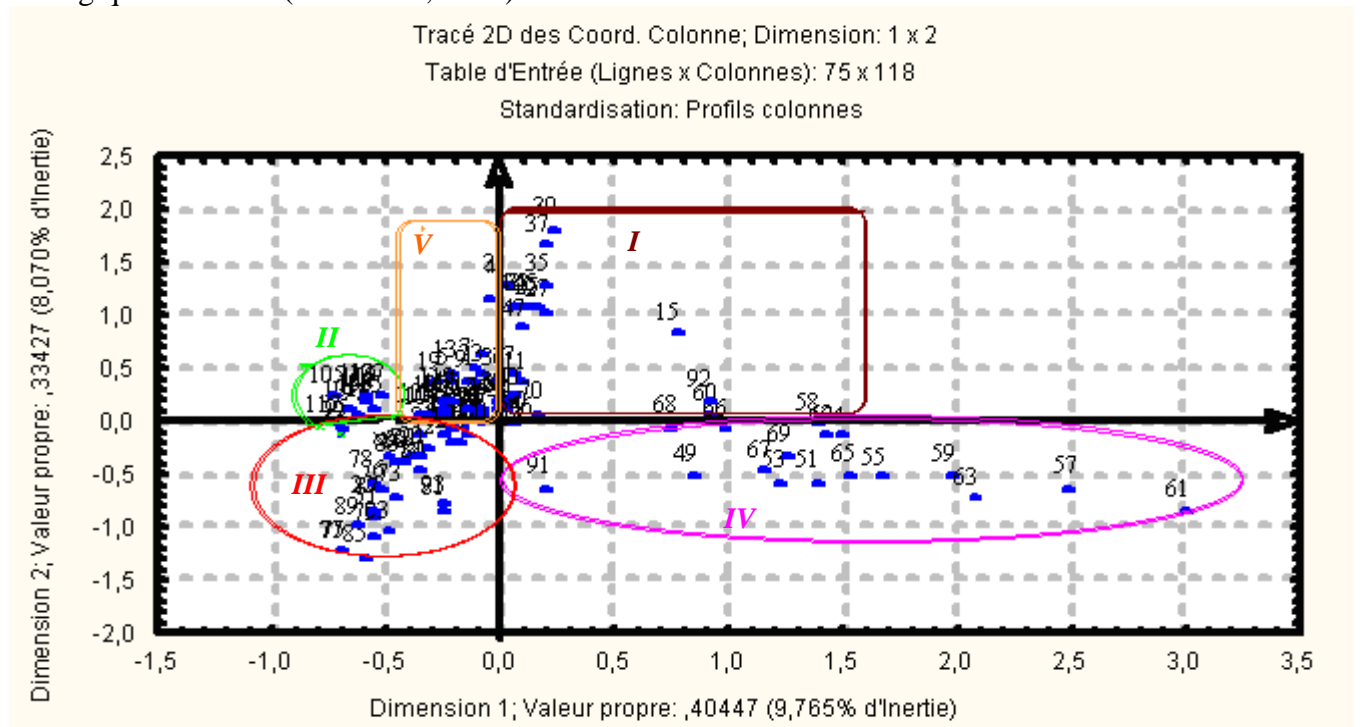


Figure 44 : Carte factorielle des relevés selon le plan des axes 1-2.

▪ **Selon le plan 1-2 et la CAH**

L'utilisation de la CAH et le plan 1-2 (fig.44) met en évidence deux grands ensembles :

L'ensemble A, tous les relevés ont été effectués sous l'espèce dominante à différentes pentes, expositions et altitudes, on le devise en quatre groupes, selon l'espèce dominante :

⇒ **Groupe I**: dominé par deux espèces fixatrices *Tamarix aphylla* (L.) Karst, et *Retama retam* Webb qui occupent les voiles sableux (pente moyenne 6%), le couvert végétal est faible

de 40%, mais qui arrive à 65% dans les relevés où *Retama retam* Webb est planté en mélange avec *Tamarix aphylla* (L.) Karst.

⇒ **Groupe II**: dominé par *Lycium arabicum* Boiss en mélange avec *Retama retam* Webb qui occupe les mi-versants d'exposition SE à faible pente, avec une végétation qui couvre 45-50% de la surface.

⇒ **Groupe III**: dominé par *Eleagnus angustifolia* L, qui fixe les bas fonds de la dune sur des pentes très faibles voire nulles, avec une dense végétation qui couvre 75% de la surface échantillonnée à différentes expositions.

⇒ **Groupe IV**: dominé par *Tamarix gallica* L occupe les voiles sableux où les micro-dunes qui ont des pentes faibles à moyennes, le couvert végétal occupe 70% de l'espace sur des pentes oscillant entre 8-12%.

L'ensemble B, regroupe tous les relevés effectués en dehors des pieds des espèces fixatrices à des pentes, des expositions et des altitudes différentes.

Dans le tableau 10, nous avons regroupé les relevés selon le plan des axes 1-2 et la classification ascendante hiérarchique (CAH).

Tableau 10: Répartition des groupements selon le plan des axes 1-2 et la CAH.

Ensemble	Groupement	N° de relevé
A	I	15,21,22,25,27,29,31,33,35,37,39,41,43,45,47,60,92.
	II	95, 97, 99, 103, 105, 107, 109, 111,113.
	III	12,71,73,75,77,79,81,83,85,87,89,91,93.
	IV	49,51,53,55,57,58,59,61,62,63,64,65,66,67,68,69.
B	I	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,14,16,17,18,19,20,23,24,26,28,30,32,34,36,38,40,42,44, 46,48,50,52,54,56,70,72,74,76,78,80,82,84,86,88,90,94,96,98,100,101,102,104, 106,108,110,112,114, 115,116,117,118.

▪ **Selon le plan 1-3**

Selon le plan 1-3 les relevés se regroupent dans quatre groupements (fig.45).

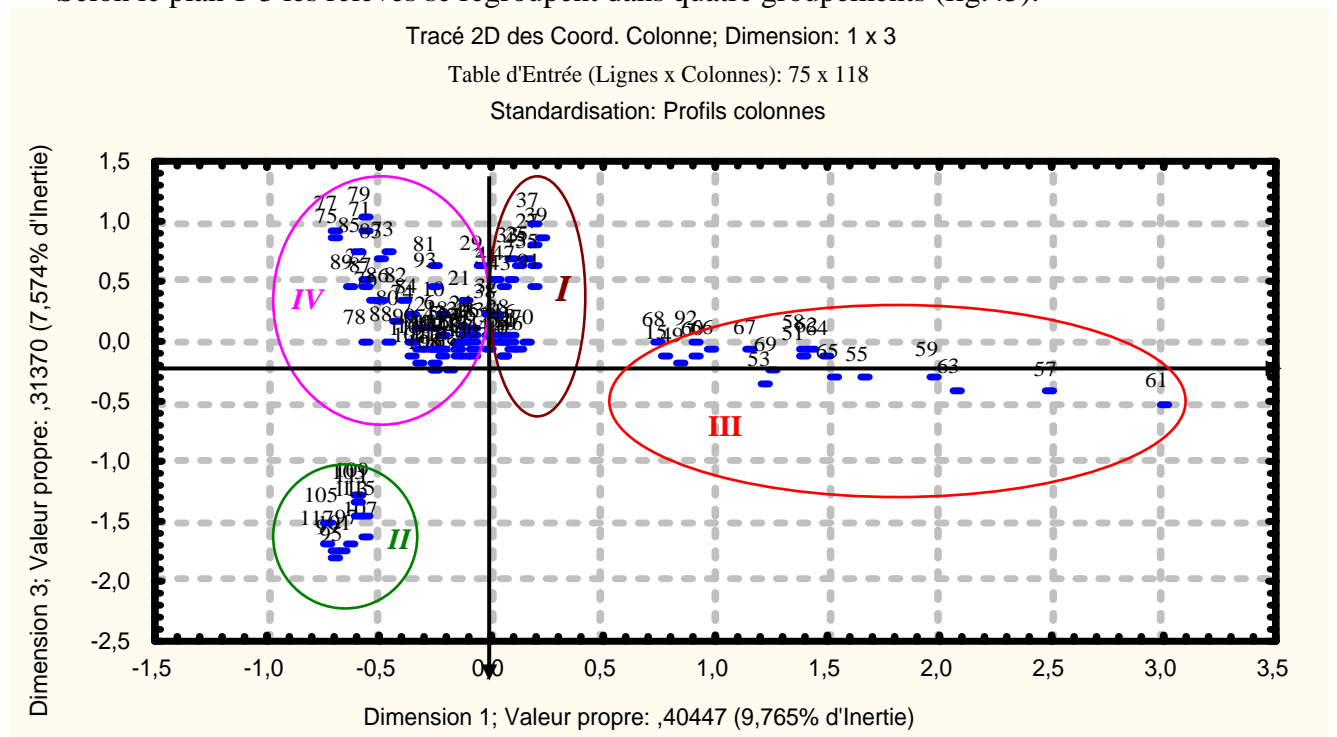


Figure 45 : Carte factorielle des relevés selon le plan des axes 1-3

⇒ **Groupe I:** dominé par deux espèces fixatrices *Tamarix aphylla* (L.) Karst et *Retama retam* Webb qui fixent les espaces inter dunaires et les bas fonds de différentes expositions W, E, NW, NE et SE, et des pentes qui dépassent 6%, avec un couvert végétal relativement dense arrivant à 85% (relevés de *Retama retam* Webb).

⇒ **Groupe II:** dominé par *Lycium arabicum* Boiss en mélange avec *Retama retam* Webb qui occupent des pentes très faibles ne dépassent pas 3%, l'exposition dominante est SE, le recouvrement moyen arrive à 50%.

⇒ **Groupe III:** regroupe des relevés faits sous et entre les plantations de *Tamarix gallica* L et *Eleagnus angustifolia* L sur des pentes moyennes arrivant à 10% (les plus fortes pentes de la station), l'exposition dominante est NE, le recouvrement moyen de la végétation touche 70% de l'espace.

⇒ **Groupe IV:** regroupe les autres relevés qui ont été faits à différentes expositions de la dune sur des pentes faibles.

Dans le tableau 11, nous avons regroupé les relevés selon le plan des axes 1-3.

Tableau 11 : Répartition des groupements selon le plan des axes 1-3.

Groupement	N° de relevé
I	11,17, 25,27, 28 ,31,33,35,36,37,38,39,40,41,43,45,47,52,56,70,91.
II	95, 97, 99, 103, 105, 109, 111,113.
III	15,49,51,53,55,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,92.
IV	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,13 ,14,16,18,19,20,21,22,23,24,26,29,30,34,42,44,46,48,50,54, 71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,92,93,94,96,98,100,101 ,102,104,106,108, 110,112,114,115,116,117,118.

1.3.3.2. Signification écologique des axes factoriels

Cette analyse nous a permis de faire ressortir les facteurs écologiques qui influent sur la répartition des groupements végétaux de la zone d'étude, ces facteurs sont représentés sous forme des axes.

L'analyse est effectuée sur les plans factoriels 1-2 et 1-3 qui révèlent une bonne structuration des données.

⇒ **Selon l'axe 1** s'opposent les groupes I et IV (plan 1-2) ; I et III (plan 1-3) « Côté positif » qui colonisent des pentes dépassant des fois 12% aux groupes II,III et V (plan 1-2) ; II et VI (plan 1-3) « Côté négatif » qui colonisent les pentes les plus faibles de la station ; donc on déduit que l'axe 1 représente la pente ,qui est en relation étroite avec la topographie.

⇒ **Selon l'axe 2** s'opposent les groupes I, II et V « Côté positif » échantillonnés sous les pieds de *Tamarix aphylla* (L.) Karst +*Retama retam* Webb, *Lycium arabicum* Boiss+*Retama retam* Webb et *Retama retam* Webb accompagnés d'un faible couvert végétal qui couvre 20 à 55% de l'espace, en colonisant les expositions (S, SE), aux groupes III et IV « Côté négatif »échantillonnés sous *Eleagnus angustifolia* L et *Tamarix gallica* L qui se caractérisent par un dense couvert végétal (45-75%) à des expositions N et NE; donc on peut dire que l'axe 2 illustre le recouvrement de la végétation qui reflète l'humidité du sol.

⇒ **Selon l'axe 3** s'opposent les groupes II et III dominés par *Lycium arabicum* Boiss et *Tamarix aphylla* (L.) Karst qui fixent les sommets des dunes (côté négatif) où l'humidité du sol est faible et le couvert végétal est très clair, aux groupes I et IV (côté positif) dominés par *Retama retam* Webb, *Tamarix gallica* L et *Eleagnus angustifolia* L qui occupent les mi-versants et les espaces inter-dunaires où l'humidité du sol est plus importante et favorise

l'installation d'un couvert végétal dense. Donc on peut dire que l'axe 3 représente la topographie qui influe sur le couvert végétal.

1.3.4. Carte factorielle des espèces végétales

La figure 46, représente la carte factorielle des espèces regroupées selon leurs affinités écologiques (OZENDA, 1982) en quatre groupes.

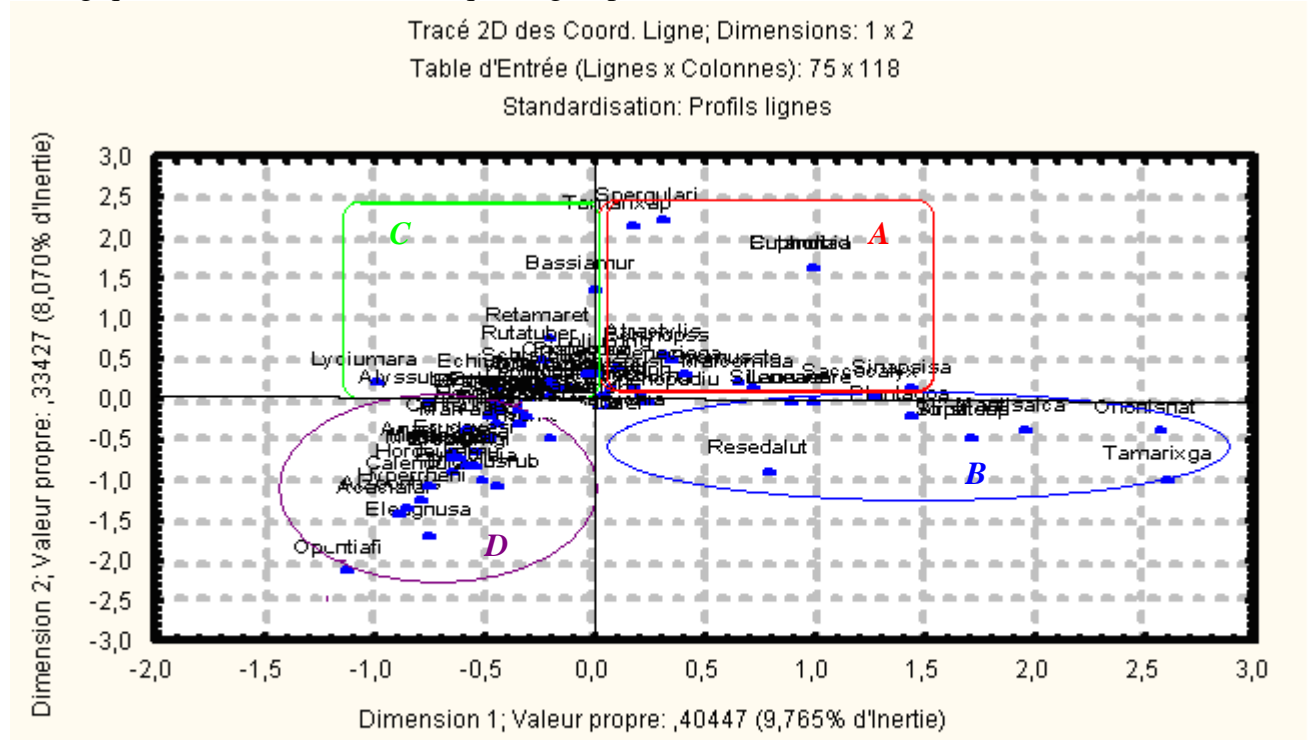


Figure 46 : Carte factorielle des espèces selon le plan des axes 1-2.

- **Groupe A :** Rassemble *Tamarix aphylla* à des Thérophytes telles que ; *Spergularia diadra*, *Malcomia aegyptiaca*, *Silene arenarioides*, *Sinapsis arvensis*, *Senecio gallicus*, *Chenopodium foliosum* et quelques Chaméphytes ; *Saccocalyx saturoides*, *Euphorbia guyoniana*, *Plantago albicans* et *Aristida pungens* comme Hemi-cryptophyte.
- **Groupe B :** Rassemble *Tamarix gallica* à des Hemi-cryptophytes ; *Mantisalca salmantica*, *Stipa parviflora* et des Thérophytes ; *Plantago afra*, *Sinapsis arvensis*, *Reseda lutea* et des Chaméphytes ; *Ononis serrata*, *Ononis natrix*.
- **Groupe C :** Regroupe *Retama retam* et *Lycium arabicum* à des Thérophytes ; *Ruta tuberculata*, *Alyssum macrocalyx*, *Lolium rigidum* et des Chaméphytes ; *Bassia muricata*, *Plantago albicans* et des Hemi-cryptophytes ; *Echium trigorhizum*.
- **Groupe D :** Regroupe *Eleagnus angustifolia* à des Thérophytes telles que ; *Euphorbia falcata*, *Calendula aegyptiaca*, *Aizoon hispanicum*, *Anacyclus clavatus*, *Artemisia campestris*, *Bromus rubens*, *Eruca vesicaria*, *Medicago laciniata*, *Medicago littoralis*, *Bromus sterilis* et des Hemi-cryptophytes ; *Hyperrhenia hirta*.

1.3.4.1. Signification écologique des axes

L'analyse de la carte factorielle des espèces selon le plan 1-2 montre que :

L'axe 1 oppose les espèces les moins exigeantes en eau telles que *Aristida pungens* et *Malcomia aegyptiaca* (groupe A, B) à celles les plus exigeantes telles que *Bromus sterilis*, *Lolium rigidum* (groupe C, D).

D'après POUGET ;(1971) le groupement à *Aristida pungens* et *Malcomia aegyptiaca* est un groupement des dunes et micro-dunes peu ou pas fixées, caractérisé par *Aristida pungens*, *Malcomia aegyptiaca*, *Saccocalyx saturoides*, *Euphorbia guyoniana*, *Ononis natrix* qui sont des espèces assez résistantes à la sécheresse et au manque d'eau et mieux adaptées à ces écosystèmes.

D'après QUEZEL ;(1965) dans les dunes vives du Sahara, certaines espèces peuvent se satisfaire de 50mm/an telles que ; *Euphorbia guyoniana*, *Aristida pungens*. D'après KILLIAN ;(1953) cette espèce (*Euphorbia guyoniana*) pour s'alimenter en eau, la plante émet un système racinaire traçant de 15cm de profondeur dans le sable au niveau de l'horizon humide.

Quant aux espèces fixatrices, **l'axe1** regroupe dans son côté positif *Tamarix aphylla* (L.) Karst et *Tamarix gallica* L, accompagnées d'un cortège adapté et résistant à la sécheresse ; et dans son côté négatif regroupe *Retama retam* Webb, *Lycium arabicum* Boiss, *Eleagnus angustifolia* L accompagnées d'un cortège assez exigeant en eau qui est composé surtout de Thérophytes (plus de 60%) telles que *Bromus sterilis* et *Lolium rigidum*.

Selon KILLIAN ;(1948) *Tamarix aphylla* se développe dans les lits d'oueds où la couche de sable est épaisse et garde plus d'humidité en profondeur.

Cette distribution peut être expliquée par la capacité adaptative et la phénologie des espèces fixatrices ; le genre *Tamarix* réduit la surface foliaire, en diminuant la grandeur et le nombre de feuilles qui se présentent sous forme de petites écailles. *Tamarix aphylla* (L.) Karst et *Tamarix gallica* L sont des arbres et arbustes de grandes tailles de la famille de Tamaricaceae. Cette famille est caractérisée par l'abondance de la litière (qui arrive à 60%), mais le cortège sous ces espèces reste très pauvre qualitativement et quantitativement, selon KILLIAN (1948) cette pauvreté est due à l'acidité de la litière qui est faiblement biodégradable (peu ou mal décomposée).

Sur le côté négatif, *Retama retam* Webb arbuste de la famille de Fabaceae, cette espèce crée un microclimat relativement doux sous l'ombre, favorable à l'installation des Thérophytes, aussi elle se développe plus latéralement qu'horizontalement avec un feuillage assez dense.

D'après OZENDA ;(1991) C'est l'une des formes adaptatives des espèces sahariennes pour s'adapter à leurs milieux très rudes, poussent plutôt en largeur qu'en hauteur en s'exposant donc moins aux vents dominants qui sont généralement violents, chauds et desséchants. *Lycium arabicum* Boiss arbre de petite taille de la famille de Solanaceae, a un feuillage très clair.

Eleagnus angustifolia arbre de la famille d'Eleagnaceae, présente un feuillage très dense crée un microclimat doux et une litière abondante et biodégradable, elle colonise surtout les parties les plus humides de la dune.

L'axe 2 oppose les groupements A et C qui rassemble les psammophiles telles que *Aristida pungens*, *Retama retam* Webb, *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Saccocalyx saturoides*, *Malcomia aegyptiaca*, *Euphorbia guyoniana* (côté positif), aux groupements B et D qui

rassemblent la majorité des Astéracées et des Poacées (côté négatif) qui sont des espèces relativement exigeantes en stabilité et fertilité du sol telles que ; *Bromus sterilis*, *Tamarix gallica* L, *Paronychia argentea*, *Hyperrhenia hirta*, ces espèces colonisent les dunes anciennement fixées (OZENDA ,1982).

D'après POUGET ;(1980), les sols profonds de texture très grossière montrent la permanence des groupements à *Saccocalyx saturoides*, *Malcomia aegyptiaca*, *Aristida pungens* qui peuvent être s'associés à des Nanophanérophytes comme *Retama retam* (MAIRE, 1926). *Aristida pungens* Desf, grande graminée, est la plante des sables par excellence supporte l'ensablement et le déchaussement (MAIRE ,1926) .Ses rhizomes longs, obliques et ramifiés traçants sur plusieurs dizaines de mètres courent à la surface de la dune, retiennent le sable et captent l'humidité apportée par les rosées de nuit. Elle a un chevelu important. Ses chaumes dépassent souvent 1m de hauteur.

Donc selon les contributions relatives des espèces à la formation des axes factoriels nous pouvons affirmer que : *L'axe 1* regroupe les espèces selon leur exigence en humidité ; il oppose les espèces les plus adaptées et les plus résistantes au manque d'eau à celles les plus exigeantes.

L'axe 2 regroupe les espèces selon leur exigence en fertilité et stabilité du sol .Il oppose les espèces qui dominent les dunes anciennement fixées à celles qui colonisent les dunes récemment fixées.

1. 4.Evaluation de la diversité de la flore globale

« La richesse floristique en zone aride dépend essentiellement des espèces annuelles, des conditions du milieu et de la corrélation de l'ensemble de ces variables (climat-édaphique-exploitation » (AIDOUD, 1989).

Pour mieux visualiser et apprécier la diversité floristique en fonction du climat, nous avons établi des spectres biologiques et phytochoriques pour les années d'étude 1984, 1987,2005 et 2009. Les spectres d'après AIDOUD(1989), pouvant expliquer la composition floristique de la communauté végétale en exprimant le pourcentage ou le nombre de taxons pour chaque type biologique des végétaux en relation avec leur adaptation au milieu.

Les spectres changent d'une année à une autre, selon les facteurs climatiques, essentiellement les précipitations, la température et le vent, en plus l'efficacité de la fixation biologique et le rôle de l'espèce fixatrice qui favorise la remontée biologique en diminuant l'action du vent et en créant un microclimat favorable à la croissance des éphémères.

1.4.1. Evaluation qualitative

1.4.1.1. Diversité systématique

Dans le but de caractériser notre zone d'étude du point de vue diversité systématique, des relevés phytoécologiques des années 2005 et 2009 ont été comparés à ceux de 1984 et 1987.

D'après les relevés de 2009, nous avons recensé 74 espèces appartenant à 22familles (Tableau 12) divisées en 29 plantes permanentes (ou vivaces) et 45 éphémères ou achem.

Il faut noter que sur les 22 familles recensées ,10 sont rares et ne sont représentées que par une seule espèce. Cependant, les 5 familles qui sont respectivement; les Astéracées, les Poacées, les Fabacées, les Brassicacées et les Caryophyllacées représentent plus que la moitié des espèces inventoriées (Tableau 12).

Tableau 12: Composition systématique des années 1984, 1987, 2005 et 2009.

N°	Les familles	1984		1987		2005		2009	
		Espèce	Genre	Espèce	Genre	Espèce	Genre	Espèce	Genre
1	Astéraceae	1	1	3	3	10	9	18	14
2	Poaceae	7	7	7	7	7	7	12	10
3	Fabaceae	1	1	4	4	3	3	10	8
4	Brassicaceae	1	1	2	2	1	1	4	4
5	Caryophyllaceae	0	0	1	1	1	1	5	4
6	Chenopodiaceae	0	0	1	1	0	0	3	3
7	Lamiaceae	0	0	0	0	1	1	2	2
8	Geraniaceae	0	0	0	0	2	1	2	1
9	Plantagenaceae	0	0	1	1	0	0	2	1
10	Rutaceae	0	0	0	0	0	0	1	1
11	Aizonaceae	0	0	0	0	0	0	1	1
12	Malvaceae	0	0	0	0	0	0	1	1
13	Euphorbiaceae	0	0	1	1	1	1	2	1
14	Resedaceae	0	0	0	0	0	0	2	2
15	Tamaricaceae	2	1	2	1	2	1	2	1
16	Dipsacaceae	0	0	0	0	1	1	1	1
17	Eleagnaceae	1	1	1	1	1	1	1	1
18	Papaveraceae	0	0	1	1	0	0	1	1
19	Terebenthaceae	0	0	0	0	0	0	1	1
20	Solanaceae	1	1	1	1	1	1	1	1
21	Orobanchaceae	1	1	1	1	1	1	1	1
22	Boraginaceae	0	0	1	1	0	0	1	1
Total		15	14	27	26	32	29	74	61

Il ressort de l'analyse du tableau 12, que la flore globale de notre station d'étude est caractérisée généralement par la présence de 16 familles ayant moins de 3 espèces. Ce cortège floristique est marqué, sur le plan générique et spécifique, par la dominance des familles cosmopolites telles que; les Astéracées, les Poacées et les Fabacées.

Selon GOOD (1974), les Astéracées, les Poacées et les Fabacées ont une répartition presque cosmopolite ou sub-cosmopolite alors que l'importance des autres familles serait en fonction des conditions climatiques (AIDOU-LOUNIS, 1997), dont on peut ajouter l'effet de microclimat généré par les touffes de plantations.

On cite par exemple, *Aristida pungens* qui préfère beaucoup plus les terrains sableux mais bien aérés. Sur le bas-fond de la dune que cette espèce est apparue, (relevé faite par l'INRF, 1987) mais après un certain temps, elle commence à se dépérir pour monter plus en haut où la sable est encore moins évolué. Ce phénomène pourrait être dû au fait que cette microstation s'est modifiée avec le temps ; il y a eu formation d'un sol bien structuré, les éléments fins (argiles, limons) sont dominants, en plus il y a eu un enrichissement en matière organique grâce à la décomposition des débris des espèces fixatrices, ce qui a diminué la porosité du sol. Contrairement à *Euphorbia guyoniana* qui est selon KILLIAN (1953), à la recherche des terrains plus ou moins argileux, moins poreux (45%) et riches en matière organique, apte à retenir assez d'eau ; généralement présente sur les endroits les plus humides de la dune. Donc le mouvement de ces deux espèces met en évidence l'intervention de la fixation mécanique et biologique des dunes sur la composition floristique de notre station d'étude.

1.4.1.2. Diversité biologique

✓ Spectre biologique brut global

En se basant sur la composition floristique de la végétation, des relations entre les types biologiques, les traits fonctionnels des plantes et l'environnement sont recherchées pour comprendre le comportement de la végétation face au milieu et ses contraintes (ORSHAN et

al., 1988 ; DANIN et ORSHAN, 1990 ; FLORET et al., 1990) .

Pour répondre à nos objectifs et afin de mener cette étude, nous avons utilisé des relevés réalisés par l'INRF en 1984,1987 et nos relevés effectués en 2005 et 2009.

La répartition des types biologiques suit le schéma suivant : Th >He >Ph >Ch >Ge.

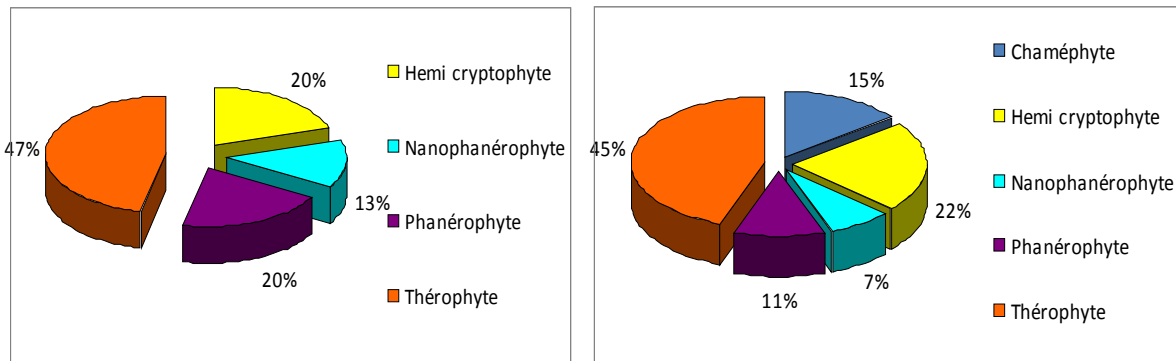


Figure 47: Spectres biologiques bruts de 1984 et 1987.

Il ressort de l'analyse de la figure 47, que presque la moitié des espèces qui colonisent notre zone d'étude sont des Thérophytes. Cette thérophytisation est une caractéristique des zones arides (DAGET,1980; BARBERO et al,1990, MADON et al,1996 in DAHMANI 1998) ,elle est due essentiellement à la quantité d'eau disponible et retenue dans le sol surtout en saison de croissance; selon NEGRE (1966) et DAGET (1980), la thérophytie est une stratégie d'adaptation vis-à-vis des conditions défavorables et une forme de résistance aux rigueurs climatiques, d'après les travaux de ORSHAN et al., 1988; DANIN et ORSHAN, 1990; FLORET et al., 1990; il ressort que les Thérophytes parmi les éphémères qui marquent une bonne adaptation à la sécheresse. La présence des Hémicryptophytes est modérée (20% en 1984 et 22% en 1987) soulignée par l'apparition de quelques espèces pionnières qui s'installent juste après la fixation de la dune telles que *Aristida pungens*, *Onopordon arenarium*.

La présence des Nano-phanérophytes et des Phanérophytes est moins importante (espèces fixatrices plantées), on note également l'apparition des Chaméphytes en 1987 avec 15% ; telle que *Euphorbia guyoniana*, qui indique une amélioration du terrain et d'après (ORSHAN et al., 1988 ; DANIN et ORSHAN,1990 ; FLORET et al.,1990) qui montrent que les Chaméphytes parmi les espèces persistantes qui ont une bonne adaptation à la sécheresse. On signale également l'absence des Géophytes dans les deux spectres.

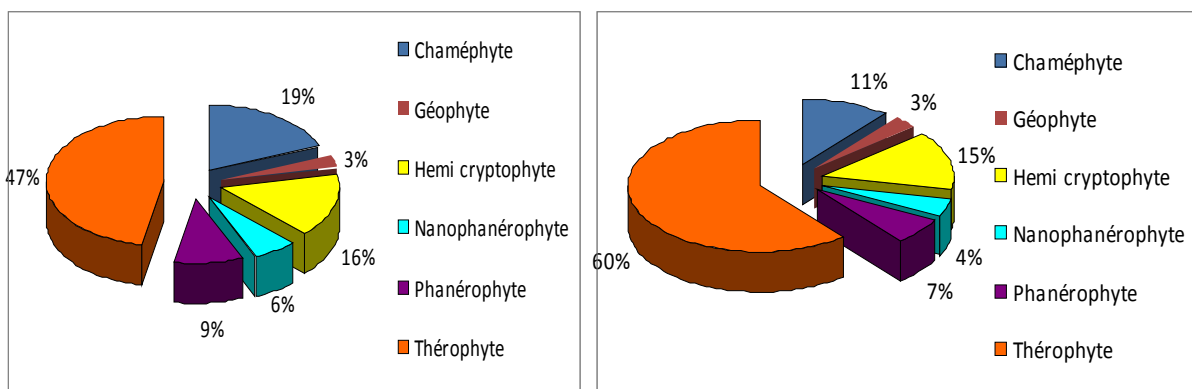


Figure 48: Spectres biologiques bruts de 2005 et 2009.

La figure 48, révèle une augmentation des Thérophytes, une apparition des Géophytes (2005-2009), suivie d'une régression des autres types biologiques; ce qui peut être

expliqué par l'augmentation du nombre des Thérophytes ; 45 espèces en 2009 opposant aux 15 espèces en 2005 (mais seulement 12 espèces ont été recensées en 1987 et 7 en 1984). Le nombre important des Thérophytes est commenté par l'effet de la fixation mécanique et biologique sur la stabilité du sol ,l'amélioration de microclimat mais aussi l'importance de la tranche pluviale reçue en 2009 avec 332.7mm, par rapport aux autres années d'étude qui ont enregistré ; 192,6mm en 2005 ;188,4mm en 1984 et 243,5mm en 1987.Ce taux élevé de Thérophytes est également décrit dans plusieurs travaux (KADI HANIFI, 1998; AMGHAR, 2002 ; SADJI, 2004) qui ont montré que cette thérophytisation est due au phénomène de self mulching qui se produit dans les zones à évaporation rapide et intense, il permet le développement des espèces annuelles grâce à la quantité d'eau retenue dans le sol.

Les Géophytes sont les moins représentées (absentes en 1984 et 1987), avec un pourcentage de 3% représentées par *Stipa tenacissima* et *Lygeum spartum*. Suivies par les Phanérophytes et les Nanophanérophytes. Mais la présence des Hémicryptophytes et des Chaméphytes est modérée.

✓ **Spectre biologique réel global**

Le spectre biologique réel, qui tient compte le recouvrement réel de chaque type biologique qui existe sur l'ensemble des relevés, il montre une nette différence par rapport au spectre brut.

La répartition relative de spectre biologique réel est la suivante : Ph >Th >He >Ch> Ge.

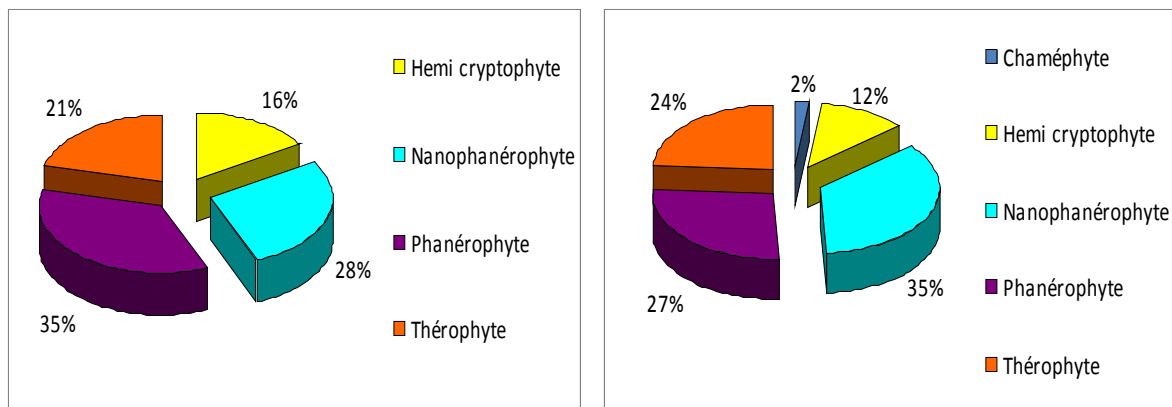


Figure 49: Spectres biologiques réels de 1984 et 1987.

D'après la figure 49, on déduit qu'en première position, viennent les Phanérophytes et les Nanophanérophytes représentés par *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Lycium arabicum* Boiss, *Eleagnus angustifolia* L et *Retama retam* Webb, *Tamarix gallica* L qui sont des espèces récemment plantées (1983) pour fixer les dunes.

Le recouvrement des Thérophytes est légèrement augmenté (21% en 1984 et 24% en 1987) par contre celui des Hémicryptophytes est diminué (16% en 1984 et 12% en 1987), pour les Thérophytes, cette augmentation est expliquée par le développement des annuelles grâce à la consolidation des tas de sable des dunes qui devient plus stable ,et plus apte à réserver l'eau de pluie (243,5mm).Pour les Hémicryptophytes ; leur diminution est expliquée par le dépérissement de certaines espèces qui cèdent la place à d'autres espèces telle que *Aristida pungens* qui est remplacée au bas de versant par *Cutandia dichotoma* (espèce thérophytique)et monte plus haut de la dune où le sable est moins évolué.

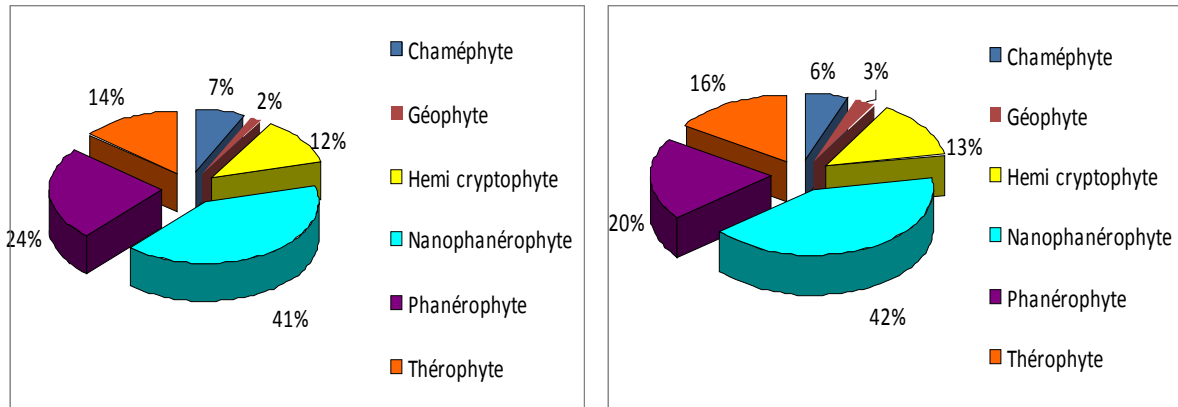


Figure 50 : Spectres biologiques réels de 2005 et 2009.

En 2005 et 2009, les Phanérophytes (représentés par *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Eleagnus angustifolia* L et *Lycium arabicum* Boiss) et les Nanophanérophytes (représentées par *Retama retam* Webb, *Tamarix gallica* L) engendrent un recouvrement très important qui dépasse 60% (fig.50).

La contribution des Thérophytes au tapis végétal est beaucoup plus faible par rapport à leur contribution à la richesse floristique. Ils enregistrent des recouvrements de 41 à 42%.

Le recouvrement des Chaméphytes est légèrement diminué en 2009 (7% en 2005 et 6% en 2009). Ce qui est expliquée par l'apparition des espèces telle que *Saccocalyx saturoides* en 2005, les Chaméphytes s'adaptent mieux à la sécheresse estivale et à la lumière (DANIN et al, 1990).C'est le cas pour l'année 2005.

Le recouvrement des Hémicryptophytes est légèrement augmenté (12%en 2005 et 13%en 2009).Les Hémicryptophytes préfèrent en général les milieux humides riches en matière organique (BARBERO et al ,1989), ce qui indique une amélioration du milieu.

Le recouvrement des Géophytes est très faible en général, un gain de 1% a été enregistré (2% en 2005 et 3% en 2009).Il ressort des travaux d'ORSHAN et al., 1988 ;DANIN et ORSHAN, 1990 ; FLORET et al., 1990 , que les Géophytes augmentent avec la pluviosité et le froid.

1.4.1.3. Diversité phytogéographique

✓ Spectre phytogéographique brut global

L'examen de la figure 51, nous a donné la succession suivante : Méd >S-A >M-S-A >End=P>E-M=E-A>M-I-T.

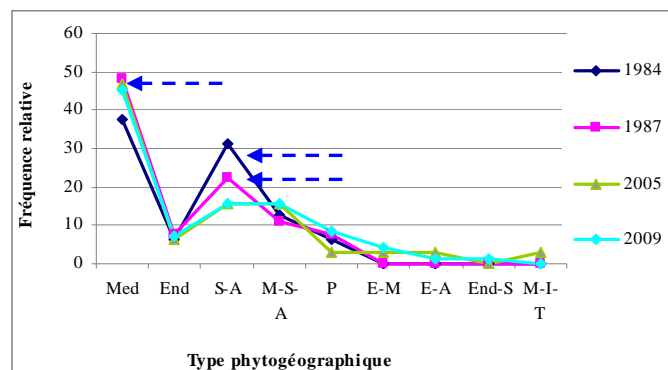


Figure 51 : Spectres phytogéographiques bruts de 1984, 1987, 2005 et 2009.

Il ressort de l'analyse de la figure 51, une dominance de l'élément Méditerranée et les éléments xériques à savoir les éléments Saharo-Arabique et Méditerranéo-Saharo-Arabique;

selon (QUEZEL ,1978) cet élément présente une large répartition dans le Sahara central et méridional, malgré sa dominance, il est en mélange avec l'élément méditerranéen au Sahara septentrional.

Le diagramme de la figure 51, marque une régression de l'élément Saharo-Arabique (2005 et 2009), mais une augmentation de l'élément Méditerranéen (1987,2005 et 2009), (LE HOUEROU, 1995) a signalé que l'élément Saharo-Arabique augmente avec l'aridité tandis que celui de Méditerranéen décroît, c'est le cas des résultats des dunes échantillonnées en 1984 (l'année la plus sèche) ont marqué la plus faible fréquence des espèces Méditerranéennes, mais la plus forte fréquence des espèces Saharo-Arabiques. Donc on peut conclure qu'il y avait une amélioration écoclimatique provoquée par les espèces fixatrices ; confirmé par la présence de l'élément Euro-Méditerranéen qui est un indicateur d'une ambiance sylvatique.

Aussi une légère augmentation d'élément Méditerranéo-Saharo-Arabique est enregistrée; selon (LE HOUEROU ,1995) ça est liée à l'aridité. Par ailleurs les éléments ; Endémique Saharien, Euro-Méditerranéen, Eurasiatique et Méditerranéo-Irano-Touranéen sont apparus dans les deux dernières années d'observation.

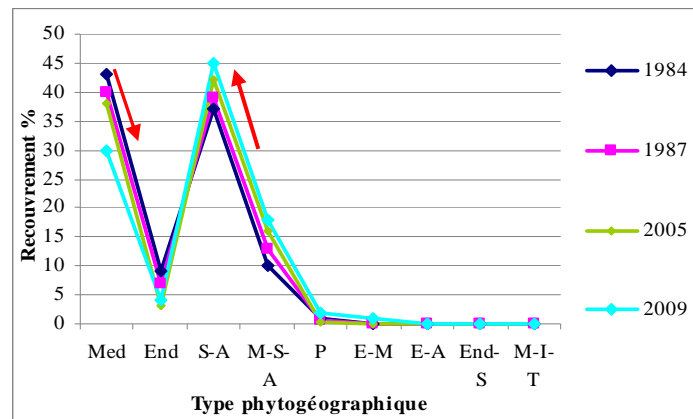


Figure 52 : Spectres phytogéographiques réels de 1984, 1987, 2005 et 2009.

Inversement aux spectres phytogéographiques bruts (fig.51), l'analyse du diagramme des spectres réels de la figure 52, montre la succession suivante: S-A > Méd > M-S-A > End > P > E-M > E-A > M-I-T, dont on a remarqué une légère augmentation de l'élément Saharo-Arabique par rapport à l'élément Méditerranéen, cette dominance est due aux espèces compositrices de l'élément ; par exemple *Tamarix aphylla* (L.) Karst et *Retama retam* Webb, cette dernière espèce couvre des superficies importantes de la dune, avec même une régénération naturelle.

1.4.2. Evaluation quantitative

Mesurer la diversité qui exprime le degré de complexité d'un écosystème, fondée sur l'usage d'indice de diversité dont la formulation est plus ou moins complexe (RAMADE, 1984).

Nous avons choisi de calculer l'indice de diversité spécifique de SHANNON « H'i », l'indice d'équitabilité « E » et l'indice de similitude de SORENSEN, qui caractérisent la diversité des parcelles échantillonnées pendant les années d'étude ; 1984, 1987, 2005 et 2009.

1.4.2.1. Indice de diversité spécifique de SHANNON « H'i » et d'équitabilité « E »

En général et d'après le tableau 13, l'indice de SHANNON de notre station d'étude est faible surtout pour les deux premières années « 1984 et 1987 » qui sont caractérisées par une richesse spécifique faible avec 15 et 27 espèces respectivement.

Tableau 13 : Indice de diversité spécifique de SHANNON « H'i » des années d'étude.

Années d'étude	1984	1987	2005	2009
Indice de diversité spécifique « H'i »	1.76	2.28	3.09	3.86
Indice d'équitabilité « E »	0.45	0.48	0.61	0.62

Il ressort de l'analyse du tableau 13, que l'indice de SHANNON augmente en 2005 et 2009. Il a enregistré des valeurs de $H' = 3.09$ et $H' = 3.86$ respectivement, ce qui semble augmenter avec la richesse spécifique qui est redoublée de 32 à 74 espèces. Ces résultats nous ont permis de dire que l'indice de diversité (H') augmente avec la richesse spécifique (RAMADE, 1994 ; LACOSTE et SALALON, 1999). Ce qui est confirmé par l'indice d'équitabilité qui enregistre la valeur la plus élevée en 2009, il tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement et tend vers 1 lorsque chacune des espèces est représentée par un nombre semblable d'individus (RAMADE, 1994). Ceci signifie que les dunes récemment fixées présentent une diversité relativement moins importante que celle des dunes anciennement fixées.

1.4.2.2. Indice de similitude de SORENSEN « IS » et taux de variation (%)

Puisque il évalue la ressemblance entre deux relevés en établissant le rapport entre les espèces communes, l'indice de similitude permet de faire une comparaison entre deux sites ; mais pour notre étude, on s'est intéressé à faire une comparaison interannuelle pour valoriser l'influence des facteurs climatiques sur la richesse floristique.

Selon ACHOUR (1978) et HIRCHE (1987), si l'indice de similitude ne dépasse pas 50% en moyenne, le pourcentage des espèces communes est faible ou moyen, et dénote une dynamique de végétation importante.

Tableau 14 : Indice de SORENSEN et taux de variation des années d'étude.

Années d'étude	1984-1987	1984-2005	1987-2005	1987-2009	1984-2009	2005-2009
Indice de similitude* $2c / (a+b) \times 100$	66.6	32.2	38.7	30	<u>22.47</u>	43.3
Taux de variation (%) $(b-a) / a \times 100$	23	45	30	65	<u>86</u>	38

Pour la période 1984-1987, l'indice de similitude dépasse 50% ce qui indique une forte similarité entre la flore de 1984 et 1987. Cette flore est généralement composée par une végétation pionnière qui s'installe sur les dunes non encore stabilisées. En outre, le facteur temps n'est pas assez suffisant pour qu'une diversité floristique s'établisse ; (c'est un biotope instable). Mais après quelques années, l'indice de similitude s'est baissé au dessous de 50% ; ce qui indique une dynamique importante de végétation et une augmentation de la richesse

* (a) : nombre d'espèces pour l'année antérieure
 (b) : nombres d'espèces pour l'année actuelle
 (c) : nombre d'espèces commune entres les deux périodes d'observation.

floristique avec un gain de 86% (1984-2009); dont 77.5 % de la totalité des espèces inventoriées en 2009 sont de nouvelles espèces adaptées à cet écosystème.

Pour la période 2005-2009, un taux de variation de 38% de flore a été enregistré dont 56% de cette végétation sont des espèces nouvelles qui ont marqué leur absence en 2005, ce qui pourrait être due au climat. En effet, nous avons un biotope bien stable en 2005 et en 2009 mais un climat variable qui influe sur la stabilité de la biocénose.

Le tableau 15, résume les principaux facteurs climatiques des années d'étude.

Tableau 15 : Pluviosité et température des années d'étude.

	1984	1987	2005	2009
Pluviosité (mm)	188,4	243,5	192,6	332,7
Température mini moy (°C)	9.46	10.27	9.73	9.71
Température Maxi moy (°C)	21.94	23.51	22.92	22.78

Les facteurs climatiques jouent un rôle important dans la diversité floristique. Le nombre des Thérophytes, et celui des Géophytes en 2009 est plus important par rapport à 2005. La plupart des espèces recensées en 2009 sont des espèces exigeantes, telles que : *Lolium rigidum* et *Bromus sterilis* ; qui des thérophytes relativement exigeantes en eau, de même la présence des Géophytes augmente généralement avec la pluviosité et le froid (ORSHAN et al., 1988 ; DANIN et ORSHAN, 1990 ; FLORET et al., 1990).

Conclusion

L'analyse de la diversité floristique, indique une diversité biologique progressive, sous l'effet du traitement. L'installation d'une strate herbacée plus au moins dense reste dépendante des conditions climatiques saisonnières notamment la pluviosité.

En effet, l'utilisation des spectres biologiques bruts, nous a montré une forte richesse des Thérophytes ; qui restent très sensibles aux facteurs climatiques, surtout la pluviosité et la température.

Par ailleurs les Chaméphytes qui marquent leur présence en nombre et en recouvrement connaissent une augmentation en 2005. Comme (RAUNKIAER; 1934, ORSHAN et al ; 1984, FLORET et al ; 1990) le soulignent que ce type biologique s'adapte mieux à la sécheresse estivale et à la lumière que les Phanérophytes.

Tandis que, le spectre phytogéographique brut révèle une augmentation de l'élément Méditerranéen et une régression de l'élément Saharo- Arabique.

Le spectre biologique réel, souligne la plus forte contribution des Phanérophytes et des Nanophanérophytes, par rapport aux autres types biologiques. Cette contribution est engendrée par le volume de *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Lycium arabicum* Boiss, *Eleagnus angustifolia* L et *Retama retam* Webb, *Tamarix gallica* L, qui occupent plus que la moitié de la zone étudiée.

Le spectre phytogéographique réel et inversement au spectre brut, a marqué une régression de l'élément Méditerranéen et une extension de l'élément Saharo- Arabique.

La famille des Astéracées reste la plus dominante du point de vue composition systématique suivie par la famille des Poacées.

Sur le plan quantitatif, le suivi de la diversité floristique par l'application des indices de végétation indique une variabilité importante de végétation et une augmentation de la richesse floristique avec un gain de 86% entre 1984 et 2009; et 77.5 % de la totalité de la végétation sont de nouvelles espèces adaptées à cet écosystème

2. Relation Végétation-Sol

L'étude de la relation croissance végétale- climat exige la prise en considération du facteur sol qui intervient par sa capacité de réserver l'eau pendant la saison sèche ;cette réserve régularise le bilan « Pluie -ETP » en permettant un ajustement de l'offre en eau à la demande climatique ; mais il intervient aussi par sa richesse en éléments nutritifs ; selon POUGET (1980), la végétation naturelle pratiquement est la seule source de matière organique qui est indispensable à la formation et à l'évolution des sols. Dans ces milieux dunaires, la matière organique sous végétation est restituée au sol par la décomposition sur place du système racinaire d'où son incorporation profonde dans le profil (isohumisme). De plus, la différence de nature entre une végétation de type ligneux et une végétation de type herbacé, plus riche en cellulose, doit se répercuter sur les phénomènes d'humification et la nature des composés humiques.

En effet, sur la plupart des profils réalisés, nous avons remarqué la présence d'un phénomène pédologique important, il favorise la stabilité des particules de sable, c'est l'auto-paillage ou le self-mulching « sous l'effet du dessèchement ; quelques centimètres de la partie superficielle se subdivise en une structure micro-polyédrique d'éléments de quelques millimètres de diamètre moyen ; très favorable à la germination des graminées ».

Concernant la partie pédologique* de ce travail, une comparaison est faite entre les profils pédologiques réalisés sous les pieds de différentes espèces fixatrices à ceux effectués hors les pieds (fig.53 et 54), afin d'illustrer la différence de l'épaisseur de l'horizon superficiel.

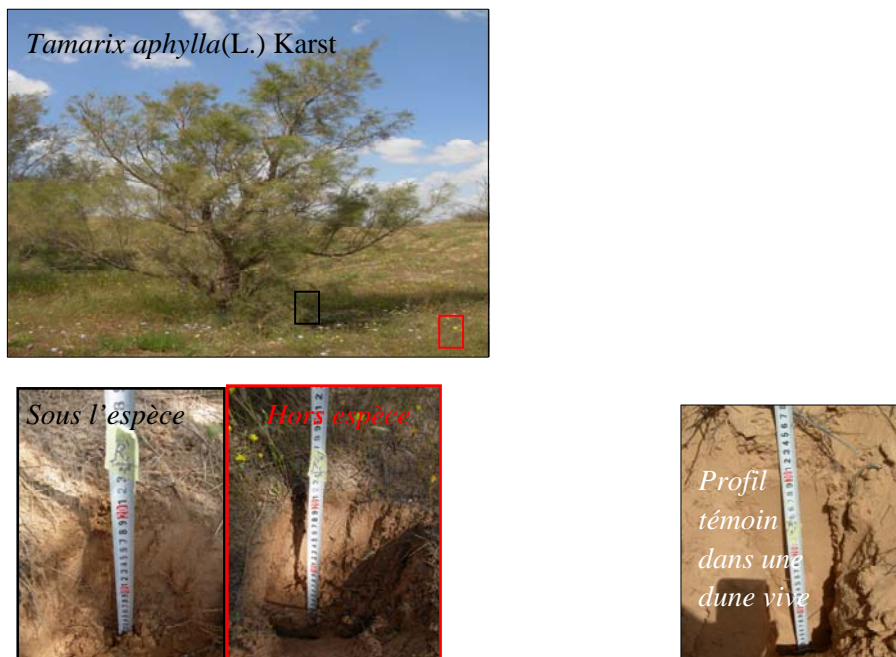


Figure 53 : Végétation et litière sous et hors les pieds de *Tamarix aphylla* (L.)Karst.

En général, l'effet des essences plantées s'exprime surtout dans les horizons supérieurs du sol. À ce niveau une couche de litière est formée par les débris de l'espèce fixatrice et son

* L'étude pédologique de cette station d'étude a été faite par GUERRACHE Nassima en 2009.

cortège floristique, l'épaisseur de cette couche de litière est plus importante sous les touffes ou les pieds des espèces (sous l'ombre) fixatrices qu'en dehors, elle est variée d'une espèce à une autre. (GUERRACHE, 2010), en première position, comme l'illustre la figure 54 ; sous *Tamarix aphylla* (L.) Karst une couche de 2,6cm est accumulée, dont 90% de cette litière est formée par les débris et les branches de l'espèce fixatrice (*Tamarix aphylla* (L.) Karst).

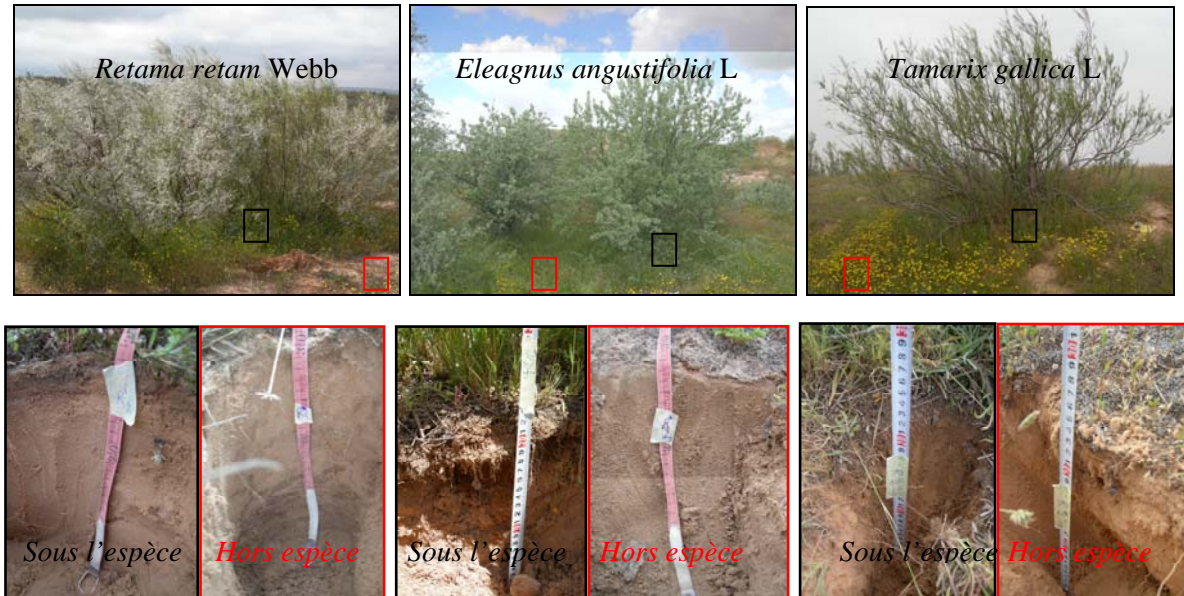


Figure 54 : La végétation et la litière sous et hors les pieds de *Retama retam* Webb, *Eleagnus angustifolia* L, *Tamarix gallica* L.

En deuxième position, *Retama retam* Webb, *Eleagnus angustifolia* L et *Tamarix gallica* L avec 2.4cm de litière, qui est composée de débris des espèces plates et de leur végétation accompagnatrice (fig.54). En dernière position on trouve *Lycium arabicum* Boiss avec une couche de litière de 1cm (fig.55).



La maille plastique verte utilisée pour la fixation mécanique

Figure 55: Végétation et litière sous et hors les pieds de *Lycium arabicum* Boiss

Le recouvrement et l'épaisseur de la litière augmentent avec l'abondance du couvert végétal qui change qualitativement et quantitativement d'une essence fixatrice à une autre, ce qui est identique pour toutes les espèces, mais *Tamarix aphylla* (L.) Karst marque la différence ; un cortège floristique très pauvre sous l'espèce et une litière très abondante.

Pour visualiser la relation entre le recouvrement de la végétation et la litière sous chaque essence fixatrice, nous avons réalisé la figure 56.

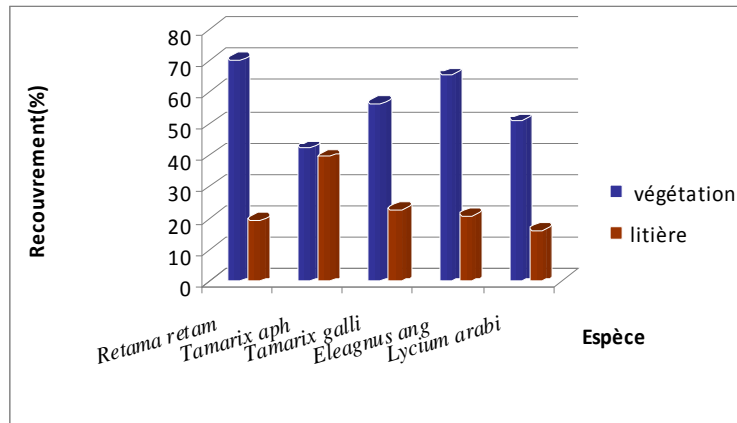


Figure 56: Recouvrement de la végétation et de la litière sous les différentes espèces fixatrices.

Comme nous l'avons signalé en haut, la litière couvre entre (16% et 23%) de la surface échantillonnée et qui augmente proportionnellement avec le recouvrement de la végétation accompagnatrice qui donne par déshydratation la litière, mais sous les pieds de *Tamarix aphylla* (L.) Karst, on a recensé 39,5% de la litière formée par les aiguilles et des branches de *Tamarix aphylla* (L.) Karst). Cette espèce halophyte donne naissance à une litière abondante mais faiblement biodégradable qui s'accumule d'une année à une autre ce qui provoque une acidification des premiers centimètres du sol et explique la présence d'une couche de litière de 2.6cm en particulier sous les grands individus.

La litière qui se décompose le moins bien est constituée des aiguilles de résineux, sur sol sableux et acide où peu de plantes peuvent y vivre.

3. Synthèse :

On a orienté notre étude vers le sens : *climat-végétation-sol* ; on s'intéresse surtout à la première relation ; *climat-végétation* pour déterminer l'espèce qui s'adapte mieux aux contraintes climatiques et donc qui fixe et colonise avec succès la dune.

L'étude temporelle des espèces végétales plantées, montre que la croissance des espèces est influencée par certains facteurs climatiques, principalement la pluviosité qui reste le facteur le plus déterminant (limitant), sans négliger l'effet des fortes températures qui favorisent l'évaporation et le dessèchement du sol, et donc la diminution ou l'arrêt total de la croissance végétale.

La croissance des espèces plantées, est rapide pendant les premières années mais change d'une espèce à une autre, par exemple *Eleagnus angustifolia* L atteint 2m de hauteur au bout de trois ans, mais *Lycium arabicum* Boiss atteint seulement 0,7m .Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette dissemblance de croissance:

-Le comportement des espèces face aux contraintes climatiques ; d'après notre approche, on peut déduire que

- *Lycium arabicum* Boiss résiste moins bien aux fluctuations thermiques que les autres espèces. Surtout sur des portions dunaires exposées au vent dominant, où elle a enregistré le plus faible taux de réussite, malgré les précipitations importantes reçues (INRF ; 1984-1987).
- *Eleagnus angustifolia* L et *Tamarix gallica* L résistent très bien aux températures extrêmes, en marquant les croissances les plus importantes malgré les températures exceptionnelles enregistrées en cette période (2005-2009) avec $m=0.22^{\circ}\text{C}$ et $M=35.02^{\circ}\text{C}$.
- *Retama retam* Webb et *Tamarix aphylla* (L.) Karst, résistent bien aux fluctuations thermiques.

Pour résister aux températures extrêmes et donc diminuer la transpiration et garder le maximum d'eau dans les tissus, chaque espèce présente certaines formes adaptatives

- *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Tamarix aphylla* (L.) Karst et *Retama retam* Webb supportent bien les conditions pédo-climatiques de la région, elles ont des feuilles très petites, économisent l'eau en période de sécheresse, par la réduction de la surface foliaire, donc moins de transpiration plus d'eau dans les cellules ou par un renforcement des tissus protecteurs, notamment, des parois épidermiques qui s'épaississent, s'imprègnent de cutine. Les stomates étant moins proches de la surface, la vapeur d'eau s'échappe moins facilement ; on constate en effet que les stomates s'enfoncent au dessous du niveau de l'épiderme, se concentrent dans des sillons, comme chez *Retama retam* Webb.
- *Eleagnus angustifolia* L et *Lycium arabicum* Boiss ; diminuant la grandeur et le nombre des feuilles qui se présentent sous forme de petites épines, elles perdent leurs feuilles en saison critique pour diminuer les pertes d'eau par transpiration, mais elles réduisent aussi la photosynthèse, donc les plantes vivent en ralentie

En effet, la diminution des feuilles; rend l'espèce très sensible à l'action du vent. Ce qui explique la forte mortalité enregistrée de *Lycium arabicum* Boiss.

Pour éviter l'action néfaste du vent, certaines espèces, comme *Eleagnus angustifolia* L et *Lycium arabicum* Boiss colonisent les mi-versants et les bas de versants en abri où l'action du vent est très faible.

En revanche, certaines espèces peuvent résister à l'action du vent et même le bombardement de sable grâce à leur feuillage persistant, par exemple *Retama retam* Webb qui a des feuilles inférieures trifoliées, les autres sont unifoliées caduques très résistantes au bombardement de sable et aux vents dominants. Elle présente une période de feuillaison qui s'étale sur 6 mois (Mars- Août) et d'Avril jusqu'à mi-novembre pour *Tamarix gallica* L. Ces deux espèces se développent sous forme des touffes en couvrant une superficie importante du sable et donc fixer et consolider ce dernier.

Eleagnus angustifolia L garde ses feuilles pendant 7mois (mi d'Avril- fin Novembre).Le feuillage de *Lycium arabicum* Boiss s'exprime en trois périodes (en mois de Mars, en mois de Mai et de la mi-novembre jusqu'à mi-décembre), ce qui crée pour l'espèce une difficulté face à l'action destructive du vent.

Concernant les précipitations, *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Tamarix gallica* L et *Eleagnus angustifolia* L ont reçu la plus faible tranche pluviale 295.24mm (1983-1987), mais ils ont enregistré des hauteurs de 1.33m, 2.6m et 2.3-3m en marquant un taux de réussite dépasse 80%. En revanche, *Lycium arabicum* Boiss et *Retama retam* Webb ont marqué la plus faible croissance malgré l'importance de la tranche pluviale reçue 324.72mm (1984-1987).On déduit que les trois premières espèces résistent mieux aux périodes sèches et croient plus rapidement que les deux dernières.

Cette résistivité aux périodes de sècheresses a une relation avec le développement du système racinaire, qui épuise l'eau et fixe le sable (Rhizosphère) :

- *Tamarix aphylla* (L.) Karst ; la profondeur latérale de ses racines arrive à 3.5m.
- *Tamarix gallica* L présente un système racinaire profond arrivant latéralement à 7m (remarque faite sur le terrain sur des individus dénudés par le vent).
- *Eleagnus angustifolia* L a un système racinaire assez profond atteint latéralement 3.4m, c'est la raison pour laquelle cette espèce colonise les bas de versants et les espaces inter dunaires, pour qu'elle puisse épuiser la nappe phréatique qui est moins profonde à ce niveau.
- *Lycium arabicum* Boiss développe une rhizosphère très importante (volume de sable colonisé par les racines) qui atteint latéralement 6m, ce qui lui permet d'épuiser l'eau de la nappe phréatique jusqu'à 6m.
- *Retama retam* Webb présente des racines de 3.2m, c'est l'espèce qui a colonisé toute la dune avec succès ; il paraît qu'elle est peu exigeante en eau, on note que les plantations faites en 1984 (188.4mm ; une année sèche) atteignent un taux de réussite dépasse 90%, en opposant au *Lycium arabicum* Boiss qui marque seulement 55% (tableau 7).

Plus l'espèce est exigeante en eau plus elle colonise les espaces les plus humides de la dune « les plus proche de la nappe phréatique», et plus elle est moins exigeante plus elle a la capacité de coloniser les espaces les moins humides et les plus exposés au vent.

En effet, l'existante de la végétation dans des milieux pareils sans traitement (fixation mécanique et biologique) est surtout liée à des facteurs abiotiques (Ex : micro-toposéquence des dunes), la végétation est particulièrement présente sur les bas de versants des dunes, en abri où l'humidité est relativement importante ainsi que la fertilité du sol.

Mais dans des milieux traités (dunes fixées), la végétation monte vers les sommets des dunes, en améliorant ;

*Le microclimat ; en créant une ambiance douce sous l'effet de l'ombre et la transpiration.

*Le sol ; en augmentant l'humidité de ce dernier et en améliorant sa fertilité par l'apport de la litière qui varie d'une espèce fixatrice à une autre;

- *Tamarix aphylla* (L.) Karst a un cortège floristique très pauvre qui dénombre 13 espèces en couvrant 42.4% de la surface échantillonnée et en formant une couche de litière importante arrivant à 3cm, elle est composée surtout de débris de l'espèce fixatrice qui donne une litière acide faiblement dégradable ; ce qui inhibe le développement des annuelles.
- *Tamarix gallica* L a un cortège de 16 espèces couvrant 56.6% de l'espace et une couche de litière de 2cm.
- *Eleagnus angustifolia* L ; son cortège est formé en moyen par 15 espèces qui forme une couche de 2.4cm en colonisant 65.4% de l'espace, litière abondante biodégradable.
- *Retama retam* Webb forme un cortège très important de 22 espèces couvrant 70.3% de l'espace et forme par la suite une matière organique qui assure la cohésion des particules du sable ce qui protège le sol contre l'érosion éolienne.
- *Lycium arabicum* Boiss seulement 13 espèces qui accompagnent cette essence couvrent une superficie de 40% en formant une couche mince de litière qui ne dépasse pas 1cm.

Un autre phénomène est remarqué sur le terrain et qui mérite une attention. Sur toutes les dunes fixées et sous les pieds des espèces plantées ; on remarque la formation d'une couche superficielle du sol réduite parfois en quelques centimètres (formée par des fines particules : argiles, limons) jouant le rôle d'un écran protecteur qui diminue l'évaporation et permet donc une rétention d'eau relativement importante préservée pendant une longue période de l'année. Cette couche s'appelle « Self-mulching » c'est une matière colloïdale qui colle les grains de sable après une fixation biologique des dunes.

D'après cette présente étude plusieurs remarques peuvent être déduites concernant le choix de l'espèce à planter :

- *Eleagnus angustifolia* L : bon fixateur des bas de versants des dunes et des voiles sableux. C'est une essence particulièrement intéressante en raison de sa vitesse de croissance et de son extrême résistance à la sécheresse prolongée et aux températures extrêmes.
- *Retama retam* Webb : très bon colonisateur de toutes les topographies de la dune vive, espèce qui résiste l'action du vent et le bombardement de sable, peu exigeante en eau et en humidité (colonise les espaces les plus secs), résiste les faibles et les fortes températures.
- *Tamarix gallica* L : bon fixateur de toutes les espaces dunaires ou inter-dunaires (micro dune, voile sableux, dune à faible pente), mais il n'a pas donné de bons résultats sur les sommets des dunes à forte pente où le vent est très violent.
- *Tamarix aphylla* (L.) Karst : très bon colonisateur des espaces inter-dunaires, espèce halophyte qui colonise aussi les dépressions salées. Pour la fixation des dunes, on peut l'utiliser comme un brise vent qui délimite rapidement les bordures de la zone fixée grâce à sa vitesse de croissance, sa facilité de reprise même après ensevelissement par le sable. Egalement, elle colonise rapidement les dunes vives et rend invulnérable les formations sableuses aux effets néfastes du vent. Cette espèce supporte bien les conditions pédoclimatiques de la région.
- *Lycium arabicum* Boiss a tendance à mieux se développer aux mi-versants et aux bas fonds. Elle peut donner une très bonne croissance en la mélangeant avec *Retama*

retam Webb, théoriquement et grâce à son système racinaire qui arrive à 6m, elle peut fixer facilement les sommets des dunes, ce qui n'est pas le cas sur le terrain où l'INRF (1988), a enregistré un taux de survie inférieur à 10% ,ce qui peut probablement dû à sa partie aérienne qui possède un feuillage léger, qui ne peut pas résister à l'action du vent et au bombardement de sable .Ce qui active le dessèchement de la partie foliaire, impliquant une diminution de la photosynthèse qui induit à une mort subite du végétal .

Mais, on peut l'utiliser comme une haie très dense, qui peut présenter un moyen efficace de fixation biologique.

4. Modèle proposé pour la fixation des dunes (Techniques à tester)

Le principe de la fixation des dunes est d'empêcher le sable de se déplacer pendant un temps suffisamment long pour permettre à la végétation naturelle ou plantée de s'y développer, en appliquant la technique de la stabilisation des sables qui consiste à freiner le mouvement de sable et pour cela on érige des palissades, qui sont en branches, planches enfoncées dans la dune, des mailles etc. (Chapitre généralité).

Parmi les techniques de fixation mécanique qui ont été testées ; la technique de mulch qui consiste à recouvrir le sable d'une couche protectrice aussi uniforme que possible pour supprimer l'action du vent au niveau du sol et empêcher le phénomène de saltation. Plusieurs matériaux ont été testés. On propose un nouveau produit à tester ; c'est un liant qui agglomère les grains de sable en les soudant entre eux; il s'agit d'une matière colloïdale (à disperser à faible dose sous forme d'une fine couche sur le sable de la dune mouillée); elle va jouer le rôle d'une couche de self mulching « artificielle ».

Sur le terrain, une mince couche a été formée par les mousses qui se développent sur les dunes fixées. Les mousses forment un tapis végétal qui craque sous les pieds en été. Elles sont capables de se déshydrater en période sèche et reprendre leur vie à la moindre pluie. Bien que très petite, elles retiennent le sable efficacement. Si on arrive à les cultiver dans le laboratoire, sous forme de planchettes, on aura un très bon fixateur mécanique et biologique à la fois.

Pour la fixation mécanique par la maille en plastique qui a donné de très bons résultats (INRF, 1988), on propose de l'améliorer afin de protéger mieux le sommet de la dune contre les vents dominants (surtout les dunes de grandes dimensions) ; au lieu de dresser un simple carroyage par la maille (4x4 ou 2x2m) sur toute la dune dès la base jusqu'au sommet, on érige la maille sous forme d'une toile d'araignée, en croisant tout d'abord la maille au sommet une ou deux fois selon les dimensions de la dune, puis on entoure horizontalement la dune par la maille du sommet jusqu'à la base.

Pour aider à la fixation, on peut déposer un léger réseau de branchages ou de tout autre débris déposé simplement sur le sable, surtout sur le versant face au vent. De cette façon, nous assurons une couverture unie du sol contre les trop ardents rayons du soleil et le vent.

Pour la fixation biologique, les espèces qui ont été testées présentent une certaine zonation dans l'occupation de l'espace, selon leurs capacités d'adaptations physiologiques et morphologiques aux contraintes pédo-climatiques (sol, vent, humidité, température et période sèche) ; pour cela on propose de mélanger les espèces avec *Retama retam* Webb sur toutes les topographies ; c'est l'espèce qui a donné les meilleurs taux de réussite. Et avec *Atriplex canescens* qui paraît la plus adaptée aux dunes, particulièrement au niveau des sommets (INRF, 1988).

Pour *Tamarix aphylla* (L.) Karst l'arbre qui dépasse 15m de hauteur (FERLIN, 1981), elle a enregistré une hauteur de 1.33m au bout de quatre ans. On propose de la planter sur toutes les espaces inter-dunaires formant un brise-vent qui gêne la circulation du vent et protège la végétation plantée. Mais, on doit renforcer la protection de la partie basse de l'arbre qui est exposée au vent par une essence de taille moyenne telles que ; *Retama retam* Webb ou *Lycium arabicum* Boiss qui gardent les graines de sable sur place en assurant aussi la conservation de l'humidité et l'apport d'humus.

Enfin, pour améliorer la capacité de rétention du sable en eau, on propose de mettre dans les ouvertures de plantation une quantité de sciure, qui garde plus de temps l'eau (l'humidité) à la disponibilité des racines et améliore la pédogenèse par sa dégradation.

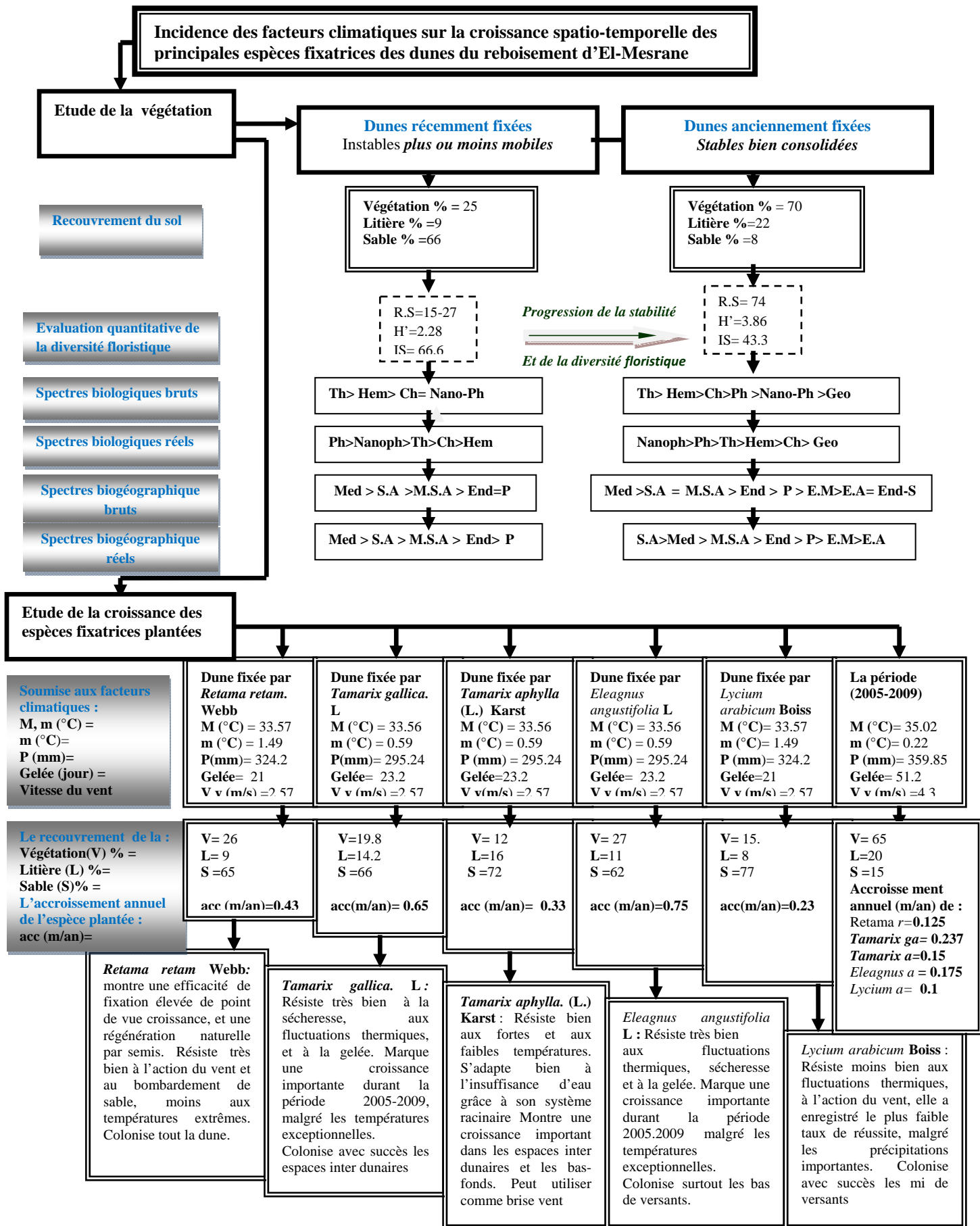


Figure 57 : Schéma des résultats des analyses qualitatives et quantitatives de différentes dunes fixées par *Retama retam* Webb, *Tamarix gallica* L, *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Eleagnus angustifolia* L et *Lycium arabicum* Boiss

Conclusion

Conclusion générale

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'incidence des facteurs climatiques sur la croissance spatio-temporelle des principales espèces fixatrices des dunes dans le cordon dunaire d'El-Mesrane, afin de valoriser l'effet et l'utilité de la fixation mécanique et biologique sur la dynamique de la végétation.

Afin de l'atteindre, nous avons comparé des données dendrométriques et des relevés phytoécologiques des deux périodes différentes (1984-1987) et (2005-2009) ; ceux de 1984 et 1987 ont été réalisés par les chercheurs de l'INRF et ceux de 2005 et 2009 par nous même. Nous avons donc comparé l'accroissement des essences fixatrices et la diversité floristique observée durant les différentes années d'étude en fonction des facteurs climatiques. Les résultats phyto écologiques ont été obtenus à partir des traitements numériques (l'AFC et la CHA), réalisés sur 118 relevés et 74 espèces. D'autre part, nous avons analysé la biodiversité par le calcul des indices de diversité et l'établissement des spectres biologiques et phytogéographiques afin d'évaluer les différences de la végétation dunaire par rapport aux éventuels changements climatiques.

Il ressort de cette étude que :

Sur le plan climatique, la région enregistre une diminution de la pluviosité annuelle et une augmentation de l'amplitude thermique durant les dix dernières années (1999-2009).

L'étude quantitative spatio-temporelle de la végétation a révélé que la densité des espèces végétales augmente sur les dunes stabilisées par paillage. La flore recensée dans ces milieux plantés est 2 à 3 fois plus élevée que la flore présente hors plantations. Ce qui pourrait du au microclimat humide généré par les touffes de plantations, ce qui va influencer positivement sur le pédoclimat en améliorant la qualité du sol et en diminuant l'action du vent et par conséquent l'évapotranspiration.

En général, le pourcentage global de la végétation augmente en adéquation avec le gradient altitudinal, elle occupe les topographies les plus basses de la dune où l'humidité du sol est importante et l'action du vent est minimale ; les topographies face au vent sont généralement difficiles à coloniser ; elles sont plus sèches et plus exposées au vent dominant (SW), par contre les topographies sous le vent qui se trouvent en abri sont plus fraîches et donc facilement colonisables. Chaque espèce fixatrice occupe la dune différemment ainsi : *Retama retam* Webb, se développe sur l'ensemble de la dune à différentes topographies et expositions. *Tamarix gallica* L colonise toutes les topographies de la dune sauf les sommets à hautes altitudes exposés au vent. *Tamarix aphylla* (L.) Karst et *Eleagnus angustifolia* L colonisent les bas de versants et les espaces inter-dunaires. *Lycium arabicum* Boiss a enregistré un taux de réussite inférieur à 10 % surtout en position topographique en face du vent.

Concernant le comportement et la croissance des espèces fixatrices face aux contraintes climatiques, on peut affirmer que ni la précipitation ni la température n'expliquent la forte mortalité de *Lycium arabicum* Boiss qui reste très sensible à l'action du vent. *Eleagnus angustifolia* L et *Tamarix gallica* L supportent bien le manque d'eau, la gelée et les températures très rigides. *Retama retam* Webb résiste très bien à l'action du vent. C'est la seule espèce qui a colonisé l'ensemble de la dune. *Tamarix aphylla* (L.) Karst résiste mal à l'action du vent et au bombardement de sable, pour cela elle colonise surtout les espaces inter-dunaires.

Sur le plan qualitatif, la comparaison des relevés phytoécologiques des années 1984, 1987 à ceux des années 2005, 2009 souligne ;

Du point de vue composition systématique, la famille des Astéracées reste la plus dominante suivie par la famille des Poacées.

Les spectres biologiques bruts, soulignent une diversité biologique progressive, sous l'effet du traitement. Ils révèlent une forte contribution des Thérophytes à la richesse spécifique avec l'apparition des Chaméphytes puis les Géophytes après un certain temps de fixation.

Le spectre phytogéographique, indique une augmentation du taux de l'élément Méditerranéen et une régression de l'élément Saharo- Arabique.

L'analyse des spectres biologiques réels, a souligné la plus forte contribution des Phanérophytes et des Nanophanérophytes, par rapport aux autres types biologiques, engendré par le volume de *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Lycium arabicum* Boiss, *Eleagnus angustifolia* L et *Retama retam* Webb, *Tamarix gallica* L, qui occupent plus que la moitié de la zone étudiée.

Le spectre phytogéographique réel et inversement au spectre brut, a permis de marquer une régression de l'élément Méditerranéen et une extension de l'élément Saharo- Arabique lié à l'aridité.

Sur le plan quantitatif, le suivi de la diversité floristique par l'application des indices de végétation indique une variabilité importante de la végétation et une augmentation de la richesse floristique avec un gain de 86% entre 1984 et 2009; et 77.5 % de la totalité de la végétation sont de nouvelles espèces adaptées à cet écosystème.

D'autre part l'étude phytoécologique a permis d'identifier les principaux facteurs qui régissent la végétation de la zone étudiée. Ainsi l'application de l'AFC et de la CAH à 118 relevés et 74 espèces ont mis en évidence 4 groupements végétaux. Les principaux facteurs qui les déterminent sont : la pente (axe 1), l'humidité du sol (axe 2) et la topographie (axe 3).

Cette première approche de notre travail, a permis d'élucider le rôle qu'a joué le climat sur la croissance spatio-temporelle des essences fixatrices des dunes. L'eau reste toujours le facteur limitant de la croissance et de la distribution des végétaux, ce qui souligne l'importance de la pluie, sans négliger l'effet des autres facteurs climatiques notamment le vent, qui a un effet très néfaste sur les jeunes plants en général et sur *Lycium arabicum* Boiss en particulier. Par ailleurs, les plantations mixtes peuvent constituer une alternative intéressante aux plantations mono spécifiques.

Les résultats obtenus ne sont pas considérés comme définitifs. Ils peuvent être améliorés par une étude dendroécologique ou dendrochimique et dendroclimatique pour déterminer l'impact réel à long terme des facteurs climatiques.

Enfin, un ensemble de techniques de fixation mécanique et biologique ont été proposées. Il serait donc utile de les tester et de réunir les données des autres études afin de chercher à établir un modèle parfait sur lequel l'opérateur pourrait se baser pour établir des plans de fixation permettant d'obtenir des résultats satisfaisants et de maintenir la pérennité des systèmes écologiques réhabilités.

Bibliographie

Bibliographie

Achour H., 1983.-Etude phytoécologique des formations à alfa (*Stipa tenacissima* L) du sud Oranais- Wilaya de Saida. *Thèse doct. 3^{ème} cycle. USTHB.* Alger.216p+ann.

Addar AB., 2003.-Analyse de la dynamique de la végétation et biodiversité des massifs orientaux et occidental du Djurdjura. *Thèse Mag.USTHB.* Alger.243p+ann.

Aïdoud A., 1983.-Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du sud oranais : phytomasse, productivité énergétique, productivité primaire et application pastorale. *Thèse Doct 3^{ème} cycle. USTHB.* Alger, 245p+ann.

Aïdoud-Lounis F., 1984.-Contribution à la connaissance des groupements à sparte (*Lygeum spartum* L.) des Hauts Plateaux Sud-Oranais; étude phyto-écologique et syntaxonomique. *Thèse Doct 3^{ème} cycle. USTHB,* Alger, 253 p.

Aïdoud A., 1989.-Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques pâturés des hautes plaines-Algéro-Oranaises. Fonctionnement, évaluation et évolution des ressources végétales. *Thèse Doct 3^{ème} cycle. USTHB,* Alger, 253 p+ann.

Aidoud A et Aidoud-Lounis F., 1991.-Evaluation et régression des ressources végétales steppiques des hautes plaines algériennes. 4^{ème} CITP, Montpellier (France) 22-26/04/1991. Tome 1 : 307-309.

Aïdoud A., 1994.-Les changements écologiques dans les steppiques ; causes et implications pastorales. Alger.

Aïdoud Lounis F., 1997.-Le complexe steppique a alfa-arroise-sparte (STIPA TENACISSIMA L., ARTEMISIA HERBA ALBA ASSO., LYGEUM SPARTUM L) de hautes plaines algériennes. Structure et dynamique des communautés végétales. Thèse. Doc. Uni. De droit d'économie et des sciences d'Aix-Marseille. Lab. bot. Eco. Med, France, 263p.

Aidoud A, Aidoud Lounis F et Slimani H., 1997.-Effects of grazing on soil and desertification. In: Ecological Basis of Livestock Grazing in Mediterranean Ecosystems (V.P. PAPANASTASIS (Ed.), Workshop, oct 1997, Univ. Thessaloniki (Greece), in press.

Aidoud, A., 1998. -Fonctionnement des écosystèmes Méditerranées. Laboratoire d'Écologie Végétale, Univesité de Rennes 1.conf.

Aïdoud A, Lefloch E, Lehouerou N al., 2006.-Les steppes arides de l'Afrique du nord. *Ed ; SECHERESSE,* France, 12p.

Aime S., 1991.-Etude écologique de la transition entre les bioclimats sub- humide, semi aride et aride dans l'étage thermo-méditerranéen du tell Oranais (Algérie occidentale). *Thèse doct.es. Sci. Univ. Aix-marseille :* 190p + ann.

Aïssiou F., 2009.-Etude diachronique de la végétation de Moudjbara (Wilaya de Djelfa).). *Thèse. Mag. USTHB.* Alger.78p+ann.

Ammar Khodja et Marzouk., 1987.-La dynamique de la végétation dunaire (Analyse linéaire). Rapport interne INRF, Djelfa.16 p.

Amghar, F, Kadi-Hanifi, H., 2000.-Diagnostic de la diversité floristique de cinq stations steppiques du sud Algérois.11p.

Amghar F., 2002.-Contribution à l'étude de la biodiversité de quelques formations de dégradation en Algérie. *Thèse Mag. Ecolo. USTHB*. Alger. 188p. + ann.

Bagnouls F et Gaussen H., 1953.-Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 88, 193-293

Bagnouls F et Gaussen H., 1957.-Les climats biologiques et leur classification. *Ann. Gogr. Fr.*, 355 : 193-220.

Barbero M, Loisel R et Quezel P., 1989.-Perturbation et incendies en région méditerranéenne. *Int. Estud. Pyrenaisos jaca*.12: 409-419.

Barbero M., Bonin G., Loisel R. et Quezel P., 1990.Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of Mediterranean basin.*Vegetatio*, 87:181-173.

Bedrani S., 1997.-Les effets du commerce mondial sur la désertification dans les pays du Maghreb, In L'Annuaire de l'Afrique du Nord. (CNRS, Aix en Provence).

Bedrani S, Nedjraoui D., 2008.-la désertification dans les steppes algérienne : causes, impacts et action de lutte. *Ed ; REVUES.ORG « LODEL »*.

Benslimane M, Hamimed A, El Zerey W, Khaldi A et Mederbal K., 2008.-Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord. *Ed ; Revue sciences de l'environnement*.

Benzecri JP., 1964.-Sur l'analyse factorielle des proximités. Publ. Inst. Stat. Univ. Paris 1964 ; 14 : 165-80.

Benzecri JP et Coll., 1973. -L'Analyse des données Tome 2 : l'analyse des correspondances. Paris 619p.

Benzecri JP., 1973. -L'analyse des données. 2 vols. Dunod. Paris, 1234 p.

Boussouf L., 2004.-Contribution à l'étude phytoécologique et phytosociologique de quelques groupements préforestiers de dégradation dans l'Atlas Blidéen (secteur Algérois) *Thèse Mag .USTHB* .Alger.194p.

Bouziane A., 1986.-Contribution à l'étude de la dynamique de la végétation dans le cordon dunaire du Zahrez Gharbi-cas d'El Mesrane (w.Djelfa) .*Mém Ing. D'Etat. INA*.75p.

Braun-Blanquet J., 1974.-La flore du bassin méditerranéen. Essai de systématique synthétique. Ed. C.N.R.S., Paris, 576p.

Carle J., 1949. -Spectres biologiques réel .Bull. Soc. Bot. Fr.95 :340-343.

Chehma AB., 2005.-Etude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara Septentrional Algérien cas des régions de Ouargla et Ghardaia. *Thèse. Doc. Univ Annaba*.178p.

Chehma A, Djebbar MR, Hadjaiji F et Rouabeh L., 2005.-Etude floristique spatio-temporelle des parcours sahariens du Sud-Est algérien. Univ Ouargla et Annaba .Ed. revue agro_biotech.

Chouail A., 1992.-Essai d'évaluation cartographique de la dynamique du cordon dunaire Dans deux zones (Zaafrane et Zebbar-el-Mekhzen). Thèse de Master Univ. Québec Canada. Contribution à l'étude du vent en relation avec l'érosion éolienne dans les zones arides PNR 1

Cornet A., 2002.-La désertification à la croisée de l'environnement et du développement : un problème qui nous concerne, 35 p.

Daget PH., 1977.-Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation .Végétation. Paris. Vol. 34,1 : 1-20.

Daget, Ph., 1980.-Sur les types biologiques botaniques en tant que stratégie adaptative (Cas des thérophytes). In : Barbault, R., Blandin, P. & Meyer, J.A. (eds), Recherches d'écologie théorique : les stratégies adaptatives, pp. 89-114.Maloine, Paris.

Dahmani –Megrerouche M., 1997.-Le chêne vert en Algérie, syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. *Thèse. Doc d'Etat. USTHB*, 384p.

Dahmani, M, Kadi-Hanifi, H., 1998.-Contribution à l'étude de la biodiversité de l'Algérie et à la mise en place d'une stratégie algérienne de conservation de la diversité biologique. Cas des plantes supérieurs. 173p.

Danin A , Orshan G., 1990.-The distribution of Raunkiaer life in relation to the environment. Journal of vegetation Science 1:41-48.

Delemps A.H., 1970.-La végétation de la terre. Masson et Cie. Paris. 130p.

DGF (Direction Générale des forêts), 2004.-Rapport national de l'Algérie sur la mise en oeuvre de la Convention de Lutte Contre la Désertification, DGF, Algérie, 35 p.

DGF (Direction Générale des forêts), 2007.- L'expérience algérienne dans la lutte contre la désertification. Comm. Atelier International du Parlement Panafricain sur la Lutte contre la désertification, Alger du 02 au 04 Avril 2007.

Djebaili S., 1978.-Recherche phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppique et de l'Atlas Saharien algérien. *Thèse. Doc. Uni. Sci. Tech. Languedoc Montpellier*.France, 229p+ann.

Djebaili S., 1984.-Steppe algérienne. Phytosociologie et écologie, Alger, 177p.

Djelouli Y., 1981.-Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux du sud oranais (wilaya de Saïda). *Thèse.Doct.3^{ème} cycle. USTHB*. Alger.178p+ann.et cartes.

Djellouli Y., 1990.-Flores et climats en Algérie septentrionale : Déterminismes climatiques de la répartition des plantes, *Thèse Doc. USTHB*. Alger. 210 p+ann.

Djellouli Y., 1990.-Flores et plantes en Algérie septentrionale. Déterminisme de la répartition des plantes.Thèse doc. USTHB .Alger.262p+ann.

Dorsouma Al Hamndou et Mélanie Requier-Desjardins.2008-« Variabilité climatique, désertification et biodiversité en Afrique : s'adapter, une approche intégrée ». *Revue sciences de l'environnement*.

Dubief J., 1950.- Evaporation et coefficients climatiques au Sahara. Ed : Ed: Inst. Rech.

FAO., 1988. -Manuel de fixation des dunes. Cahier FAO: Conservation no 18. Rome.

Ferlin, G.R., 1981.-Techniques de reboisement dans les zones subdésertiques d'Afrique. Ottawa, Ont., CRDI. IDRC-169f. 46 p.

Floret Ch. et Le Floch E., 1973.-Production, sensibilité et évolution de la végétation et du milieu en Tunisie présaharienne. Doc. C.E.P.E.N° 71, Montpellier, 45p.

Floret Ch et Pontanier R., 1982.-L'aridité en Tunisie présaharienne. Trav. Et Doc de l'ORSTOM, N° 150, Paris, 544p.

Floret Ch et Le Floch E, Orshan G et Romane F., 1984.-Contribution à l'étude de la phénologie et des types biologiques de quelques espèces de la garrigue .Bull.Soc.bot .fr .131.Actual (2/3/4).451-463.

Floret C, Galan M.J, Le Floch E, Orshan G et Romane F., 1990.-Growth forms and phenomorphology traits along an environmental gradient: tools for studying vegetation. J. Veg. Sci. 1: 71-80.

Gallandat J-D, Gillet F, Havlicek E et Perrenoud A., 1995.-Typologie et systématique phytopédologique des pâturages boisés du Jura suisse. Rapport final de mandat. univ. Neuchâtel.

Godron M., 1968.-Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu. Ed . C.N.R.S., Paris (VIIe).

Godron M., 1971.-Essai sur une approche probabiliste de l'écologie des végétaux .*Thèse Doct. Univ. Sci. Tech. Languedoc*. Montpellier.247p.

Godron M., 2007.-Constitution d'une base de données écologiques et résultats attendus. Atelier Transfert de Technologie. FSB-Laboratoire d'écologie, USTHB., Alger, 15p.

Gounot M., 1969.Méthode d'étude quantitative de la végétation. *Ed ; MASSON et Cie*, Paris, 314 p.

Guerrache N., 2010.-Etude Comparative du Sol et de la Végétation des dunes fixées par *Retama retam*, *Tamarix gallica* et *Tamarix aphylla* dans le cordon dunaire d'El-Mesrane (W.Djelfa). *Thèse. Mag. USTHB*. Alger.87p+ann.

Guit B et Nedjahi A., 1995.-Valorisation des zones steppiques. Doc. Interne (INRF).

Hirche A., 1987.-Essai d'étude diachronique(1977,1987) et cartographique dans les deux transects, Mekmen Amar Mrir (feuille d'Elkreder).DES.USTHB, 64p.

Hirche A., 1995.- Contribution à l'étude de l'apport de l'image satellitaire à l'inventaire cartographique et phytoécologique d'une zone présaharienne cas de l'oued djellal. *Thèse*.

Mag. Univ. Sci. Tech. H.B, Alger, 220p+ann.

Hirche A, Boughani A M et Salamani M., 2007.-Evolution de la pluviosité dans quelques stations arides algériennes. *Revue Sécheresse*, 18(4), 314–320.

Ibrahim Nahal ., 2004.-La désertification dans le monde causes, processus, conséquences et lutte- 2004 –Ed.l’Harmattan, Paris, 150 p.

Ihaddaden Akli., 2002.-Etude phytoédaphiques des groupements à chêne vert le long d’une transect Nord-Sud « des monts de Chenoua » aux « monts d’Aflou ». *Thèse. Mag.USTHB. Alger.*193 p.

INRF, Institut National de la Recherche Forestière., 1987.-Bilan d’activité semestriel Janvier -Juillet 1987, Djelfa, 48p.

INRF, Institut National de la Recherche Forestière., 1989.-Bilans de trois années de travaux de fixation des dunes d’activités (1987, 1988,1989) Doc. Interne. INRF.

INRF, Institut National de la Recherche Forestière. , 1995.-Les recherches sur les techniques de luttés contre la désertification Doc. Interne. INRF.

IRA-IRD, L’Institut des régions arides et l’Institut de recherche pour le développement., décembre 2003.-PROGRAMME SUR LA DESERTIFICATION DANS LA JEFFARA TUNISIENNE : Pratiques et usages des ressources, Techniques de lutte et devenir des populations rurales. Tunisie.36p.

Kaabeche M., 1990.-Les groupements végétaux de la Région de Bou-Saada. Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. *Thèse de Doct. es Sce. Univ. Paris-Sud. Fac. Sces. Orsay.*94p+ann

Kadi-Hanifi-Achour H., 1998.-L’Alfa en Algérie, Syntaxonomie, relation milieu-végétation, dynamique et perspectives d’avenir. *Thèse Doct, USTHB. Alger.*267p.

Kadik B., 1976.-Aperçu sommaire sur les possibilités du *Prosopis* sp et des autres espèces en zones désertiques. Doc. Interne, CNRF.

Kadik B et Makhlouf L., 1978.-La ceinture verte de protection du périmètre de mise en valeur de la plaine d’Abadla (Bechar). Doc. Interne.

Kadik B., 1982.-La désertification et les moyens de lutte. INRF. Alger. 32p.

Kadik B., 1983.-Contribution à l’étude du Pin d’Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Algérie. Ecologie, dendrométrie, morphologie. *Thèse Doct. Es Sciences, Fac. St-Jérôme. Marseille,* 313p. + ann.

Kadik B., 1986.-Les Arbres et les arbustes dans la lutte contre la désertification. Séminaire sur la steppe Tébéssa.

Kadik L., 1984.-Contribution à l’étude phytoécologique des formations à *pinus halepensis* Mill. Dans le Senalba Chergui et Gharbi (Atlas Saharien).*Thèse Doct. 3^{ème} cycle, USTHB. Alger.*

Kadik L., 2005.-Etude phytosociologique et phytoécologique des formations à Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) de l'étage bioclimatique semi-aride algérien. *Thèse. Doc. USTHB.* Alger. 341P.

Killain Ch., 1948.-Conditions édaphiques et réactions des plantes indicatrices de la région alfatière. *Ann. Agron.*1, 4-27.

Killain Ch., 1954.-Les plantes fourragères type des hautzes palines algériennes : leur rôle particulier en période sèche.*Ann.Amelior.Plant.Paris.*527p.

Lacoste A. et Salanon R., 1999.-Eléments de biogéographie et d'écologie. 2ème éd.Nathan, Paris, 318p.

Le Houérou, H.N., 1995.-Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertisation, Options méditerranéennes, sér. B : recherches et études : 1-396p.

Long G., 1954.-Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie Centrale. *Ann. Serv. Bot. Agro. Tunis.*, 27, 388 p.

Long G., 1974.- Diagnostic phytoécologique et aménagement du territoire. Tome I : Principes généraux et méthodes. *Ed ; MASSON, Paris, 252 p.*

MADR, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural., 2007.-Le plan national de développement agricole et rural et la lutte contre la désertification. *Comm. Atelier International du Parlement Panafricain sur La Lutte Contre la Désertification, Alger.*

Maire R., 1926. -Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie (Notice). *Gouv. Gén. Alg. Serv. Cart., Alger: 78p.*

Makhlouf L., 1978.-Diversification des espèces (forestières, fourragères et fruitières) dans le projet de masse de Moudjebara, parcelle expérimentale de Maalba. Sup. 5 ha. *Rapport interne, CNRF (INRAA).*

Makhlouf L, Ounesli R, Aboub A et Amraoui A., 1982.-Recherche sur les techniques de stabilisation mécanique et biologique des accumulations sableuses du cordon dunaire. Sup. 50 ha. *Projet d'exécution.*

Makhlouf L, Chouial A et Ounesli R., 1986.-Essais d'introduction de quatre variétés d'opuntia (inermes, lancéolata, rampant, robusta) projet pilote d'El-Mesrane (Djelfa). *Note technique, document interne INRF.*

Makhlouf L., 1988.-Dynamiques des sables : cas du cordon dunaire des Zahrez (Djelfa). *Rapport interne INRF.*

Makhlouf L., 1992.-Etude sédimentologique de sable de cordon dunaire dans les bassins des Zahrez Gharbi (W.Djelfa). *Thèse. Doct Uni du Paris VI, p236+annexe.*

Makhlouf L., 1995.-Les techniques de lutte mécanique et biologique contre les phénomènes d'ensablement. *Résultats et perspectives. Sem. National.*

Makhlouf L., 2000.-Résultats de l'expérience algérienne en matière de fixation des dunes. Cas du projet pilote d'El-Mesrane- Djelfa.

- Mekideche S., 2009.**-Contribution à l'évaluation de la diversité végétale d'un paysage des piémonts de l'Atlas Blidéen (Hammam Mélouane, Wilaya de Blida). *Thèse. Mag. USTHB.* Alger.110p.
- Melzi S., 1986.**-Approche phytoécologique du processus de la désertification dans un secteur présaharien : Messaad-Djelfa. *Thèse. Mag. USTHB.* Alger.133 p.
- Merbah F., 2005.** -Contribution à l'étude de la biodiversité des massifs montagneux du Centre-Est algérien. *Thèse Mag. USTHB.* Alger. 167p.
- Nedjraoui D., 1981.**-Teneur en éléments biogènes et valeurs énergétiques dans trois principaux faciès de végétation (*Artemisia herba alba*, *Lygeum spartum*, *Stipa tenacissima*) des hautes plaines steppiques de la wilaya de Saïda. *Thèse 3ème cycle. USTHB.*Alger. 159p.
- Nedjraoui D., 1990.** -Adaptation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L) aux conditions stationnelles. *Thèse Doct. Sciences, USTHB.* Alger. 256p.
- Nedjraoui D., 2003.**-Les mécanismes de suivi de la désertification en Algérie proposition d'un dispositif national de surveillance écologique à long terme. Doc. OSS, 37 P.
- Nedjraoui D., 2004.**-Evaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation. URBT-BP295Alger, 239-243p.
- Nedjraoui D., 2006.**-La recherche scientifique, un moyen de lutte contre la désertification. Com. Conf. Intern. Université des Nations Unies ; Alger, Déc. 2006.
- Nedjraoui Dalila et Bédrani Slimane., 2008.** «La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte ». *Ed ; revue sciences de l'environnement.*
- OCDE development centre (Organisation for Economic Co-operation and Development), 1992.**-Répertoire de recherche en matière de développement en Afrique ; Paris, 346p.
- Oldache E.H., 1988.**Contribution à l'étude de la fixation des dunes dans la région d'El-Mesrane (W. de Djelfa) et Boussaâda (W.M'Sila). *Thèse Mag. INA.* Alger.166p.
- Ozenda P ., 1977.** -Flore du Sahara. 2^{ème} Ed ; CNRS. Paris. 622 p.
- Ozenda P., 1991.**- Flore et végétation du Sahara. Paris, édition du Centre National de la recherche scientifique (CNRS), 662 p.
- Pouget M., 1971.**-Etude agro pédologique du bassin de Zahrez El-gharbi, RADP, Alger, 160p.
- Pouget M., 1979.**-Les relations sol-végétation dans les steppes sud-algéroises. Univ. Aix-Marseille III. Paris. 466 p. + pl. h.t.
- Pouget M., 1980.** -Les relations sol-Végétation dans les steppes Sud-algéroises. Trav. et Doc. ORSTOM. Paris. 555 p.
- Quezel P et Santa S., 1962.**-Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS Paris. 1170p.

- Quezel P ., 1965.** -La végétation du Sahara. Du Tchad à la Mauritanie. Masson, Paris, 333p.
- Quezel P., 1978.**-Analysis of the flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 65(2): 479-533.
- Quezel P et Barebero M., 1993.** Variations climatiques au Sahara et en Afrique sèche depuis le pliocène; Enseignement de la flore et de la végétation actuelles. *Bull. Ecol.*, 24 (2/3/4) :191-202.
- Quezel P., 1995.** -La flore du bassin méditerranéen: origine, mise en place, endémisme. *Ecologia Mediterranea XXI* (1 /2)19-39.
- Ramade F., 1981.**- L'écologie des ressources naturelles. Masson. Paris. 322 p.
- Ramade F., 1984.** -Elément d'écologie : écologie fondamentale. Graw- hill, Paris, 174p.
- Ramade F., 1994.**-Eléments d'écologie : écologie fondamentale. 3ème éd. Dunod, Paris, 690p.
- Raoul Calvet .,2003.**- Le sol propriétés et fonctions: phénomènes physiques et chimiques, les fonctions du sol, Paris, 2003, 508p .
- Rapport de la deuxième année de la seconde phase de surveillance de l'observatoire ROSELT/OSS de l'Oued Mird , Mai 2005.**Maroc.122p.
- Raunkiaer C., 1934.**-The life form of plants and their bearing on geography. Collected. papers. Clarendon. Press. Oxford. 632p.
- Riedacker A., 1990.**-Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. Paris-Nancy, 1993 - 489 p.
- Sarmoum M., 2008.**-Impact du climat sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti). Diagnostic dendroécologique et climatique de la cédraie de Theniet El Had (Wilaya de Tissemsilt). *Thèse. Mag. USTHB*. Alger.86p+ann.
- Sadji A., 2004.**-Diversité floristique des nappes alfatières en Algérie. Thèse. Mag.USTHB, Alger, 113p+ann.
- Seltzer P., 1946.**-Le climat de l'Algérie. Alger, Tra. Ins. Météo. Phys. Gl.219 p +carte.
- Tolba K., 1994.**-Stabilisation et reboisement des formations éoliens. El-Mesrane (W de Djelfa) INRF, Alger. pp191-207.
- Trayssac J ., 1980.**-Etude géomorphologique du bassin d'oued Djelfa-Mellah versant nord des monts des Ouled Nails (Algérie).Thèse Doct 3^{ème} Cycle. Etu. Medite, N°3 poitiers241p.
- Zaafour M., 1983.**-Contribution à l'étude des principales techniques de fixation des dunes dans la région du Zahrez Gharbi – Cas d'El-mesrane (Djelfa). *Mém Ing. D'Etat. INA*.
- Zedam A., 1991.**-Etude de la productivité du cèdre d'Atlas (*Cedrus atlantica* Man) en fonction des caractéristiques stationnelles à Djebel Maadid (w.B.B.Arréridj) .*Mém Ing. D'Etat. INA*.61p.

Ziad A., 2006.-La steppe algérienne : un espace de nomades et d'élevage ovin. La Tribune, Alger, 2006.

Zoght MF., 1978.- Sand dunes (fixation, afforestation, exploitation). ACSAD- Damas. 115p.

Annexe

Annexe

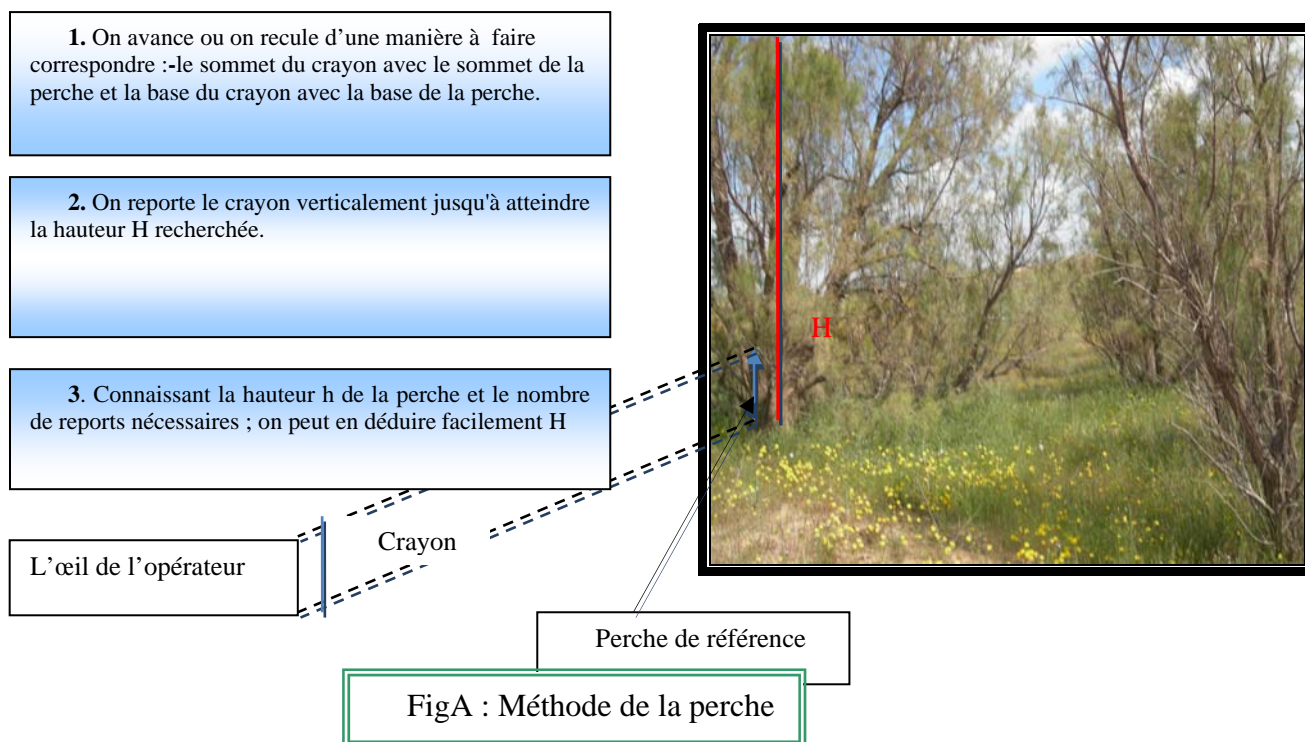


Tableau A: listes floristique de l'année 2009

Genre-espèce	Famille	Type biologique	Type biogéographique
<i>Acacia farnesiana</i>	Fabaceae	Phanérophyte	End-S
<i>Aizoon hispanicum</i>	Aizonaceae	Thérophyte	Med
<i>Alyssum macrocarlyse</i>	Resedaceae	Thérophyte	End
<i>Anacyclus clavatus</i>	Asteraceae	Thérophyte	E -Med
<i>Aristida pungens</i> Desf	Poaceae	Hémi-cryptophyte	S-A
<i>Artemisia campestris</i> L.	Astéraceae	Chaméphyte	Med
<i>Astragalus cruciatus</i> link	Fabaceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Atractylis carduus</i> (Forsk) Christ	Astéraceae	Thérophyte	S-A
<i>Atriplex halimus</i>	Chenopodiaceae	Nano-Phanérophyte	P
<i>Bassia muricata</i> (L) Asch.	Chenopodiaceae	Chaméphyte	S-A
<i>Bromus rubens</i> .L	Poaceae	Thérophyte	M
<i>Bromus sterilis</i>	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Calendula aegyptiaca</i> Desf	Astéraceae	Thérophyte	S-A
<i>Centaurea maroccana</i> Ball	Asteraceae	Thérophyte	M
<i>Chenopodium foliosum</i>	Chenopodiaceae	Thérophyte	E A
<i>Cistanche tinctoria</i>	Orobanchaceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Cutandia dichotoma</i> (Forsk)Trab.	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Echinops spinosus</i> L.	Astéraceae	Hémi-cryptophyte	M-S-A
<i>Echium trigorhizum</i> Pomel	Borageneae	Hémi-cryptophyte	S-A

<i>Eleagnus angustifolia</i> .L	Eleagnaceae	Phanérophyte	E -Med
<i>Erodium glaucophyllum</i> L'Herit	Geraniaceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Erodium triangulare</i> Forsk	Geraniaceae	Thérophyte	Med
<i>Eruca vesicaria</i> L. Cav.	Brassicaceae	Thérophyte	Med
<i>Euphorbia falcata</i> L	Euphorbiaceae	Thérophyte	Med
<i>Euphorbia guyoniana</i>	Euphorbiaceae	Chaméphyte	End
<i>Evax argentea</i> Pomel	Asteraceae	Thérophyte	Med
<i>Evax pygmaea</i>	Asteraceae	Thérophyte	Med
<i>Galactites tomentosa</i> Moench	Asteraceae	Hémicryptophyte	Med
<i>Herniaria fontanesii</i> J. Gay	Caryophyllaceae	Hémi-cryptophyte	Med
<i>Hordeum murinum</i> L	Poaceae	Thérophyte	P
<i>Hypocoum geslini cors. et Kral</i>	Papaveraceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Hyperrhenia hirta</i>	Poaceae	Hémi-cryptophyte	S-A
<i>Launaea resedifolia</i> O.K	Astéraceae	Thérophyte	M.S.A
<i>Leontodon hispanicus</i> Poiret	Astéraceae	Thérophyte	Med
<i>Leontodon mulleri</i>	Astéraceae	Thérophyte	Med
<i>Leontodon sexatilis</i> Lamk. ssp. rothii (Ball.) M.	Astéraceae	Thérophyte	Med
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Lotus pusillus</i> Medik	Fabaceae	Thérophyte	Med
<i>Lycium arabicum</i>	Solanaceae	Phanérophyte	Med
<i>Lygeum spartum</i> L	Poaceae	Géophyte	Med
<i>Malcomia aegyptiaca</i>	Brassicaceae	Thérophyte	S.A
<i>Malva aegyptiaca</i> L	Malvaceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Mantisalca salmantica</i>	Astéraceae	Hémi-cryptophyte	E Med
<i>Medicago laciniata</i> (L) Miller	Fabaceae	Thérophyte	M-S.A
<i>Medicago littoralis</i>	Fabaceae	Thérophyte	Med
<i>Nasturtiopsis coronopifolia</i>	Brassicaceae	Thérophyte	Med
<i>Ononis natrix</i> L	Fabaceae	Chaméphyte	Med
<i>Ononis serrata</i> Forsk	Fabaceae	Chaméphyte	Med
<i>Onopordon arenarium</i> (Desf). Pomel	Astéraceae	Hémi-cryptophyte	S-A
<i>Paronychia arabica</i>	Caryophyllaceae	Chaméphyte	Med
<i>Paronychia argentea</i> Lam	Caryophyllaceae	Hémi-cryptophyte	Med
<i>Phalaris minor</i>	Poaceae	Thérophyte	P
<i>Pistacia atlantica</i> Desf	Térebantaceae	Phanérophyte	End
<i>Plantago afra</i>	Plantagenaceae	Thérophyte	Med
<i>Plantago albicans</i> L	Plantagenaceae	Chaméphyte	Med
<i>Reseda lutea</i>	Resedaceae	Thérophyte	Med
<i>Retama retam</i>	Fabaceae	Nano-phanérophyte	S-A
<i>Ruta tuberculata</i>	Rutaceae	Thérophyte	Med
<i>Saccocalyx saturoides</i> Coss. et Dur	Lamiaceae	Chaméphyte	End
<i>Salvia verbenaca</i> L	Lamiaceae	Hémicryptophyte	M-S-A
<i>Scabiosa arenaria</i> Forsskal	Dipsacaceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Schismus barbatus</i> (L) Thell	Poaceae	Thérophyte	Med

<i>Senecio coronopifolius</i> (Desf) M	Astéraceae	Thérophyte	S-A
<i>Senecio gallicus</i>	Astéraceae	Thérophyte	S-A
<i>Silene arenarioides</i>	Caryophyllaceae	Thérophyte	End
<i>Sinapsis arvensis</i>	Brassicaceae	Thérophyte	End
<i>Sonchus oleraceus</i>	Astéraceae	Thérophyte	P
<i>Spergularia diadra</i>	Caryophyllaceae	Thérophyte	P
<i>Stipa parviflora</i>	Poaceae	Hémicryptophyte	Med
<i>Stipa tenacissima</i>	Poaceae	Géophyte	Med
<i>Tamarix aphylla</i> (L.) Karst	Tamaricaceae	Phanérophyte	S-A
<i>Tamarix gallica</i> L.	Tamaricaceae	Nano-phanérophyte	M- S-A
<i>Trigonella polycerata</i> L	Fabaceae	Thérophyte	Med
<i>Visia sativa</i>	Fabaceae	Thérophyte	E-M

Tableau B : Liste floristique de l'année 2005

Genre- espèce	Famille	Type biologique	Type biogéographique
<i>Amnosperma cinereum</i>	Brassicaceae	Thérophyte	
<i>Aristida pungens</i> Desf	Poaceae	Hémi-cryptophyte	S-A
<i>Artemesia arba alba</i>	Astèraceae	Chaméphyte	Med
<i>Artemisia campestris</i> L.	Astéraceae	Chaméphyte	Med
<i>Avena alba</i> Vahl.	Poaceae	Thérophyte	M-I-T
<i>Bromus rubens</i> L	Poaceae	Thérophyte	M
<i>Carduus getulus</i> Pomel	Astèraceae	Hémi-cryptophyte	M
<i>Cistanche tinctoria</i>	Orobanchaceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Echinops spinosus</i> L.	Astèraseae	Hémi-cryptophyte	M-S-A
<i>Eleagnus angustifolia</i>	Eleagnaceae	Phanérophyte	E -Med
<i>Erodium botrys</i>	Geraniaceae	Thérophyte	Med
<i>Erodium triangulare</i> Forsk	Geraniaceae	Thérophyte	Med
<i>Euphorbia guyoniana</i>	Euphorbiaceae	Chaméphyte	End
<i>Filago germanica</i> L	Asteraceae	Thérophyte	E-M
<i>Hordeum murinum</i> L	Poaceae	Thérophyte	P
<i>Launaea nudicaulis</i>	Asteraceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Leontodon mulleri</i>	Astèraceae	Thérophyte	Med
<i>Lolium multiflorum</i>	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Lotus ornithopodioides</i> L	Fabaceae	Thérophyte	Med
<i>Lycium arabicum</i> Boiss	Solanaceae	Phanérophyte	Med
<i>Ononis natrix</i> L	Fabaceae	Chaméphyte	Med
<i>Onopordon arenarium</i> (Desf). Pomel	Asteraceae	Hémi-cryptophyte	S-A
<i>Paronychia arabica</i>	Caryophyllaceae	Chaméphyte	Med
<i>Retama retam</i>	Fabaceae	Nano-phanérophyte	S-A
<i>Saccocalyx saturoides</i> Coss. et Dur	Lamiaceae	Chaméphyte	End

<i>Scabiosa arenaria</i> Forsskal	Dipsaceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Schismus barbatus</i> (L) Thell	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Scorzonera laciniata</i> L	Asteraceae	Hémi-cryptophyte	E-A
<i>Seneceo coronopifolius</i> (Desf) M	Asteraceae	Thérophyte	S-A
<i>Stipa tenacissima</i>	Poaceae	Géophyte	Med
<i>Tamarix aphylla</i> (L.) Karst	Tamaricaceae	Phanérophyte	S-A
<i>Tamarix gallica</i> L.	Tamaricaceae	Nano-phanérophyte	M- S-A

Tableau C : Liste floristique de l'année 1987

Genre-espèce	Famille	Type biologique	Type biogéographique
<i>Argyrobium uniflorum</i> (Desc.)Jaub.et Spach.	Fabaceae	Hémi-cryptophyte	S-A
<i>Aristida pungens</i>	Poaceae	Hémi-cryptophyte	S-A
<i>Bassia muricata</i>	Chenopodiaceae	Chaméphyte	S-A
<i>Bromus rubens</i> L	Poaceae	Thérophyte	M
<i>Cutandia dichotoma</i>	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Eleagnus angustifolia</i>	Eleagnaceae	Phanérophyte	E -Med
<i>Eruca vesicaria</i> L. Cav.	Brassicaceae	Thérophyte	Med
<i>Euphorbia guyoniana</i>	Euphorbiaceae	Chaméphyte	End
<i>Herniaria fontanesii</i> J. Gay	Caryophyllaceae	Hémi-cryptophyte	Med
<i>Hordeum murinum</i> L	Poaceae	Thérophyte	P
<i>Koeleria pubescens</i>	Poaceae	Hémi-cryptophyte	M
<i>Lappula redowskii</i> (Horn) Greene	Boragenaceae	Thérophyte	Med
<i>Launaea resedifolia</i> O.K	Astéraceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Lolium rigidum</i>	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Lycium arabicum</i>	Solanaceae	Phanérophyte	Med
<i>Medicago littoralis</i> Rhode	Fabaceae	Thérophyte	Med
<i>Nolettia chrysocomoides</i>	Asteraceae	Hémi-cryptophyte	Med
<i>Ononis natrix</i> L	Fabaceae	Chaméphyte	Med
<i>Onopordon arenarium</i> (Desf). Pomel	Asteraceae	Hémi-cryptophyte	S-A
<i>Orobanche aegyptiaca</i>	Orobanchaceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Papaver rhoeas</i> L	Papaveraceae	Thérophyte	P
<i>Plantago albicans</i> L	Plantagenaceae	Chaméphyte	Med
<i>Pseudorucaria teretefolia</i>	Brassicaceae	Thérophyte	End
<i>Retama retam</i>	Fabaceae	Nano-phanérophyte	S-A
<i>Schismus barbatus</i> (L) Thell	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Tamarix aphylla</i> (L.) Karst	Tamaricaceae	Phanérophyte	S-A
<i>Tamarix gallica</i> L.	Tamaricaceae	Nano-phanérophyte	M- S-A

Tableau D: Liste floristique de l'année 1984

Genre-espèce	Famille	Type biologique	Type biogéographique
<i>Aristida pungens</i>	Poaceae	Hémi-cryptophyte	S-A
<i>Bromus rubens L</i>	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Cutandia dichotoma</i>	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Eleagnus angustifolia</i>	Eleagnaceae	Phanérophyte	E -Med
<i>Hordeum murinum L</i>	Poaceae	Thérophyte	P
<i>Koeleria pubescens</i>	Poaceae	Hémi-cryptophyte	M
<i>Lolium rigidum</i>	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Lycium arabicum</i>	Solanaceae	Phanérophyte	Med
<i>Onopordon arenarium (Desf). Pomel</i>	Asteraceae	Hémi-cryptophyte	S-A
<i>Orobanche aegyptiaca</i>	Orobanchaceae	Thérophyte	M-S-A
<i>Pseudorucaria teretefolia</i>	Brassicaceae	Thérophyte	End
<i>Retama retam</i>	Fabaceae	Nano-phanérophyt	S-A
<i>Schismus barbatus (L) Thell</i>	Poaceae	Thérophyte	Med
<i>Tamarix aphylla (L.) Karst</i>	Tamaricaceae	Phanérophyte	S-A
<i>Tamarix gallica L.</i>	Tamaricaceae	Nano-phanéroph	M- S-A

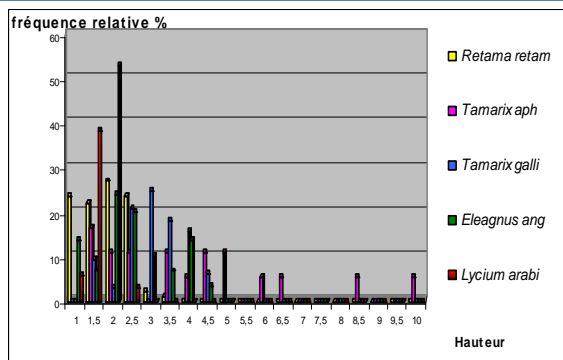


Fig B : Classes de hauteur

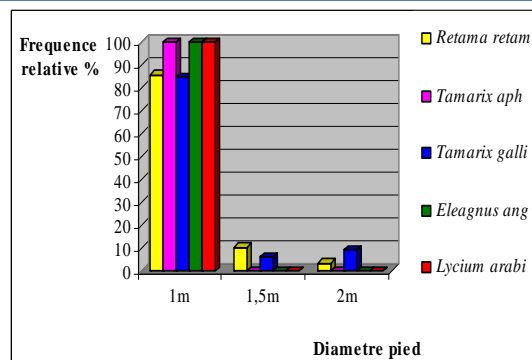


Fig C : Classes de diamètre de pied

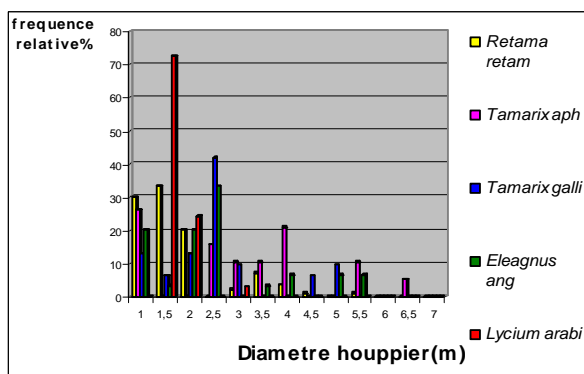


Fig D : Classes de diamètre de houppier

Effect of climatic factors on growth spatio-temporal principal fixers dune in El Mesrane; for a proposed model of struggle against desertification.

Abstract

The experimental project of sand dune fixation was launched in 1982 by INRF in El-Mesrane, Djelfa. To fix the dunes and thus limit the advance of sand towards urban areas and agricultural lands and allow the natural vegetation and planted to reclaim the lead and thus constitute a reserve of fodder for livestock. Several materials have been used for mechanical attachment that allows a temporary stabilization of sand input and departures, as some fixing species were tested for biological fixation with the success rate varies with soil and climatic factors. Our study will identify major climatic factors that influence the growth of fixing species and their floristic.

The study of the spatial growth of vegetation shows that the success rate of plantations varies depending on the topography, exposure to wind, the adaptation of species to sand movement and conditions micro-site types. At the top of the dune and mid-slope in the wind, the species planted and generally difficult to adapt their development is greatly reduced. Species that seem to give better results (success rate and development) are: *Tamarix aphylla* (L.) Karst, *Tamarix gallica* L, *Lycium arabicum* Boiss, *Eleagnus angustifolia* and *Retama retam* Webb on which we based our study.

The study of the temporal growth confirms that the species that gave the best results are highly resistant to climatic constraints of the environment and adapting to water shortages and low and high temperatures by some adaptive forms;

Keywords: Climatic factors, El Mesrane, Desertification, Biological fixing, Mechanical fixing.

تأثير العوامل المناخية على نمو الأصناف النباتية المثبتة للكتبان الرملية بالمصران
مع اقتراح نموذج لمكافحة التصحر-التثبيت

ملخص الدراسة

مشروع الكتبان الرملية أطلق عام 1982 من قبل INRF بالمصران في الجلفة بغرض التثبيت التجريبي لإصلاح الكتبان الرملية والحد بالتالي من تقدم الرمال نحو المناطق الحضرية والأراضي الزراعية والسماح للنباتات الطبيعية والمزروعة باستعادة مكان نموها الطبيعي وبالتالي تشكيل احتياطي من العلف للماشية لهذا الغرض استخدمت عدة مواد للتثبيت الميكانيكي الذي يسمح بتحقيق الاستقرار المؤقت للرمال حتى تتمكن النباتات من النمو، كما تم تجريب بعض أنواع النباتات للتثبيت البيولوجي حيث سجلت معدلات نجاح تختلف باختلاف التربة والعوامل المناخية. و من أجل تحديد العوامل المناخية الرئيسية التي تؤثر على نمو الأنواع النباتية المجربة و الأصناف المرافقة لها قمنا بهذه الدراسة.

دراسة نمو النباتات حسب المكان يبين أن نسبة نجاح التثبيت البيولوجي تختلف تبعا للوضع التوبوغرافية ، التعرض للرياح ، وتكيف الأنواع مع حركة الرمال و الظروف الدقيقة للموقع فمثلا في الجزء العلوي من الكتبان الرملية ومنتصف المنحدر في مهب الريح سجلنا صعوبة كبيرة في تأقلم هذه الأنواع مع تسجيل اختلاف كبير في النمو ومن الأنواع التي يبدو أنها أعطت نتائج أفضل (معدل النجاح والنمو) هي *Tamarix aphylla* (L.) Karst ، *Retama retam* و *Eleagnus angustifolia* L، *Lycium arabicum* Boiss ، *Tamarix gallica* L Webb التي شكلت محور دراستنا.

دراسة النمو الزمني يؤكد أن الأنواع التي أعطت أفضل النتائج هي أنواع شديدة المقاومة للعوامل المناخية كتنقص المياه وتذبذبات درجات الحرارة الدنيا و القصوى وذلك بامتلاكها لبعض أشكال التكيف .

كلمات البحث : العوامل المناخية ، المصران، التصحر ،التثبيت البيولوجي، التثبيت الميكانيكي.