

N° d'ordre...

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ DJILLALI LIABES DE SIDI BEL ABBES
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département des Sciences de l'Environnement

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Présentée par :

Mr MOULESSEHOUL Yassine Iliès

Spécialité : Sciences biologiques

Option : Biodiversité végétale et valorisation

Etude comparative de quelques aspects
morphométriques, histologiques et physiologiques de
deux écotypes d'alfa « *Stipa tenacissima* L. » de l'ouest
algérien.

Soutenue le

Devant l'honorable jury composé de :

<i>Président de jury</i>	: Mme MAHROUG Samira	(Maître de conférences (A), UDL/SBA)
<i>Examineurs</i>	: Mme STAMBOULI Hassiba	(Maître de conférences (A), Univ. Tlemcen)
	: Mr MESLI Lotfi	(Professeur, Univ. Tlemcen)
<i>Promoteur</i>	: Mr MEHDADI Zoheir	(Professeur, UDL/SBA)

Année universitaire 2015 - 2016

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A mes défunts grands parents Mekki Mokhtar Bel abbés,
Djalloul Daouadji Atika et Moralent Sultana qui
auraient tant voulu assister à ma petite réussite, ainsi
qu'à mon grand-père Paternel Moulessehoul Chafaï.*

*A mes très chers parents pour leurs dévouements, leurs
amours et leurs sacrifices. Que ce travail soit pour eux
un faible témoignage de l'affection que je porte à leur
égard.*

A ma soeur Atika.

A ma future épouse Asmaa.

*A mes collègues du laboratoire de "Biodiversité végétale
: valorisation et conservation"*

A tous mes amis

MOULESSEHOUL Yassine Ilies

Remerciements

Louange à ALLAH, seigneur de l'univers, le tout puissant et miséricordieux, je lui rends grâce.

A l'issue de ce travail de recherche, je tiens tout particulièrement à remercier mon directeur de mémoire, Mr MEHDADI Z., Professeur à l'université Djillali Liabés de Sidi Bel Abbés pour avoir accepté d'encadrer avec beaucoup d'attention et de soin ce mémoire. Je lui suis très reconnaissant pour sa disponibilité, sa bienveillance et son soutien. Je lui dois beaucoup pour le contenu du travail présenté, pour son aide précieuse aux différents problèmes rencontrés ainsi que sa gentillesse et ses qualités humaines.

L'occasion est du jour pour remercier tous ceux qui ont accepté d'associer leurs compétences et leurs savoirs afin de juger ce travail :

A M^{me} MAHROUG S., Maître de conférences (A), à l'université Djillali Liabés de Sidi Bel Abbés, qui nous a fait l'honneur de présider le jury de cette soutenance. Je lui adresse mes respectueux remerciements.

A M^{me} STAMBOULI H., Maître de conférences (A) et A Mr MESLI L., Professeur, à l'université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen pour avoir eu l'amabilité de bien vouloir juger ce travail et d'accepter de siéger parmi les membres du jury. Je leur en suis profondément reconnaissant.

Ce travail a bénéficié du soutien de plusieurs personnes à qui j'adresser mes remerciements les plus sincères.

Je suis profondément reconnaissant à Mr BENHASSAINI H., Professeur à l'université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès qui m'a beaucoup soutenu.

Je dois beaucoup à M^{me} BENDIMRED F-Z., Maître assistante (A) à l'université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès qui m'a beaucoup aidé dans l'accomplissement de l'étude anatomique.

Je suis reconnaissant à toute l'équipe de recherche et les membres du laboratoire de l'institut national de la recherche agronomique algérien, Unité Ouest "I.N.R.A.A" pour l'aide qu'ils m'ont procuré dans la réalisation de l'étude pédologique.

J'adresse encore mes remerciements à tous les membres du laboratoire de recherche de "biodiversité végétale : valorisation et conservation", qui contribuent par leur bonne humeur à créer un cadre de travail agréable.

Enfin, je suis reconnaissant à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Notre travail consiste à réaliser en premier lieu une étude comparative relative à la caractérisation du cortège floristique, du substrat, de la morphométrie des touffes et des pièces florales ainsi que l'histologie foliaire de quatre écotypes d'alfa. Il s'agit de l'alfa de montagne (mont de Tessala, wilaya de Sidi Bel Abbès); de forêt (forêt de Messer, commune de Ténira, wilaya de Sidi Bel Abbès); de steppe (Ras El Ma, wilaya de Sidi Bel Abbès) et du littoral (Béni-Saf, wilaya de Ain Témouchent). En second lieu, nous avons entrepris une étude comparative de quelques aspects physiologiques entre l'alfa de la région continentale (steppe de Ras El Ma) et littorale (Béni-Saf).

L'étude préliminaire portant sur les caractéristiques édaphiques et floristiques a permis de faire ressortir la nature du substrat en premier lieu et les différents cortèges floristiques caractéristiques de chaque écotype.

Les résultats obtenus ont fait ressortir également une variabilité entre les touffes des quatre écotypes sur le plan morphométrique (hauteur, diamètre, circonférence des touffes ainsi que les mesures effectuées sur les différentes pièces florales) [$P < 0.05$].

L'étude histologique a permis d'identifier et de caractériser les différents tissus de la feuille, en mettant en évidence la majeure différence révélée entre les coupes histologiques des feuilles des quatre écotypes, résidant au niveau du développement des tissus fibreux lignifiés et cellulosiques.

L'étude physiologique comparative entre l'alfa des deux provenances étudiées (alfa de steppe et alfa du littoral) a permis de mettre en évidence d'une part, l'effet de la température, de la salinité et du stress hydrique sur le comportement germinatif de leurs caryopses et d'autre part, leurs réponses biochimiques aux variations des conditions climatiques saisonnières caractérisant chaque habitat, par la quantification de deux marqueurs de stress, à savoir la proline et les sucres solubles au niveau des différents organes végétatifs (racines, rhizomes, feuilles).

Mots clés : *Stipa tenacissima* L. – écotypes - phytodiversité - morphométrie - histologie – germination - marqueurs de stress.

Abstract

Our job is firstly to make a comparative study on the characterization of the floristic and the substrate, the leaf anatomy, analysis of cell wall compounds and biometrics tufts and floral parts of four ecotypes of alfa : mountain (Mont of Tessala, wilaya of Sidi Bel Abbes), forest (forest of Messer, wilaya of Sidi Bel Abbes), steppe (Ras El Ma, wilaya of Sidi Bel Abbes) and coastal (Beni-saf, wilaya of Ain temouchent). And secondly, a comparative study of physiological aspects between alfa steppe (Ras El Ma) and coastal alfa (Beni Saf). This will complete the corpus of data on this grass in behavior, function and evolution of the alfatière ecosystem.

The preliminary study on soil characteristics and plant, helped bring out the nature of the substrate and the different floristic characteristics of each station.

The results obtained also shows variability between clumps of four ecotypes on morphometric plan (height, diameter, circumference of tufts and measurements on the different flower parts) [P < 0.05].

The anatomy and histology of the basal leaves of the third order, we have identified different tissues forming this organ, whose secretory hairs, stomata, chlorophyll parenchyma and fibers including various characteristics of this grass. But also, to advance the major difference between the sections obtained from four ecotypes that resides in the fibrous tissues lignified tissues and cell walls.

The comparative study between physiology of the provenance of alfa (steppe and coastline) helped to highlight the one hand, the effect of temperature, salinity and water stress on the germination behavior and secondly, their biochemical responses to changes in seasonal weather conditions characterizing each habitat, by quantification of two markers of stress, namely proline and soluble sugars in the various plant organs (root, rhizome, leaf).

Keywords : *Stipa tenacissima* L. - ecotypes - Phytodiversity - morphometry - Histology – germination – stress markers.

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
%	Pourcentage
µg	Microgramme
µl	Microlitre
µm	Micromètre
A.C.P	Analyse en composantes principales
A.F.C	Analyse factorielle des correspondances
ADN	Acide désoxyribonucléique
ANOVA	Analyse de la variance
APG	Angiosperm Phylogeny Group
C	Degré celsius
C.H.A	Classification hiérarchique accédante
C.N.T.S	Centre National de Télédétection Spatiale
Cm	Centimètre
F	Fisher
fig.	Figure
g	Gramme
gi	Glume inférieure
GPS	Global position satellite
Gr	Groupe
Gro	Grossissement
gs	Glume supérieure
H.C.R	Haut commissariat à la recherche
ha	hectares
I.N.P.N	Inventaire National du Patrimoine Naturel

I.R.N.A.A	Institut National de la Recherche Agronomique Algérien
Kg	kilogramme
L.	Linné
lm	lemme
m	Mètre
mg	Milligramme
mm	Millimètre
mS/cm	Millisiemens par centimètre
O.M.S	Organisation Mondial de Santé
O.N.M	Organisation National de Météorologie
p	Paléole
P	Probabilité
P.F	Poids frais
P.S	Poids sec
Pl.	Planche
Pr	Proline
s/c	Séta/Columna
Sec	Seconde
St	Station
T	Température
tab.	Tableau

Liste des planches

Planche I : Présentation des différentes parties d'une touffe d'alfa	8
Planche II : Stations d'échantillonnage (1, 2, 3 et 4)	78
Planche III : Fleurs fécondées des quatre écotypes d'alfa.....	90
Planche IV : Coupes transversales à main levée (station de Tessala)	117
Planche V : Coupes transversales à main levée (station de Messer)	120
Planche VI : Coupes transversales à main levée (station de Ras El Ma)	123
Planche VII : Coupes transversales à main levée (station de Béni-Saf)	127
Planche VIII : Coupes transversales à main levée des quatre stations	133

Liste des figures

Figure 1 : Touffe d'alfa (<i>Stipa tenacissima</i> L.)	9
Figure 2 : Schéma représentatif des différentes pièces florales de l'alfa	11
Figure 3 : Représentation des différentes parties de <i>Stipa tenacissima</i> L.....	12
Figure 4 : Carte de localisation de la région steppique en Algérie	17
Figure 5 : Carte de l'alfa en Algérie	17
Figure 6 : La réduction de la production nationale d'alfa en Algérie	19
Figure 7 : Evolution du cheptel en Algérie	22
Figure 8 : Structure de la proline	30
Figure 9 : Synthèse de la proline à partir de l'ornithine	32
Figure 10 : Voie de synthèse de la proline à partir de l'alpha-cétoglutarate	33
Figure 11 : Absorption d'eau par la semence au cours de la germination et début de l'allongement de la racicule (Bewley et Black, 1994).....	42
Figure 12 : Diagramme ombrothermique de la station de Tessala (1980-2009)	58
Figure 13 : Diagramme ombrothermique de la forêt de Messer (1980-2009)	64
Figure 14 : Diagramme ombrothermique de la région de Ras El Ma (1970-1996)	69
Figure 15 : Diagramme ombrothermique de la station de Béni-saf (1980-2009)	74
Figure 16 : Climagramme d'Emberger des quatre stations d'études	75
Figure 17 : Triangle des textures	82
Figure 18 : Pied à coulisse digital	89
Figure 19 : Schéma illustrant les différentes pièces florales mesurées dans notre étude	89
Figure 20 : Hauteurs, diamètres et circonférences moyens des touffes des (4) stations	98
Figure 21 : Mesures moyennes des paramètres morphologiques étudiés	102
Figure 22 : Cercle de corrélation des variables biométriques	110
Figure 23 : Projection des individus sur le plan factoriel (F1 × F2).....	111
Figure 24 : Courbes de cinétique de la germination des caryopses des deux provenances aux différentes températures testées	135
Figure 25 : Capacité de germination	136
Figure 26 : Coefficient de vélocité	137
Figure 27 : Temps de latence	138
Figure 28 : Effet des différentes concentrations de la salinité sur la cinétique de germination des caryopses d'alfa des deux provenances	141

Figure 29: Effet de la salinité sur la capacité de germination	142
Figure 30: Effet de la salinité sur la vitesse de germination	143
Figure 31: Effet de la salinité sur les temps de latence	144
Figure 32: Effet du stress hydrique sur la cinétique de germination des caryopses d'alfa des deux provenances	147
Figure 33: Effet du stress hydrique sur la capacité de germination des caryopses des deux provenances	148
Figure 34: Effet du stress hydrique sur la vitesse de germination des caryopses des deux provenances	149
Figure 35: Effet du stress hydrique sur le temps de latence	150
Figure 36: Teneurs moyennes saisonnières en proline évaluées au niveau des trois organes des deux provenances	154
Figure 37: Teneurs moyennes saisonnières en sucres solubles évaluées au niveau des trois organes des deux provenances	155

Liste des tableaux

Tableau 1 : Inventaire des nappes alfatières en Algérie	18
Tableau 2 : Répartition des nappes alfatières par wilaya	19
Tableau 3 : Résultats des analyses pédologiques (Djebel Tessala)	53
Tableau 4 : Nombre d'espèces par familles, types biologiques et morphologiques	55
Tableau 5 : Précipitations mensuelles moyennes (en mm) de la commune de Tessala	57
Tableau 6 : Températures moyennes mensuelles (en °C) (1980-2009)	57
Tableau 7 : Résultats des analyses pédologiques (forêt de Messer)	60
Tableau 8 : Nombre d'espèces par familles, types biologiques et morphologiques	61
Tableau 9 : Moyennes des précipitations mensuelles de 1997 à 2006 en mm	63
Tableau 10 : Moyennes des températures mensuelles durant la période 1997-2006	63
Tableau 11 : Résultats des analyses pédologiques (station de Ras El Ma)	65
Tableau 12 : Nombre d'espèces par familles, types biologiques et morphologiques	67
Tableau 13 : Précipitations moyennes mensuelles (en mm) (1970-1996)	68
Tableau 14 : Températures moyennes mensuelles (en °C) (1970-1996)	68
Tableau 15 : Résultats des analyses pédologiques (Station Béni-Saf)	71
Tableau 16 : Nombre d'espèces par familles, types biologiques et types morphologiques ...	72
Tableau 17 : Moyennes mensuelles et total annuel des précipitations (1980-2009)	73
Tableau 18 : Températures moyennes mensuelles (en °C) (1980-2009)	73
Tableau 19 : Caractéristiques des stations d'échantillonnage	76
Tableau 20 : Classification des différents éléments du sol selon leurs tailles	81
Tableau 21 : Echelle d'appréciation du pH du sol	83

Tableau 22 : Echelle de salure en fonction de la conductivité	83
Tableau 23 : Echelle d'interprétation des carbonates	84
Tableau 24 : Echelle de détermination de la teneur en matière organique	85
Tableau 25 : Dates de prise des mesures morphométriques.....	88
Tableau 26 : Analyse des différences entre les stations (glume supérieure)	103
Tableau 27 : Groupes et moyennes des modalités (glume supérieure)	104
Tableau 28 : Analyse des différences entre les stations (glume inférieure)	105
Tableau 29 : Moyennes et groupes des stations (glume inférieure)	105
Tableau 30 : Analyse des différences entre les stations (la lemme)	106
Tableau 31 : Moyennes et groupes des stations (la lemme)	106
Tableau 32 : Analyse des différences entre les stations (rapport « s/c »)	107
Tableau 33 : Moyennes et groupes des stations (rapport « s/c »)	107
Tableau 34 : Matrice de données	108
Tableau 35 : Contribution des variables biométriques aux axes 1 et 2	109
Tableau 36 : Contribution des individus aux axes 1 et 2	111
Tableau 37 : Teneur moyenne saisonnière en eau (%) au niveau des trois organes chez les deux provenances	153
Tableau 38 : Effets des stations, saisons et organes sur les teneurs moyennes en sucres solubles et proline	157
Tableau 39 : Comparaison entre les saisons (Automne, Hiver, printemps et été).....	158
Tableau 40 : Comparaison entre les organes (Feuilles, rhizomes et racines)	159

Table des matières

Introduction	1
---------------------------	---

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les Poacées et présentation de l'espèce (*Stipa tenacissima* L.)

1. Généralités sur la famille des Graminées (Poacées).....	4
1.1- Famille des Poacées.....	5
1.2- Sous-famille des Pooideae.....	5
1.3- Genre <i>Stipa</i>	5
1.4- Les espèces du genre <i>Stipa</i>	5
1.5- Présentation de l'espèce (<i>Stipa tenacissima</i> L.).....	6
2. Systématique de l'alfa	6
3. Caractères botaniques de l'Alfa	9
3.1- Partie aérienne	9
3.1.1- La tige	10
3.1.2- Les feuilles	10
3.1.3- Les fleurs	10
3.1.4- La graine	11
3.2- Partie souterraine	12
3.2.1- Les rhizomes	12
3.2.2- Les racines	12
4- Biologie d'alfa	13
4.1- Reproduction et régénération	13
4.1.1- Régénération par semis naturel	13
4.1.2- Régénération par bourgeons dormants	13
4.1.3- Régénération par extension et fragmentation des souches	14
4.2- Vitalité de l'alfa	14
5- Ecologie de l'alfa	14
5.1- Conditions climatiques	14
5.2- Conditions édaphiques	15

6- Aire de distribution de l'alfa.....	15
7- Constat sur les nappes alfatières.....	18
8- Facteurs de dégradation des nappes alfatières.....	20
9- Intérêts de l'alfa	23
9.1- Intérêt écologique	23
9.2- Importance socio-économique	23

Chapitre II : Les stress environnementaux

I. La sécheresse	24
I.1. Stress hydrique	25
I.2. Adaptation des plantes à la sécheresse	26
II. La salinité	27
III. La proline et les sucres solubles	30

Chapitre III : Physiologie de la germination

1. Les facteurs favorisant la germination	35
1.1. Facteurs endogènes	35
1.1.1. La maturité	35
1.1.2. La viabilité ou longévité des semences	36
1.2. Facteurs exogènes	37
1.2.1. Eau	37
1.2.2. L'oxygène	38
1.2.3. La température	38
1.2.4. Lumière ou obscurité	40

2. Les différentes phases de la germination	40
2.1. Phase d'imbibition	41
2.2. Phase de germination au sens strict	41
2.3. Phase de croissance	41
3. Manifestations structurales de la germination	42
4. Mobilisation des réserves de la graine	43
a. Le catabolisme glucidique	43
b. Le catabolisme lipidique	43
c. Le catabolisme protéique	44
5. Entrée et sortie de la vie latente et notion de dormance	44
5.1. Entrée en vie latente	44
5.2. Sortie de la vie latente	44
5.3. Notion de dormance	45
5.3.1. Définition de la dormance	45
5.3.2. Différentes types de dormance	45
6. Dormance des semences	46
6.1. Dormance tégumentaire	46
6.1.1. Facteurs de la dormance tégumentaire	46
6.2. Dormance embryonnaire	47
6.2.1. Dormance primaire	47
6.2.2. Dormance secondaire ou induite	48
7. Effet du stress salin sur la germination	49
8. Effet du stress hydrique sur la germination	50

Partie II : Etude expérimentale

Chapitre I : Présentation des sites d'étude

I. Djebel de Tessala	52
I.1. Position géographique	52
I.2. Caractéristiques pédologiques du lieu d'étude.....	52
I.3. Caractéristiques floristiques	54
I.4. Présentation du climat.....	56
II. Forêt de Messer	59
II.1. Position géographique.....	59
II.2. Caractéristiques pédologiques du lieu d'étude.....	60
II.3. Caractéristiques floristiques.....	61
II.4. Présentation du climat.....	62
III. Zone de Ras El Ma	64
III.1. Position géographique.....	64
III.2. Caractéristiques pédologiques	65
III.3. Caractéristiques floristiques	66
III.4. Présentation du climat	68
IV. Zone de Béni-Saf	70
IV.1. Position géographique	70
IV.2. Caractéristiques pédologiques	70
IV.3. Caractéristiques floristiques	72
IV.4. Présentation du climat	73

Chapitre II : Matériel biologique et méthodes d'études

I- Caractérisation du cortège floristique et du substrat	76
I.1- Equipement de terrain	76
I.2- Localisation des stations	77

I.3- Etude pédologique.....	79
I.3.1- Analyses physiques	79
I.3.2- Analyses chimiques	82
I.4- Etude de la composition floristique	85
I.4.1- Méthode utilisée	85
I.4.2- Identification des espèces	87
II- Morphométrie des touffes d'alfa et de leurs pièces florales	87
II.1- Morphométrie des touffes	87
II.2- Morphométrie des pièces florales	88
III- Etude anatomique et histologique	91
III.1- Réalisation des coupes à main levée.....	91
III.1.1- La confection des coupes	91
III.1.2- La coloration des coupes	91
IV. Etude du comportement germinatif	92
IV.1. Matériel biologique	92
IV.2. Préparation des caryopses et déroulement des essais de germination	92
IV.2.1. Recherche de l'optimum thermique pour la germination des caryopses	92
IV.2.2. Effet de la salinité	93
IV.2.3. Effet du stress hydrique	93
IV.3. Critères de germination	93
IV.3.1. Paramètres de germination retenus et expression des résultats	94
V. Quantification et dosage de la proline et des sucres solubles	95
V.1. Matériel biologique	95
V.2. Préparation des échantillons	95
V.3. Méthodes d'étude	95
V.3.1. Extraction et dosage des sucres solubles	95
V.3.2. Extraction et dosage de la proline	96
VI. Analyses statistiques	97

Chapitre II : Résultats et discussion

III. Etude morphométrique des touffes	98
---	----

III.1. Morphométrie des touffes d'alfa des quatre provenances.....	98
III.2. Traitement des données	99
III.2.1. La hauteur moyenne.....	99
III.2.2. Le diamètre moyen.....	99
III.2.3. Circonférence moyenne.....	99
IV. Morphométrie des panicules	102
IV.1. Traitement des données	103
IV.1.1. Comparaison entre les touffes de la même station	103
IV.1.2. Comparaison entre les touffes des quatre stations	103
IV.2. Analyse des composantes principales (ACP)	107
IV.2.1. Analyse du cercle de corrélation des variables	108
IV.2.2. Analyse du plan factoriel des individus (les stations étudiées).....	110
I- Anatomie et histologie des feuilles d'alfa	114
I.1. Discussion et comparaison entre les coupes transversales obtenus	130
III. Etude physiologique	134
III.1. Etude du comportement germinatif	134
III.1.1. Effet de la température sur la germination	134
III.1.1.1. Effet de la température sur la cinétique de germination	134
III.1.1.2. Effet de la température sur la capacité et vitesse de germination	136
III.1.1.3. Effet de la température sur le temps de latence	137
III.1.2. Effet de la salinité sur la germination	141
III.1.2.1. Effet de la salinité sur la cinétique de germination	141
III.1.2.2. Effet de la salinité sur la capacité et la vitesse de germination	142
III.1.2.3. Effet de la salinité sur le temps de latence	143
III.1.3. Effet du stress hydrique sur la germination	147
III.1.3.1. Effet du stress hydrique sur la cinétique de germination	147
III.1.3.2. Effet du stress hydrique sur la capacité et la vitesse de germination	148
III.1.3.3. Effet du stress hydrique sur le temps de latence	149

III.2. Dosage de la proline et des sucres solubles	153
III.2.1. Teneur en eau	153
III.2.2. Teneur en proline et en sucres solubles	153
III.2.2.1. Proline	153
III.2.2.2. Sucres solubles	155
III.2.2.3. Comparaison globale	156
Conclusion et perspectives	163
Références bibliographiques	166

Annexes

Introduction

Introduction

L'alfa (*Stipa tenacissima* L.) est l'une des espèces clé de la steppe, c'est une Poacée vivace xérophile, endémique du bassin méditerranéen. Elle a une importance écologique étant donné qu'elle est considérée comme l'un des remparts face à l'avancée du désert grâce à son système racinaire très développé stabilisant le sol (Zeriahe, 1987) et, économique vu la richesse de ses feuilles en cellulose dont l'intérêt réside dans son utilisation pour la fabrication de la pâte à papier (Harche, 1978, Mehdadi *et al.*, 2008).

L'alfa occupait une vaste aire géographique dans la partie occidentale du bassin méditerranéen. En Algérie, la surface couverte par cette espèce était évaluée à quatre millions d'hectares. Ce chiffre déjà avancé par Boudy (1950) est sans doute différent aujourd'hui. En effet, du fait de leur difficulté à se régénérer, les steppes à alfa régressent continuellement et nous y assistons à une déperdition continue du couvert végétal et par conséquent une faible diversité végétale (Latreche, 2004). Cette régression est due aux conditions climatiques contraignantes (période sèche prolongée), à la pression anthropique croissante, au surpâturage excessif, aux difficultés de régénération naturelle que connaît cette espèce, notamment par semis (Aidoud et Touffet, 1996 ; Mehdadi *et al.*, 2004) mais aussi à la méconnaissance biologique de cette espèce.

L'alfa a fait l'objet de plusieurs travaux dans divers domaines. En cytologie, les travaux les plus intéressants sont ceux de Harche (1978, 1984, 1985 et 1986) sur la structure et la différenciation des fibres foliaires et de Zeriahe (1987) sur le système racinaire en relation avec l'adaptation au xérophytisme.

Sur le plan biochimique, les travaux effectués sur cette espèce sont restreints. Sarni (1979) a fourni les premiers résultats sur l'étude chromatographique des polysaccharides du tissu foliaire de cette graminée. Par ailleurs, Harche *et al.* (1989, 1991) ont d'une part étudié la délignification des fibres foliaires et d'autre part ont caractérisé les constituants (polyosides, lignines et acides phénoliques) des parois cellulaires de trois graminées vivaces peuplant les hautes plaines steppiques d'Algérie, à savoir *Stipa tenacissima*, *Lygeum spartum* et *Aristida pungens*.

Les recherches effectuées sur le système foliaire de cette graminée ont montré que la plante dispose d'un potentiel important en élément fibreux notamment en cellulose (40 à 50 %), matière première de l'industrie papetière (Mehdadi *et al.*, 2008 ; Moulesseoul et Mehdadi, 2014).

Introduction

Aussi, certains travaux ont fait ressortir chez l'alfa l'existence d'écotypes. Raffaelli et Ricceri (1989), sur la base d'une caractérisation morphologique, ont décrit en Tunisie trois nouvelles espèces se rattachant au complexe de *Stipa tenacissima* L. Nedjraoui (1990), à travers une étude sur l'adaptation de l'alfa aux contraintes hydriques et aux facteurs climatiques limitant du milieu, a démontré l'existence de deux écotypes, l'une caractéristique des régions semi-arides et l'autre des régions présahariennes. Guemou (2010), Boussaid *et al.* (2012) sur la base d'une caractérisation morphologique ont contribué à une évaluation de la diversité génétique de l'alfa dans la région de Tiaret.

Par ailleurs, les travaux de Kadi-Hanifi (2003) menés sur la diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenacissima* L. en Algérie, montrent l'existence d'une réelle montée des espèces steppique vers le Nord, ce qui explique l'installation de cette graminée dans différentes régions au Nord-Ouest du pays et l'existence de différents écotypes. Dans ce contexte et à titre complémentaire de ces travaux dont les objectifs visent une meilleure compréhension de la biologie de l'alfa, nous avons entrepris une étude qui consiste :

- ✓ en premier lieu à comparer quatre écotypes d'alfa du point de vue histologie des feuilles et morphométrie des touffes et des pièces florales.

Les touffes d'alfa ayant fait l'objet de cette évoluent dans quatre habitats différents :

- la steppe (Ras El Ma, wilaya de Sidi Bel Abbès),
- le littoral (Béni-Saf, wilaya de Témouchent),
- la forêt (forêt de Messer, wilaya de Sidi Bel Abbès) et,
- la montagne (djebel Tessala, wilaya de Sidi Bel Abbès).

Le cortège floristique de ces quatre écotypes et les caractéristiques physico-chimiques du substrat sur lequel évoluent ont été également analysés.

- ✓ en second lieu à réaliser une étude comparative du comportement physiologique de l'alfa évoluant en steppe (Ras El Ma) et au littoral (Béni-Saf). Il s'agit d'étudier :
 - l'effet de la température, du stress salin et hydrique sur différents paramètres de germination des caryopses,
 - l'évolution quantitative saisonnière de deux marqueurs de stress (la proline et les sucres solubles) dans différents organes végétatifs

Introduction

(rhizome, racines et feuilles) vis-à-vis des conditions environnementales caractérisant les deux écosystèmes suscités.

Le document présenté a été réalisé en deux parties : bibliographique et expérimentale.

La partie bibliographique est subdivisée en trois chapitres traitant successivement les aspects suivants :

- généralités sur les Poacées et présentation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.)
- les stress environnementaux,
- la physiologie de la germination.

La partie expérimentale est subdivisée en trois chapitres :

- dans le premier chapitre sont présentés les sites ou les stations d'étude,
- dans le deuxième chapitre sont exposés le matériel biologique et les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail en vue d'atteindre les objectifs fixés,
- dans le troisième chapitre sont illustrés, interprétés et discutés les résultats obtenus.

Enfin, la thèse est achevée par une conclusion générale et des perspectives.

Partie
bibliographique

Chapitre I :

Présentation de

l'alfa

1- Généralités sur la famille des Graminées (Poacées)

Herbes annuelles ou vivaces par rhizome. La tige est un chaume. Les feuilles distiques et ligulées ont un limbe rubané, parallélinerve et une gaine fendue en avant (Crété, 1965).

Les inflorescences sont des épillets protégés par 2 glumes. Les épillets sont eux-mêmes groupés en épis ou en panicules ; ils sont uniflores ou multiflores. Chaque fleur est enveloppée dans 2 glumelles et comprend 2 glumellules, 3 étamines à anthères dorsifixes et 3 carpelles formant un ovaire uniovulé surmonté de 2 stigmates plumeux (Crété, 1965).

Le fruit est un caryopse ; la graine renferme un embryon et un albumen amylicé à assise externe protéique. La pollinisation est anémophile. Les Graminées se subdivisent en deux sous familles : les Panicacées et les poacées.

Les graminées sont présentes sur toute la surface du globe. Elles caractérisent certains types de végétations comme la steppe, la pampa ou la prairie. Certaines d'entre elles sont cosmopolites, d'autres ont été diffusées par l'homme dans le monde entier. La famille comprend un nombre d'espèces égal ou supérieur à 4 000 (Camefort, 1972).

Les Graminées sont des plantes généralement herbacées et de faibles dimensions. Annuelles, elles sont pourvues de racines fasciculées prenant naissance à la base de la tige ; vivaces, elles présentent un rhizome qui, souvent, se ramifie et, chaque année, donne naissance à de nouvelles tiges aériennes. La tige porte le nom de chaume. Elle est creuse, cylindrique ou légèrement aplatie ; sa cavité est interrompue régulièrement, au niveau des nœuds, par des diaphragmes, résultant de l'enchevêtrement des faisceaux libéro-ligneux (Boudy, 1950).

Les feuilles sont distiques, c'est-à-dire qu'elles s'insèrent suivant 2 génératrices opposées. Elles naissent de toute la circonférence des nœuds et forment, à leur base, une gaine, qui entoure tout ou une partie de l'entre nœud supérieur ; cette gaine est ordinairement fendue en avant (Crété, 1965).

Les feuilles présentent une structure anatomique spéciale, qui leur permet de s'enrouler sur elles-mêmes, de limiter ainsi l'évaporation de l'eau et de mieux résister à la sécheresse (Camefort, 1972).

1.1- Famille des Poacées

Selon la classification APG II (2003), le genre *Stipa* appartient à la famille des Poacées.

Ce sont des plantes herbacées, souvent à rhizome, tiges articulées, rondes à elliptiques en coupes transversales. Feuilles alternes, distiques, composées d'un limbe, d'une ligule et d'une gaine. Cette gaine embrasse étroitement la tige ; ligules en crête membraneuse ; limbes simples généralement linéaires et à nervation parallèle.

L'inflorescence est en épi ou en panicule. L'épillet est composé d'un axe portant deux bractées basilaires distiques, se recouvrant étroitement (glumes) et des fleurs se désarticulant au-dessus des glumes (Tucker, 1987).

La fleur est composée d'une glumelle inférieure (la lemme) et une autre glumelle supérieure (la paléole) insérée entre la fleur et l'axe de l'épillet. Elle est petite hermaphrodite ou unisexuée (plante monoïque ou dioïque), généralement anémogame, fortement réduite par la taille et les pièces florales (Bruhl, 1995).

1.2- Sous-famille des Pooideae

Les Graminées indigènes sont presque toutes des poacées. La sous-famille est caractérisée par l'articulation de l'épillet au-dessus des glumes, qui demeurent sur l'axe de l'inflorescence générale après la chute des fruits. Les épillets comprennent toujours, au moins, une première glumelle fertile, celle qui se situe immédiatement au-dessus des glumes, et souvent dans les épillets multiflores, se fait toujours du sommet vers la base de l'inflorescence (Crété, 1965).

1.3- Genre *Stipa*

La Panicule est lâche et l'épillet est indépendant, comportant une fleur fertile. La lemme est pourvue d'un callus allongé et souvent velu, portant au sommet une arête simple, genouillée, et, le plus souvent, très longue. Feuilles étroites et enroulées (Quézel et Santa, 1962).

1.4- Les espèces du genre *Stipa*

Stipa avenaceoides ; *Stipa breviflora* ; *Stipa caucasica* ; *Stipa caucasica* ssp. *glareosa* ; *Stipa comata* ; *Stipa coronata* ; *Stipa grandis* ; *Stipa ichu* ; *Stipa klemenzi* ; *Stipa krylovii* ; *Stipa lepida* ; *Stipa lettermannii* ; *Stipa nelsonii* ; *Stipa nelsonii* ssp. *nelsonii* ; *Stipa nelsonii* ssp. *nelsonii* var. *longiaristata* ; *Stipa nelsonii* ssp. *nelsonii* var. *nelsonii* ; *Stipa occidentalis* ;

Stipa papposa ; *Stipa pennata* (Stipe à feuilles pennées) ; *Stipa tenacissima* L. ; *Stipa thurberana* Piper (Kernick, 1978).

1.5- Présentation de l'espèce (*Stipa tenacissima* L.)

L'Alfa (*Stipa tenacissima* L.) est dite en arabe Halfa, elle présente une origine latine (Spartum) qui a donné Sparto c'est une appellation employée par les espagnols (Trabut, 1880).

C'est l'une des poacées pérennes dominantes, typiques des parcours steppiques maghrébins.

C'est une herbe vivace typiquement méditerranéenne appartenant à la région méditerranéo-steppique s'étendant de la moyenne vallée de l'Ebre jusqu'à celle de l'Indus (Le Houérou, 1990).

C'est une espèce très robuste, raide, sèche, très persistante. Elle se présente en touffes denses, à feuilles longues et coriaces, l'inflorescence est longue (30cm) et très fournie. L'alfa comprend une partie souterraine très importante pour la régénération et une partie aérienne atteignant 1m de hauteur (Ozenda, 1958), (Planche I).

Sa lemme est nettement bifide au sommet, avec une arête de 6 cm, genouillée, velue et tortille au-dessous du genou. Le chaume peut atteindre 1.50 m, en touffes d'abord compactes puis évidées au centre. Les feuilles sont jonciformes par temps sec, aigues et piquantes, se laissant arracher. La panicule est étroite et allongée, pouvant ainsi atteindre 35cm (Quézel et Santa, 1962).

L'Alfa est une graminée peu exigeante en eau et en sol, bien adaptée à la sécheresse (Boudy, 1948).

D'après Ozenda (1958), le genre *Stipa* appartient à la famille des graminées, à la sous-famille des Agrostidées, à la tribu des Stipées et au genre *Stipa*.

2- Systématique de l'alfa

C'est une graminée qui fut décrite et dénommée *stipa tenacissima* par Linné en 1755 sur des spécimens originaires d'Espagne. Sa classification selon Cronquist (1981) est comme suit :

- Règne : Végétaux
- Embranchement : Spermaphyta
- Sous-embranchement : *Magnoliophyta* (Angiospermes)

- Classe : *Liliopsida*
- Sous-classe : *Commelinidae*
- Ordre : *Cyperales*
- Famille : *Poaceae*
- Genre : *Stipa*
- Espèce : *Stipa tenacissima* L.

Selon la classification APG II (2003)

- Règne : *Plantae*
- Embranchement : *Spermaphytes*
- Sous-embranchement : *Angiospermes*
- Classe : *Monocotylédones*
- Sous-classe : *Commelinideae*
- Ordre : *Poales*
- Famille : *Poaceae*
- Sous-famille : *Pooideae*
- Genre : *Stipa*
- Espèce : *Stipa tenacissima* L.

Planche I : Présentation des différentes parties d'une touffe d'alfa. "Clichés: Y. Moulessehou, 2011".

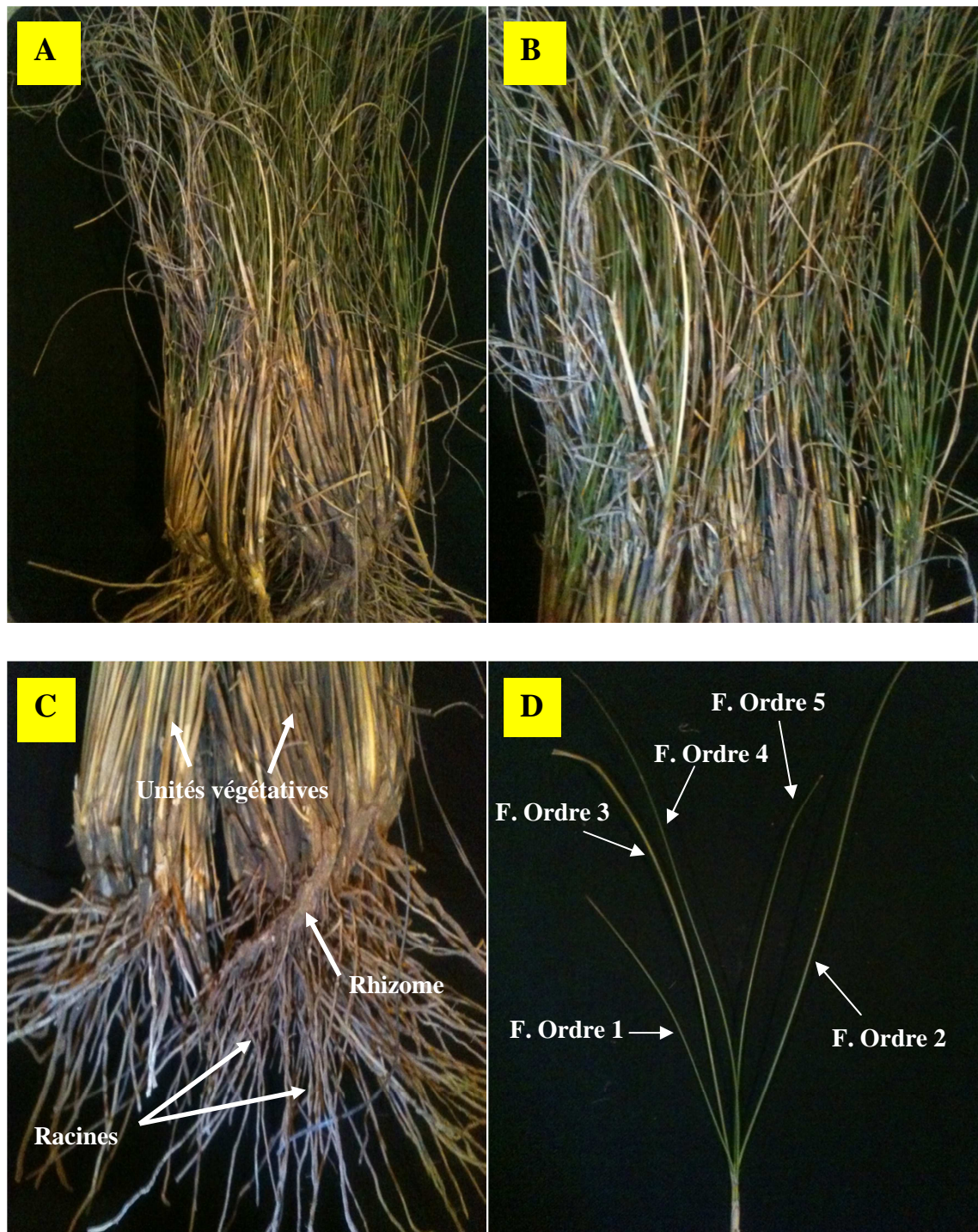


Fig. A: touffe d'alfa. Fig. B: partie aérienne. Fig. C: partie souterraine. Fig. D: Feuilles d'alfa.
F : feuille.

3- Caractères botaniques de l'Alfa

L'alfa est une plante vivace comprenant une partie souterraine très importante pour la régénération de la plante et une partie aérienne atteignant 1m de hauteur (Trabut, 1889) (Planche I "Fig B et C").

L'alfa forme des souches d'abord pleines et homogènes, mais qui deviennent circulaires par le dépérissement des rameaux du centre. Les rameaux qui dessinent ainsi un cercle s'isolent à mesure qu'ils s'éloignent et deviennent à la longue de nouvelles touffes compactes qui s'évident au centre à leur tour et forment de nouveaux cercles (Boudy, 1950) (fig. 1).

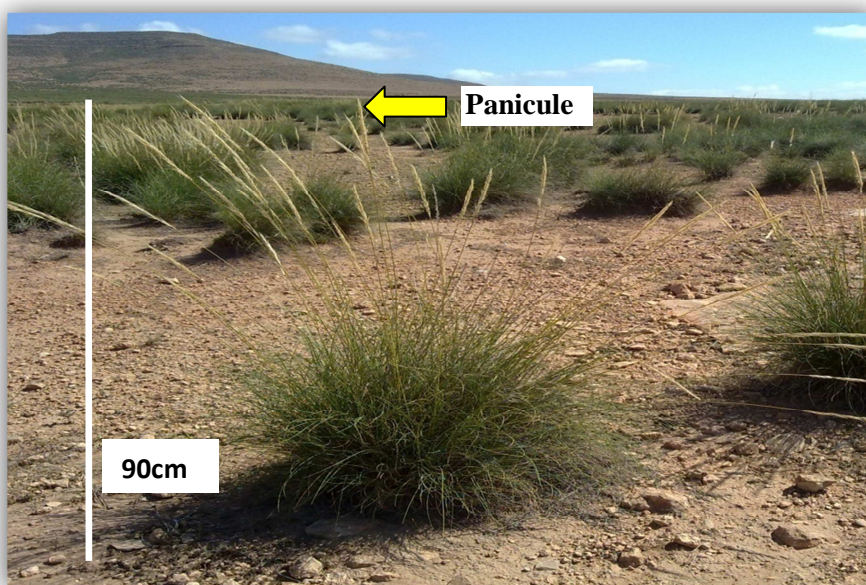


Figure 1 : Touffe d'alfa (*Stipa tenacissima* L.).

3.1- Partie aérienne

La partie aérienne est constituée de rameaux portant des gaines imbriquées les unes dans les autres, surmontées de limbes longs de 30 à 120 cm. La face inférieure des limbes est unie et luisante, la face supérieure porte de fortes nervures. L'une et l'autre sont recouvertes d'une cire isolante qui permet à la plante de résister à la sécheresse (Boudy, 1948).

3.1.1- La tige

Elle est creuse et cylindrique, sa cavité est interrompue régulièrement au niveau du nœud par des diaphragmes résultant de l'enchevêtrement des faisceaux conducteurs. Au niveau de chaque nœud, existe un bourgeon qui peut donner naissance soit à un entre-nœud, soit à une tige aérienne, ou reste dormant parfois pendant plusieurs années et constitue une réserve qui entre en activité lorsque la souche est épuisée (Khelil, 1995 ; Mehdadi, 1992 ; Mehdadi *et al.*, 2000).

3.1.2- Les feuilles

La feuille d'alfa est longue, étroite, enroulée et dépourvue de pétiole. Elle est persistante et dure au moins deux ou trois ans. Habituellement les feuilles âgées meurent et encombrant la souche, formant un feutrage gris d'où émergent les jeunes feuilles de l'année (Boudy, 1950) (Planche I. Fig. D).

Cette feuille se compose des parties suivantes :

- la gaine : est la partie inférieure de la feuille lisse, mince, luisante vers le bas, et porte à sa partie supérieure le limbe qui est accompagné d'une ligule biauriculée, velu prolongée de chaque côté par une subule (Harche, 1978),
- le limbe : il est étroit et enroulé durant la période sèche, c'est une forme d'adaptation à la sécheresse (Ozenda, 2000).

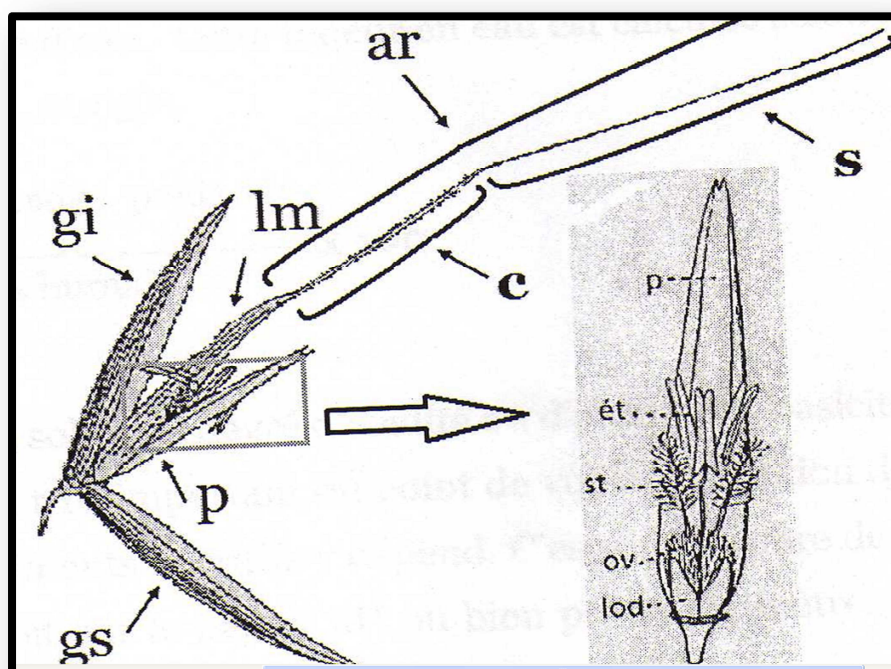
3.1.3- Les fleurs

La floraison a lieu dans la période comprise entre les mois d'avril et juin. L'inflorescence est un panicule compacte et dressé de longueur entre 25 et 30 cm, sa fleur unique se détache à sa maturité (Tucker, 1987).

Les fleurs sont d'un type spécial. Elles sont composées d'un ovaire surmonté de deux stigmates plumeux et de trois étamines ; le périanthe est absent, il est remplacé par deux bractées ou glumelles situées l'une au-dessous et l'autre au-dessus de la fleur.

La glumelle inférieure ou lemme est la plus grande, elle est porteuse d'une arête. La glumelle supérieure est appelée paléole. Cette fleur est adaptée à la pollinisation anémophile, c'est-à-dire par le vent. Les étamines ont de longs filets auxquels les anthères sont fixées par un point sur le dos seulement : durant la période de la fécondation les étamines pendent à l'extérieur,

les anthères « basculantes » sont agitées par le moindre vent et le pollen est recueilli sur les stigmates plumeux. La fécondation est autogame (Ozenda, 1983) (Fig 2).



gs : glume supérieure ; **gi** : glume inférieure ; **p** : paléole ou glumelle supérieure ; **lm** : lemme ou glumelle inférieure ; **ar** : arête ; **s** : seta ; **c** : columna.

Figure 2 : Schéma représentatif des différentes pièces florales de *Stipa tenacissima* L.

(Guemou, 2010).

3.1.4- La graine

L'ovaire contient un seul ovule et donne un fruit spécial appelé « caryopse » de taille de 7 à 8 mm, c'est un akène dans lequel le tégument de la graine est intimement soudé à la paroi de l'ovaire (Ozenda, 2000). Dans la deuxième quinzaine de juin les fruits sont mûrs. Les graines gardent leur faculté germinative au moins trois ans (Boudy, 1950).

3.2- Partie souterraine

La partie souterraine est un rhizome à entre-nœuds très court, portant des racines adventives, s'enfonçant profondément dans le sol. Le rhizome est très ramifié et ses rejets se terminent par les jeunes pousses (Ozenda, 1954), (Planche I. Fig. C).

3.2.1- Les rhizomes

L'alfa présente une tige souterraine appelée rhizome, lui permettant de résister à la sécheresse estivale et au froid hivernal. Le rhizome très rameux formant des touffes d'abord compactes, puis annulaires. Les rhizomes sont formés par une succession de nœuds et d'entre-nœuds très court portant chacun un bourgeon à leur extrémité et de deux ou trois racines adventives placées les unes à la suite des autres dans le sens de la longueur (Mehdadi *et al.*, 2000) (fig. 3).

3.2.2- Les racines

L'alfa présente une biomasse racinaire très importante, supérieure à sa biomasse aérienne (Hellal, 1991). C'est une plante xérophile, présentant un système racinaire fasciculé assurant ainsi la fixation du sol et donc la lutte contre l'érosion éolienne et hydrique (Zeriahene, 1987; Aidoud, 1993) (fig. 3).

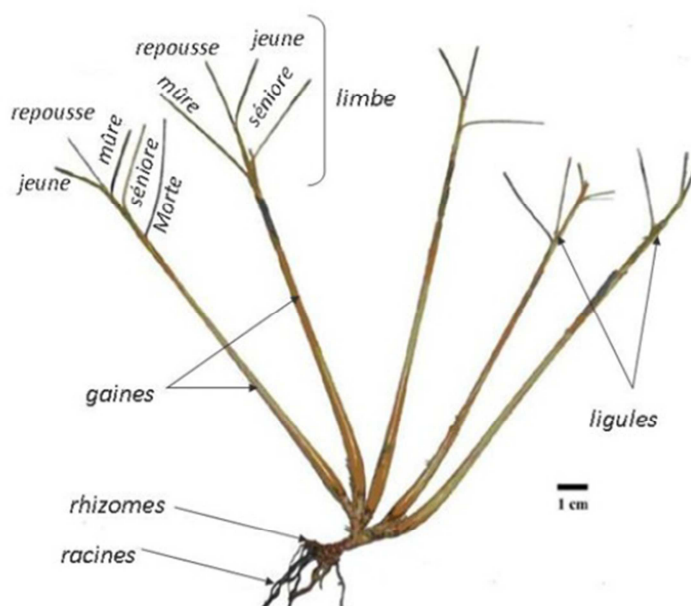


Figure 3 : Représentation des différentes parties de *Stipa tenacissima* L. (Rogge, 2009).

4- Biologie d'alfa

L'alfa est une plante de lumière, elle est éliminée dans les stations d'ombre. L'activité végétative de l'Alfa est nulle à 3°C mais elle peut supporter des températures qui descendent jusqu'à -16°C. L'activité de l'alfa ne reprend que si la température dépasse 5°C (Aidoud,

1989). Elle supporte aussi les très fortes chaleurs grâce à sa morphologie particulière bien adaptée : faible surface foliaire, stomates portées sur la face interne des feuilles, cuticule cireuse qui limite l'évapotranspiration (Djebaili, 1984).

4.1- Reproduction et régénération

L'alfa (*Stipa tenacissima* L.) peut se reproduire par trois façons différentes : par semis, par bourgeons dormants ou par extension et fragmentation des souches (Mehdadi, 1992).

4.1.1- Régénération par semis naturel

Quand la graine est mature, l'épillet se détachant de la plante transporte souvent le fruit à grande distance. Si l'humidité est assez persistante, la germination se fait rapidement. Le jeune pied d'alfa apparaît généralement au milieu d'une plante ligneuse basse, il se développe en fixant autour de lui des débris organiques et du sable et donne une touffe s'étendant peu à peu (Boudy, 1950).

L'épillet est mûr en juin. Dès les premiers jours, l'arête de l'épillet qui est hygrométrique, tortille ses spires, enfonce l'épillet dans la terre ou dans une fissure dès que l'humidité est assez persistante, la germination se fait rapidement (Djebaili, 1984 ; Hellal, 1991).

4.1.2- Régénération par bourgeons dormants

Lorsque les vieilles touffes sont épuisées, les bourgeons axillaires se réveillent au printemps, donnent naissance à de petites touffes dont les feuilles restent courtes pendant trois ans ou plus (Boudy, 1948). Cette rénovation des touffes à partir des bourgeons dormants est le principal mode de reconstitution des nappes alfatières détruites par abus de cueillette (Bourahla et Guittouneau, 1978 ; Hellal, 1991).

4.1.3- Régénération par extension et fragmentation des souches

L'encombrement important des touffes par les feuilles mortes dont l'ensemble constitue le fatras, favorise la floraison, crée à l'intérieur d'elle un milieu asphyxique perturbant leur développement et accélère le dépérissement des rameaux anciens du centre entraînant ainsi la fragmentation ou la circonscription des touffes, phénomène considéré comme l'un des mécanismes de régénération naturelle de l'Alfa par voie végétative (Bourahla et Guittouneau, 1978).

4.2- Vitalité de l'alfa

Une jeune touffe ne peut être exploitable qu'après une quinzaine d'années. L'expérience des exploitations en Algérie permet de considérer qu'une touffe peut supporter des cueillettes successives durant vingt-cinq ans à trente ans, à condition qu'on laisse reposer la plante pendant trois ans au moins à la suite d'un certain nombre d'exploitations annuelles. Alors on arrive à un âge de 45 ans (maximum 50 ans). Par contre si l'on exploité intensivement et annuellement on ne doit pas compter sur plus de quinze ans de productivité jusqu'à la mort de la souche dont la durée serait d'une trentaine d'année (Boudy, 1950).

5- Ecologie de l'alfa

Cette espèce est présente dans les milieux arides méditerranéens, exceptés dans les zones désertiques. Elle possède une amplitude écologique très vaste qui lui permet de s'étendre depuis les dunes littorales jusqu'à des altitudes de 2400 m. Elle est xérophile, beaucoup plus rare dans les étages subhumides et surtout humides, dans lesquelles on ne le rencontre qu'à la faveur de conditions édaphiques et mésoclimatiques favorables (Ozenda, 1954).

5.1- Conditions climatiques

- **Pluviosité**

L'alfa présente une grande amplitude vis-à-vis de la pluviométrie. Il est particulièrement abondant entre les isohyètes de 200 à 400 mm, mais il peut vivre aussi là où la tranche pluviométrique s'abaisse ou s'augmente (150mm à Ain safra, 600 mm sur le littoral de l'Ouest Algérien) (Aidoud, 1992). La répartition annuelle ou saisonnière des pluies influe beaucoup sur le développement de l'alfa. Il arrive que durant des cycles d'années sèches, la végétation soit complètement arrêtée (Boudy, 1950).

- **La température**

En ce qui concerne la température, l'alfa supporte de très fortes chaleurs de l'ordre de 40°C, et présente une grande résistance au froid (-10 °C à -16 °C). Cette résistance lui permet d'atteindre des altitudes prolongées (Le Houérou *et al.*, 2000).

La zone steppique où se développe l'alfa est caractérisée par une moyenne de températures minimales du mois le plus froid variant de 2 °C à 6 °C, et une moyenne des températures maximales du mois le plus chaud comprise entre 34 °C et 37 °C. Son optimum de développement se situe entre 16 °C et 25 °C de température moyenne annuelle. Elle résiste à un enneigement prolongé (Boudy, 1950 ; Aidoud, 1989 ; Aidoud Lounis, 1997).

5.2- Conditions édaphiques

L'alfa est indifférent à la structure et à la nature chimique du sol, il pousse bien sur les terrains calcaires que sur le sable. Les milieux humides ou hydrophobes lui sont défavorables. Son développement est optimale quand le taux d'argile ne dépasse pas 10-12% (Marion, 1952) et si le terrain est bien drainé et filtrant. Il ne supporte pas la salinité. Cette graminée se développe bien sur des sols neutres ou légèrement basiques (Aidoud, 1989).

6- Aire de distribution de l'alfa

❖ Dans le monde

L'alfa est une graminée typiquement méditerranéenne, essentiellement de l'étage bioclimatique aride. On la trouve en Afrique du Nord, en Espagne, sporadiquement au Portugal, dans les îles Baléares et en Italie du Sud. Sa terre préférée est l'Afrique du Nord surtout les hauts plateaux algéro-marocains. Au sud et l'Est, au-delà de la Libye sa limite naturelle est déterminée par la sécheresse. Au Nord et dans l'Ouest, c'est l'humidité croissante du climat qui l'élimine de la flore (Boudy, 1950). Bien que disparue sur une large fraction de son aire, l'alfa prédomine la majorité des groupements steppiques. Cette espèce est soit à l'état pur, soit en mélange avec les forêts. En steppe, elle est accompagnée d'autres plantes steppiques telles que l'armoïse, le sparte, le drinn, etc. (Ozenda, 1954).

Au Maroc, la surface recouverte par l'alfa est très grande et atteint environ la moitié de celle des nappes algériennes. Elle s'étend sur les hauts plateaux, tels que le Moyen Atlas, le grand Atlas (Djebel Ansiten, Cap Ghir, Agadir). Cette espèce s'étend depuis les dunes de la région d'Essaouira jusqu'à des altitudes de 2400 m sur le versant sud du Moyen Atlas dominant Reggou et dans le Djbel Saghro. Elle présente en outre une assez grande extension latitudinale, allant des environs de Tetouan-Melilla jusqu'au versant saharien du Haut Atlas (Ozenda, 1954).

Avec une superficie de 1 350 000 hectares (Boudy, 1950), l'alfa occupe deux zones principales : les hauts plateaux de la Tunisie centrale et les montagnes localisées au Sud-est de la Tunisie (Kadi-Hanifi, 1998).

En Espagne sa superficie atteint les 600 000 hectares avec laquelle elle forme des nappes importantes en Andalousie et remonte jusqu'en Catalogne. Sa superficie est estimée en Libye par Boudy en 1950 par 500 000 hectares.

❖ En Algérie

En Algérie, l'alfa est abondante dans la région oranaise, depuis le littoral jusqu'aux monts des Ksour, sur les hauts plateaux de la région de Ksar Chellala, Djelfa autour de Boussada, jusqu'aux montagnes d'Ouled Nail et autour de Laghouat. Á l'est, elle se répartit surtout dans les régions ouest et sud de Sétif, les Bibans, Boutaleb et Maadi. Elle couvre également une partie importante des versants de montagnes du massif des Aurès (Kadi-Hanifi, 1998) (fig. 4 et 5).

Sa superficie est estimée par Boudy en 1950 à 4 millions d'hectares. Le Houérou (1995) a estimé une régression de superficie de l'ordre de 1,2 % par an.

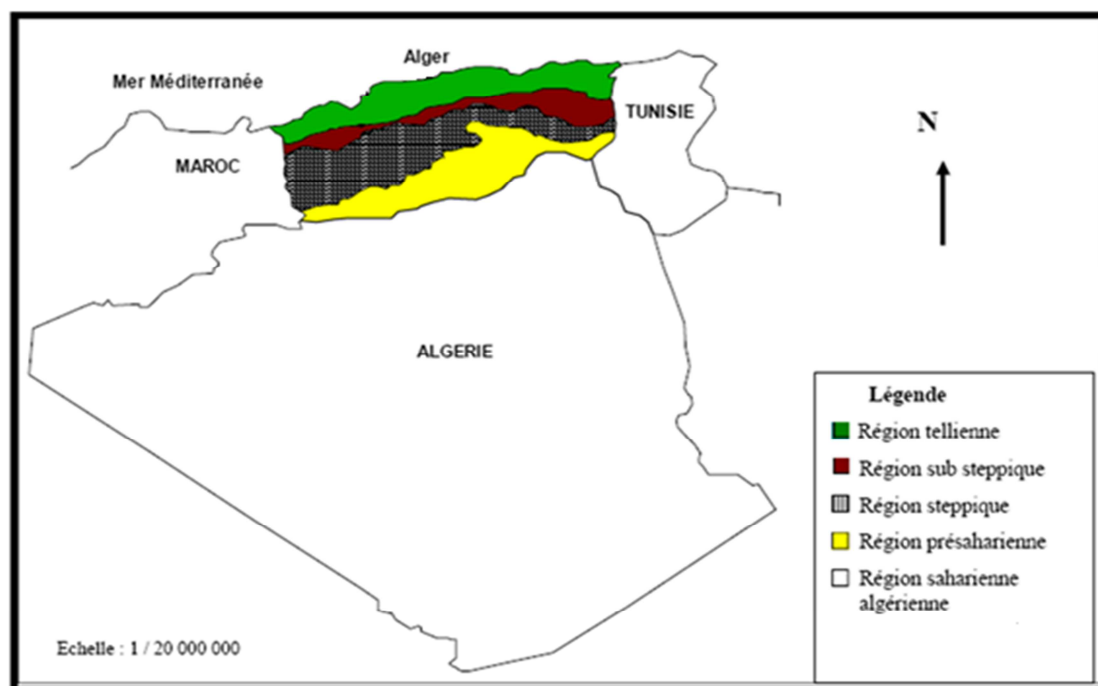


Figure 4 : Localisation de la région steppique en Algérie (Kadi-Hanifi, 1998).

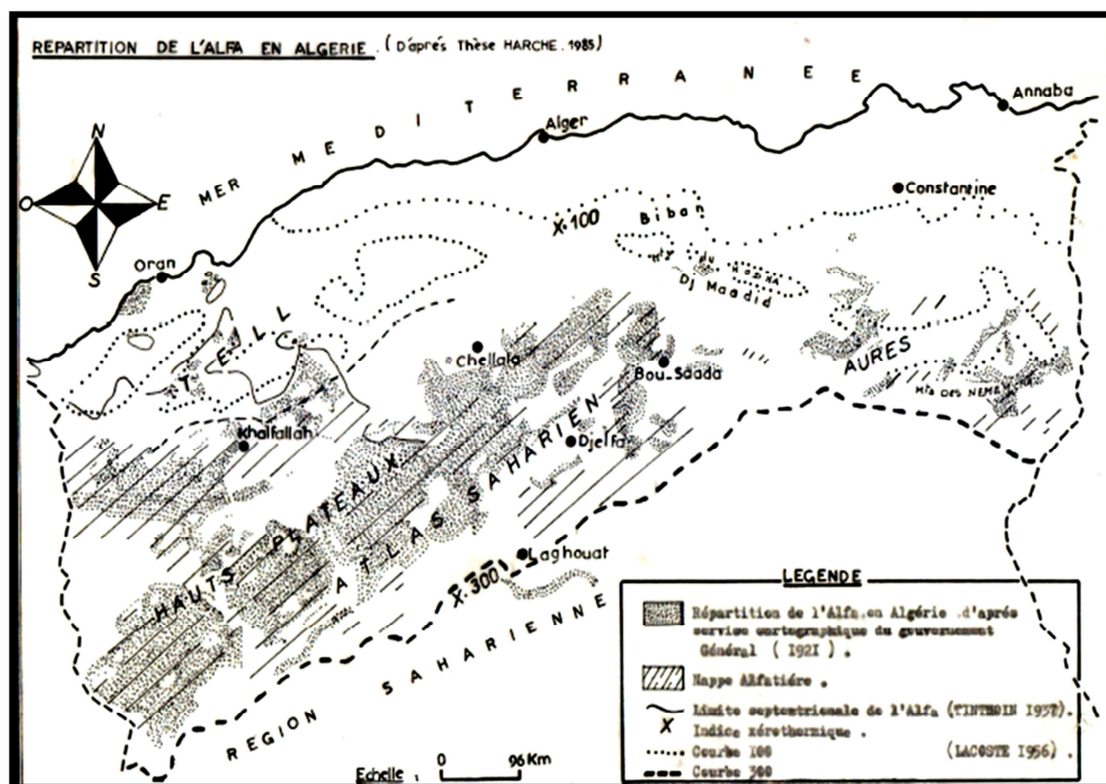


Figure 5 : Répartition de l'alfa en Algérie (HARCHE, 1985).

7- Constat sur les nappes alfatières en Algérie

L'usage multiple de l'alfa induit une pression constante pour son exploitation qui progresse de manière anarchique. Cette pression conjuguée aux problèmes de régénération, aux aléas climatiques, a entraîné une régression catastrophique de ces formations. En effet, la superficie occupée par cette espèce est passée en un siècle de 4 millions d'hectares à 2 millions d'hectares (Aidoud, 1993).

La phytomasse totale de l'alfa est passée de 6 500 kg Ms/ha en 1968 à 30 kg Ms/ha en 1990 (Aidoud A et Nedjraoui D, 1992) et les conséquences sont :

- une chute de production globale des groupements,
- diminution de la biodiversité,
- apparition des paysages désertifiés.

C'est sur trois études réalisées par le gouvernement général d'Algérie en 1921, la société Rochette Loupa en 1966 et celle du centre national de télédétection spatiale (CNTS) et le

Haut-commissariat à la recherche (HCR) en 1989 que nous nous sommes basés pour la connaissance de l'inventaire des nappes alfatières en Algérie (Tableau 1).

Tableau 1 : Inventaire des nappes alfatières en Algérie.

Type d'étude et année	Superficie (ha)
Gouvernement générale de l'Algérie (1921)	3.976.147
Société Rochette Loupa (1966)	4.970.560
C.N.T.S (1989)	2.025.864
H.C.R (1989)	2.538.583

Ces études illustrent la variation de la superficie des nappes alfatières en Algérie en fonction du temps ; nous pouvons facilement remarquer la nette régression d'environ 50 % de la superficie totale entre l'étude qui a été menée en 1966 (Société Rochette Loupa) et les deux autres menées en 1989 (C.N.T.C ; H.C.R).

La figure 6 nous renseigne également sur la nette régression de la production nationale de l'alfa allant de 1963 jusqu'à 1999.

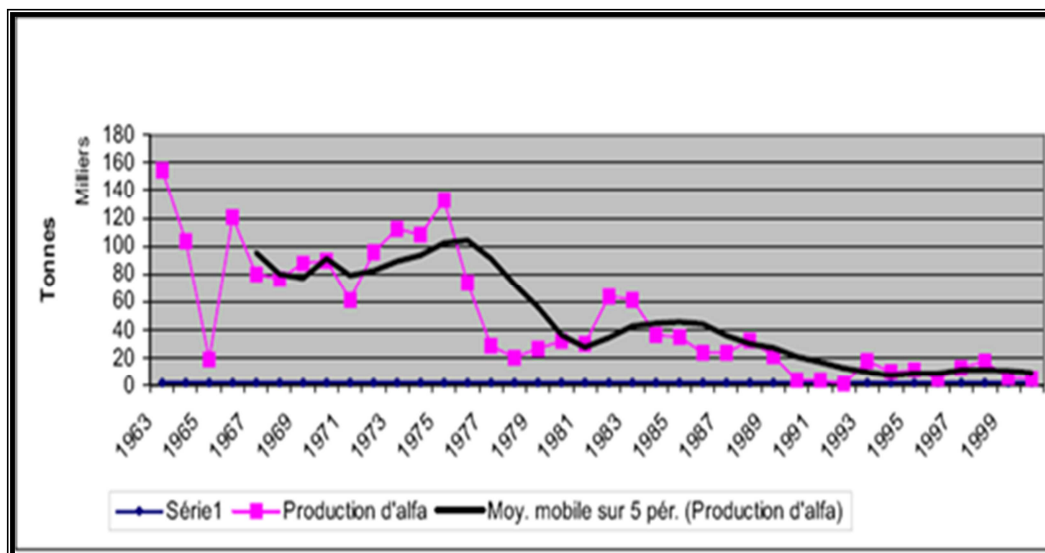


Figure 6 : Réduction de la production nationale d'alfa en Algérie (Abdelguerfi, 2003).

Le tableau 2 illustre la répartition des nappes alfatières selon les wilayas en Algérie.

Tableau 2 : Répartition des nappes alfatières par wilaya (source HCR, 1989 in Bagdadi, 2008).

Wilaya	Superficie occupée par l'Alfa (ha)
El Bayadh	460 466
Naama	592 628
Tlemcen	259 289
Tiaret	332 938
Saida	318 014
Sidi Bel Abbas	153 523
Laghouat	172 566
Djelfa	82 769
M'sila	45 941
Tébessa	121 945
Total	2 538 583

8- Facteurs de dégradation des nappes alfatières

Les nappes alfatières ont subi une forte régression qui est le résultat de l'action des facteurs anthropozoïques et des facteurs climatiques. Selon Le Houérou (1995), la surexploitation n'est pas la seule cause de cette dégradation, mais aussi le surpâturage, le piétinement, les brûlis par les bergers et surtout le défrichement pour les cultures aléatoires des céréales qui dans la plupart du temps n'ont aucun rendement.

Les problèmes que connaissent ces nappes alfatières actuellement sont essentiellement liés à l'accroissement de la population depuis le début du siècle. Cet accroissement a conduit à une surexploitation non contrôlée du milieu et à des pratiques agricoles inadaptées, qui ne laissent pas de possibilités de régénération au milieu. Á noter que les causes liées à l'activité humaine sont les plus importantes (Abdelgherfi, 2003).

8.1- La croissance démographique

En Algérie la croissance démographique entraîne des besoins alimentaires croissants et par conséquent la surexploitation des ressources naturelles, dont le volume des ressources utilisées croit de façon continue et avec des taux de croissance élevés, les réserves de ces ressources diminuent jusqu'à l'épuisement (Lahbous, 1998). L'augmentation des effectifs du cheptel et du surpâturage qui en résulte, la modification du système de production des

pasteurs, associant culture céréalière et élevage, et la sédentarisation des nomades puisqu'il a été noté une importante régression du nomadisme (Khaldoun, 1995), ont un effet très marquant sur la végétation herbacée et ligneuse.

8.2- Le défrichement

Au cours des années 70, l'extension de la céréaliculture fut caractérisée par la généralisation de l'utilisation du tracteur à disques pour le labour des sols à texture grossière fragile. Les labours par ces derniers constituent en un simple grattage de la couche superficielle, accompagné de la destruction quasi totale des espèces pérennes. Ces techniques de labour ont aussi une action érosive, détruisant l'horizon superficiel et stérilisant le sol, le plus souvent de manière irréversible (Aidoud et Touffet, 1996).

Cette culture épisodique détruit les plantes vivaces qui sont remplacées par des espèces annuelles incapables de retenir le sol. Le Houérou estime que le degré de recouvrement des pérennes de la végétation steppique a diminué d'environ 25% en moyenne à moins de 5%.

Le défrichement est considéré comme la plus grave cause de la régression de l'alfa. Il consiste à faire remplacer l'alfa par la céréaliculture à sec.

8.3- Le surpâturage

Malgré sa valeur pastorale peu importante, les nappes à alfa sont utilisées durant les périodes de disette comme des parcours pour le cheptel. Le surpâturage est défini comme étant un prélèvement d'une quantité de végétal supérieur à la production annuelle des parcours. La majeure partie de la population steppique tire ses revenus à travers la pratique de l'élevage d'un cheptel principalement ovin. L'exploitation permanente des pâturages naturels, utilisant une charge animale nettement supérieure au potentiel de production des parcours, a pour effet de réduire leur capacité de régénération naturelle (Aidoud et Touffet, 1996).

Depuis 1975, l'effectif du troupeau ovin au niveau des zones steppiques a pratiquement dépassé le double en l'espace de 20 ans, allant de 8500.000 têtes en 1978 à plus de 15 millions de têtes en 1999, ce qui représente 83% du cheptel national (Abdelgherfi, 2003). Les surfaces pastorales offrent une diversité alimentaire appréciable, en égard à la diversité des espèces et leur qualité ainsi qu'à la période où chaque plante est consommable par le cheptel. En 1996, l'effectif du cheptel ovin s'élevait à 17.310.000 têtes dont 75 % concentrées dans les zones steppiques (Bouabdellah, 2002).

En l'absence d'un couvert broussailleux suffisant, la disponibilité en fourrage dépend seulement des plantes herbacées annuelles, elles-mêmes tributaire des précipitations, habituellement irrégulières. Cette croissance du cheptel n'a été possible que par une alimentation de plus en plus basée sur les concentrés. Ceux-ci représentent actuellement plus de 50 % de la ration des ovins dans l'ensemble de la région (Aidoud, 1994). La figure 7 nous renseigne sur l'évolution du cheptel en Algérie.

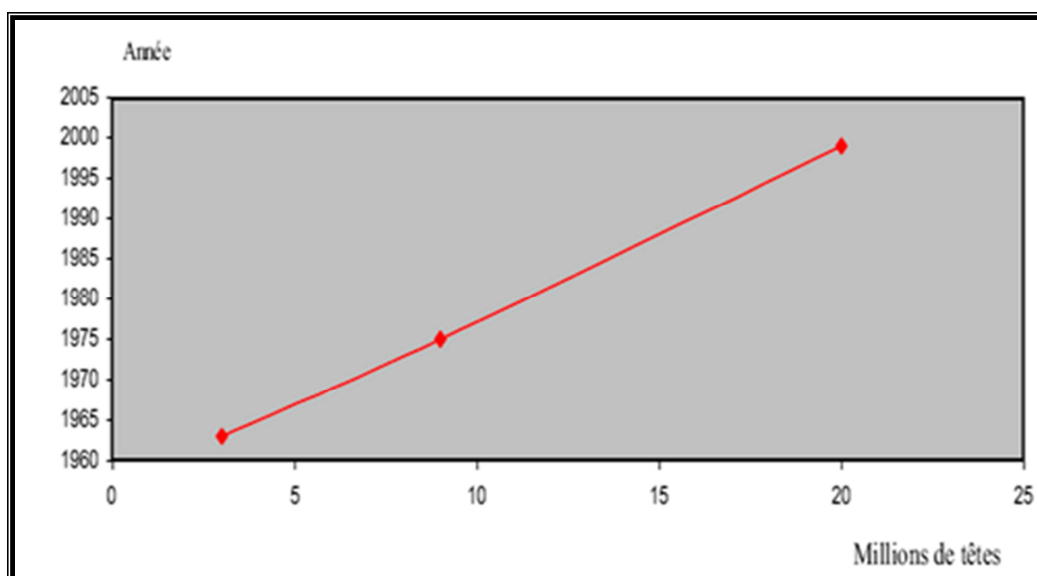


Figure 7 : Evolution du cheptel en Algérie (Abdelgherfi, 2003).

8.4- L'exploitation

Par suite de l'utilisation de l'alfa pour la fabrication du papier à la fin du 19^e et début du 20^e siècle, les nappes alfatières ont subi une forte régression. Trabut (1889) avait déjà signalé la disparition de vastes nappes alfatières du fait de récoltes immodérées. Ce n'est pas aux défrichements seuls qu'il attribuait cette régression, mais à une exploitation intensive mal comprise (Boudy, 1950).

8.5- L'incinération

C'est l'un des facteurs anthropozoïques participant dans cette dégradation. Le dégât provoqué par les incinérations de chaque berger est estimé à un demi-hectare par an (Aidoud et Nedjraoui, 1992).

8.6- Aridité et crises climatiques

L'irrégularité des précipitations et leur mauvaise répartition, les fortes températures donnent lieu à des périodes de sécheresse estivales marquées par une durée souvent supérieure à 6 mois. Ces perturbations affectent négativement la végétation des parcours.

Les pluies sont de faible importance et ne tombent que pendant la saison froide et très souvent à la fin de l'automne et au début de l'hiver. Elles sont donc peu efficaces pour la végétation qui pousse essentiellement au printemps. Les pluies ont souvent un caractère orageux avec de fortes intensités, favorisant le ruissellement et l'érosion sur des zones déjà très dégradées, accentuant ainsi le déficit hydrique général de la région. La variabilité des précipitations accentue aussi la dégradation par des successions d'années sèches ou par des répartitions annuelles parfois aléatoires (Abdelgherfi, 2003).

La pénurie des pluies se traduit directement par une productivité primaire faible des nappes alfatières. Cette productivité est largement expliquée par la quantité de pluie. La production de l'alfa n'est que de 40 kgMS.ha-1 en 1984, année la plus sèche. Cette baisse de la biomasse peut s'expliquer, dans toute la zone, en grande partie par la sécheresse (Aidoud, 2001). Sachant que l'effectif du cheptel est dix fois supérieur à la charge réelle, cet écart entre l'offre et la demande des parcours crée un déséquilibre qui a comme conséquence une dégradation des parcours (Abdelgherfi, 2003).

9- Intérêts de l'alfa

9.1- Intérêt écologique

L'alfa joue un rôle très important dans la lutte contre le phénomène de désertification. Elle joue également un rôle essentiel dans la lutte contre l'érosion pluviale et éolienne. Les touffes protègent et fixent les sols grâce à un système racinaire très développé (Kadi-Hanifi, 1998). Ces dernières constituent des petits barrages qui freinent l'érosion hydrique, elles forment aussi des brise-vent contre l'érosion éolienne.

L'alfa constitue une niche écologique qui attire une faune très variée de prédateurs polyphages et de micro-organismes où la litière et les feuilles mortes constituent un abri contre la chaleur, la sécheresse excessive et la lumière du jour (Khellil, 1995).

Enfin, elle permet le développement des espèces annuelles qui améliorent ainsi la quantité pastorale dans parcours, dont les graines peuvent germer à son ombre (Hellal, 1991 ; Mehdadi, 1992).

9.2- Importance socio-économique

L'alfa est une plante utilisée pour ses fibres notamment en cellulose (40 à 50%) (Harche, 1978 ; Mehdadi *et al.*, 2008 ; Moulessehouli and Mehdadi, 2014). On en tire une pâte à papier recherchée. Ses feuilles peuvent s'employer pour la fabrication de cordages et d'objets de sparterie.

Les plus jeunes feuilles d'alfa peuvent être pâturées par les chevaux, les chameaux, mais la plante est trop riche en lignine pour constituer un fourrage pour les autres herbivores (Kihal et Harche, 1989). Par ailleurs, la feuille d'alfa possède des acides gras insaturés, notamment l'acide oléique, pouvant être valorisés dans le domaine diététique ou nutritionnel (Mehdadi *et al.*, 2006).

D'autres travaux effectués sur l'alfa ont montré au niveau de son tissu foliaire, l'existence de xylose, sucre ayant un pouvoir sucrant équivalent au saccharose et qui conviendrait fort bien aux diabétiques car son métabolisme ne nécessite pas l'insuline (Boudy, 1950 ; Kihal et Harche, 1989).

Chapitre II :
Les stress
environnementaux

Les stress environnementaux, comme la sécheresse, la salinité et les basses températures sont des conditions qui affectent la croissance et le rendement des plantes. Les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre aux changements environnementaux en contrôlant et en ajustant leurs systèmes métaboliques (Hopkins, 2003).

L'implication d'une plante dans un stress est due aux facteurs environnementaux et génétiques (Belhassen *et al.*, 1995). Parmi ces facteurs, trois éléments sont à distinguer :

- la composition du sol en éléments minéraux,
- le contenu hydrique du sol et de l'air,
- le choc thermique.

Les contraintes environnementales affectant une culture peuvent occasionner des pertes de rendement considérables ; parmi les principaux stress environnementaux auxquels les plantes sont confrontées, nous pouvons distinguer selon Hopkins (2003) :

- températures,
- excès d'eau,
- déficit hydrique,
- salinité,
- radiation,
- produits chimiques,
- agents pathogènes.

I. La sécheresse

La sécheresse est une condition climatique régnant dans une région géographique où les précipitations sont très nettement inférieures aux valeurs habituellement escomptées ; elle est principalement déterminée par l'emplacement (UNESCO, 1995).

L'aridité est due à la faiblesse des précipitations moyennes ou la rareté de l'eau naturelle disponible. Dans ce cas, le manque de pluie est une caractéristique permanente du climat de la zone. Il s'agit généralement de régions où la pluie est rare et les températures sont élevées. L'aridité traduit des conditions climatiques caractérisées par la faiblesse des précipitations moyennes annuelles (moins de 250 mm d'eau par an) mais aussi par l'irrégularité dans l'espace et dans le temps et par une forte évapotranspiration (Agoussine, 2003).

La sécheresse peut être considérée comme un catalyseur de la désertification car elle affecte la structure du sol et provoque des changements dans la végétation. Le passage contrasté d'épisodes de sécheresse et de pluies diluviennes fragilise la structure du sol, accélère l'érosion et le processus de désertification (Requier-Desjardins et Caron, 2005).

Au cours des trente dernières années, la sécheresse s'est largement répandue à la surface de la planète. La surface des territoires frappés par cette dernière a plus que doublé dans le monde entre le début des années 1970 et 2002, selon une étude menée par des scientifiques américains (N.C.A.R., 2005).

La sécheresse affecte l'état des végétaux et se traduit par un ralentissement de l'activité photosynthétique de la végétation entraînant une diminution de la production, notamment pour les cultures et les fourrages (C.N.E.S., 2003).

Ces effets de la sécheresse diffèrent selon le stade de végétation auquel elle s'est manifestée. Le « stress hydrique » perturbe la floraison et la fécondation, réduisant ainsi le développement des épis (Chenais *et al.*, 2003).

La photosynthèse est ralentie, puis annulée au cours des périodes de sécheresse (EL-Jaafri et paul, 1993). Le manque d'eau réduit aussi la production de matière sèche (Chenais *et al.*, 2003).

La sécheresse ralentit la synthèse protéique ; en revanche la synthèse de certains acides aminés (Asparagine, proline, etc.) est stimulée (Bonneau et Souchier, 1994).

I.1. Stress hydrique

Ce stress hydrique résulte d'une période de sécheresse plus ou moins prolongée et pendant laquelle le déficit hydrique augmente progressivement. Dans ce cas, la balance est déficitaire entre, d'une part, la consommation d'eau par la plante, et d'autre part, la fourniture par le sol. Différents étapes et symptômes traduisent le comportement des plantes soumises à un stress hydrique (Cochard, 1991) :

-flétrissement : il caractérise la perte de turgescence des tissus et c'est le premier symptôme d'un stress (eau ou/et chaleur). Le flétrissement apparaît lorsque le niveau des pertes par transpiration dépasse la capacité d'absorption racinaire, soit que l'eau manque (véritable stress hydrique), soit que le flux transpiratoire est plus rapide que l'absorption (Cochard, 1991).

-dessiccation : la contraction et l'éclatement cellulaire (par suite de la perte d'eau), conduisent à la mort des tissus foliaires. Parallèlement, il y a aussi dessiccation du sol dont la sévérité dépend de l'évaporation et du type de sol (Cochard, 1991).

I.2. Stratégie d'adaptation des plantes à la sécheresse

Les stratégies généralement retenues sont l'échappement, l'évitement et la tolérance. Les plantes peuvent subsister en période de sécheresse en évitant une chute excessive de leur potentiel hydrique foliaire et de leur teneur en eau relative, donc en gardant leur turgescence. Elles ne pratiquent pas l'ajustement osmotique et ne tolèrent qu'une déshydratation limitée. En fait, dans les biotopes occupés par ces plantes, cette limite létale n'est pas atteinte malgré le dessèchement des couches superficielles et moyennes du sol, grâce à certaines des caractéristiques suivantes (Schulze *et al.*, 2005) :

- développement d'un enracinement profond,
- ramification considérable des racines,
- diminution précoce de la fermeture des stomates. La réduction de la transpiration stomatique est complétée, suivant les espèces, par :
 - réduction de la surface foliaire (Lelievre, 1999),
 - enroulement des feuilles (Hurd, 1974),
 - chute de la transpiration cuticulaire (Adda, 1996).
- existence de réserve d'eau dans les parenchymes aquifères des plantes grasses.
 - ✓ les plantes tolérantes, qui sont surtout des plantes vivaces, sont capables de supporter une déshydratation assez poussée de leurs tissus. Elles retardent la fermeture de leurs stomates « ajustement stomatique » (Bonneau et Souchier, 1994).
 - ✓ les déficits hydriques longs se traduisent par des changements progressifs dans la structure de la plante qui vise à réduire la croissance (Kramer, 1980), mais qui traduisent également une baisse de son rendement (Rekika, 1997).

Pour résister, les plantes constituent des réserves d'eau et de matière nutritive, ceci se traduit par un épaississement de certains organes leur permettant de passer la saison sèche dans la plus part des cas. Ces réserves peuvent se concentrer :

- dans les feuilles, qui deviennent épaisses et grasses, comme chez les Crassulées,

- dans les parties inférieures de l'appareil végétatif, les racines deviennent fortement renflées,
- dans le tronc fortement renflée des Pachypodium, Cyphostema et autre boabas.

II. La salinité

La concentration en sels dans l'environnement d'une plante varie énormément, elle peut être insuffisante ou excessive. Le terme de stress salin s'applique surtout à un excès d'ions en particulier, mais exclusivement aux ions Na^+ et Cl^- (Hopkins, 2003).

La présence de quantités importantes de sels dans la solution du sol abaisse le potentiel hydrique et réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes. Nous parlons alors de milieu « physiologiquement sec », les plantes communes (glycophytes) ne peuvent s'y développer. Seule une végétation halophile zonée (essentiellement en fonction de la salinité) se développe (Tremblin, 2000).

Les terres arides et semi-arides présentent un tiers de la surface du globe. Dans ces zones, la salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des facteurs limitatifs de la productivité végétale et du rendement agricole (Zid et Grignon, 1991).

Ces écosystèmes sont caractérisés par une faible et une forte irrégularité des précipitations associées à une importante évaporation favorisant l'accumulation de sels dans le sol. Ce phénomène affecte près de 7% de la surface globale dans le monde (Munns, 2002). L'Algérie se situe parmi les pays touchés, presque 3,2 millions d'hectares de la surface sont salins (Hamdy, 1990).

En Algérie comme en Afrique, de nombreux facteurs sont favorables à la salinisation des sols : les eaux d'irrigation sont souvent de qualité médiocre, le climat est fortement évaporant, les sols sont argileux, le drainage est déficient, les irrigations ne sont pas contrôlées (Cheverry et Robert, 1993).

Les sols salés contiennent une teneur élevée en sels plus solubles dans l'eau que le gypse (Aubert, 1976). Une grande quantité de sels solubles dans les sols peut affecter le développement des cultures (Rhodes, 1985 ; Szalbbocs, 1986) et les propriétés pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la perméabilité hydraulique (Halitim *et al.*, 1984 ; Aragues et Ameskta, 1991 ; Daoud, 1993).

Maatougui (2001) a noté que la salinité se manifeste en particulier au sein des sols des zones agro-climatiques arides et semi-arides, où le lessivage des sols est restreint ou absent à cause de l'insuffisance des précipitations. L'évapotranspiration élevée dans ces zones contribue à l'aggravation du problème par l'augmentation de la concentration des sels dans le sol.

Il est possible de limiter l'ampleur prise par la salinisation des terres et des eaux par l'exploration des écosystèmes salins et l'identification des espèces halophytiques à potentialités économique et/ou écologique afin d'utiliser ces espèces naturellement tolérantes au sel pour la réhabilitation et la valorisation des sols salés (Belkhouja *et al.*, 2010). Ainsi, plusieurs halophytes expriment de forte potentialités de croissance, de prélèvement et de stockage de sel dans leurs parties aériennes sont intéressantes pour la fixation et le dessalement des sols dans les zones arides et semi-arides.

A la différence des glycophytes qui ne supportent pas la présence de sels, les halophytes poussent mieux sur un sol salin. Elle déclenchent des mécanismes de tolérance qui contribuent à l'adaptation au stress osmotique et ionique provoqué par la salinité élevée (Lee *et al.*, 2008). Ces mécanismes permettent d'ajuster la pression osmotique interne, grâce aux électrolytes et aux solutés organiques principalement des sucres solubles et des acides aminés, comme la proline (Driouich *et al.*, 2001).

Que ce passe t'il pendant un stress ?

Lorsqu'une contrainte arrive au niveau cellulaire, la phase d'alarme débute par la déstabilisation d'un certain nombre de structure, en particulier membranes et protéines, et d'un certain nombre de fonction, le catabolisme l'emporte sur l'anabolisme : c'est la réaction fondamentale d'un stress (Hopkins, 2003). Puis comme dans le cas d'une attaque armée, la résistance s'organise, il apparait très rapidement des processus de réparation, de restauration de l'état initial, de synthèse de molécules de protection, globalement l'anabolisme devient supérieur au catabolisme, c'est la réaction de récupération (Kang *et al.*, 2002 ; Jin *et al.*, 2008).

III. Les sucres solubles et la proline

III.1. Les sucres solubles

Les sucres solubles dans l'eau constituent une source glucidique rapidement métabolisable et couvrent les besoins immédiats de la plante. Ce sont des intermédiaires métaboliques, ils ont également une forme de transport et ils peuvent être considérés dans certains cas comme forme de stockage. Ainsi le saccharose, sucre soluble majoritaire de la plupart des espèces contribue également au stockage hivernal en l'accumulant dans les vacuoles. Son accumulation est initiée par une baisse des températures hivernales et contribue à augmenter la résistance au froid (Palonen, 1999).

La diminution du potentiel osmotique conduit à une accumulation de sucres solubles dans les feuilles, étroitement dépendant de la teneur en amidon tandis que la quantité des glucides solubles dans les racines est inversement proportionnelle à celle des feuilles.

D'après Eagles *et al.* (1969); Hsiao *et al.* (1976), l'abaissement du potentiel osmotique conduit à l'augmentation dans les feuilles non seulement de l'activité spécifique des ribonucléases et phosphate acides, mais aussi du taux spécifique de sucres solubles.

Les travaux de Wyn-Jones *et al.* (1977) ont révélé que dans des conditions de sécheresse, la teneur en hexoses augmentait dans les feuilles de cotonnier, tandis que celle de l'amidon diminuait. Le transfert des glucides en dehors de la feuille était considéré comme une condition nécessaire à l'obtention de rendements photosynthétiques élevés (Kaiser, 1987).

L'accumulation, due à la sécheresse, de glucides dans les feuilles paraît varier avec l'espèce étudiée (Hsiao *et al.*, 1976 ; Munns, 1981). Dans les plantes extrêmement résistantes, une quantité plus réduite de glucides solubles paraît caractériser les écotypes les plus adaptés à la sécheresse (Burt, 1966).

A parti des feuilles, les glucides seront transférés sous la forme de saccharose d'après les travaux de Eargles *et al.* (1969).

Les sucres sont des macromolécules organiques (hydrates de carbonés), formés de petites unités appelées oses, contenant des atomes de carbonés, d'hydrogène et d'une molécule de glucose et un diholoside (disaccharide) formé d'une molécule de glucose et d'une molécule de fructose.

En présence d'eau, le saccharose, par l'effet de l'enzyme invertase, s'hydrolyse (réaction chimique, catalysée par des enzymes du type hydrolase, au cours de laquelle intervient obligatoirement une molécule d'eau et qui aboutit à la scission d'un composé) en glucose et en fructose ce qui permet son assimilation par la plante.

Le saccharose sert chez les végétaux de molécule de transport du carbone réduit via le phloème. Les organes sources vont ainsi fournir des produits de la photosynthèse. De plus le saccharose et les hexoses issus de sa dégradation vont influencer les phases de développement des organes de réserves (Guillaume, 2007).

Les oses constituent l'infrastructure des végétaux permettant à la plante de produire son énergie nécessaire à sa survie. Dans la cellule, les glucides ont un rôle essentiellement énergétique, énergie qui est transformée en énergie directement utilisable par la cellule sous forme ATP.

Le saccharose est tout d'abord stocké temporairement dans la vacuole des cellules productives avant exportation. Il s'avère que de manière générale, la présence majoritaire de saccharose dans la cellule de réserve va déterminer son développement : les hexoses favorisent la division et l'expansion cellulaire, tandis que le saccharose favorise la différenciation et la maturation (Guillaume, 2007).

III.2. La proline

La proline est un acide aminé, c'est le seul qui possède un groupement azoté sous forme d'acide aminé (fig. 18)

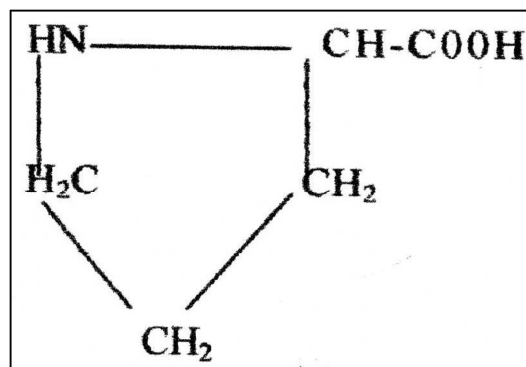


Figure 8 : Structure de la proline (Bellinger, 1989).

La proline, acide pyrroline 2 carboxylique $C_5H_9O_2N$ de poids moléculaire =115,13 et le point isoélectrique de 6,30 est un acide découvert par Willsletter en 1900 au cours d'un dosage de l'ornithine. Elle est soluble dans l'eau et dans l'alcool et facilement oxydable par la ninhydrine (Chaib, 1998).

II.1. Synthèse de la proline

La proline joue un rôle dans l'ajustement osmotique tout en permettant le déroulement des processus biochimiques (Stewart et Larher, 1980). Lesaint (1969) signale que les précurseurs de la proline sont l'acide glutamique, dont la cyclisation donne de l'acide pyrroline carboxylique puis la proline.

D'après Boggess et Stewart (1976), le déficit hydrique intervient principalement dans la formation de l'acide pyrroline carboxylique (P5C) plus que dans la réduction de ce dernier en proline.

L'accumulation de la proline consécutive à la sécheresse serait à la fois la résultante d'une diminution de la synthèse protéique (Stewart et Boggess, 1978), d'une inactivation des réactions d'oxydation conduisant à la formation d'acide glutamique ou d'une conversion en proline des produits d'oxydation.

La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique via l'acide 5 carboxylique 1 pyrroline (P5C) mais également via l'arginine et l'ornithine (Lignowski et Slittstoesser, 1971) (fig. 19).

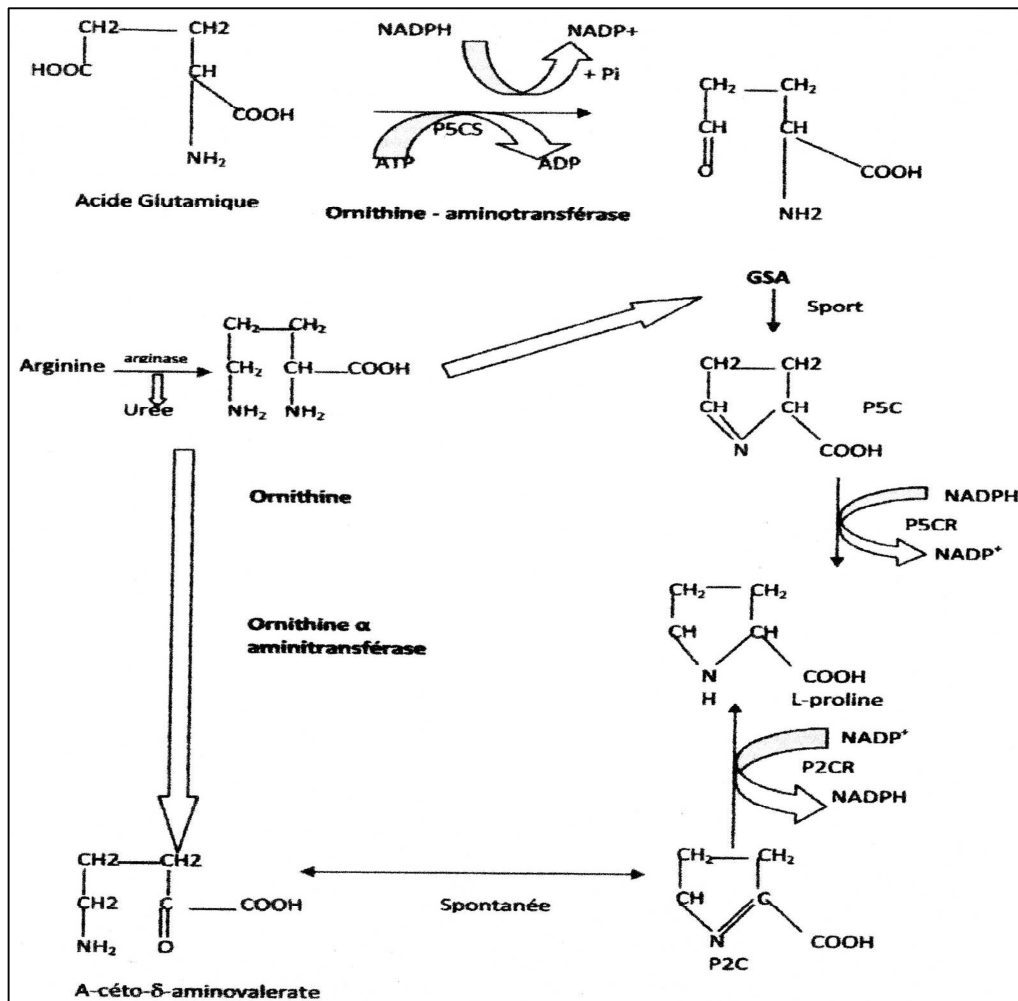


Figure 9 : Synthèse de la proline à partir de l'ornithine (Delauney et Verma, 1993).

Les hydrates de carbone peuvent être un facteur essentiel dans l'accumulation de la proline (Stexart, 1972), car la synthèse des protéines est liée automatiquement au métabolisme des glucides et à la respiration (dans le cycle de Krebs) par l'intermédiaire de l'alpha-cétoglutarate pour la synthèse de la proline (Venekamp *et al.*, 1989).

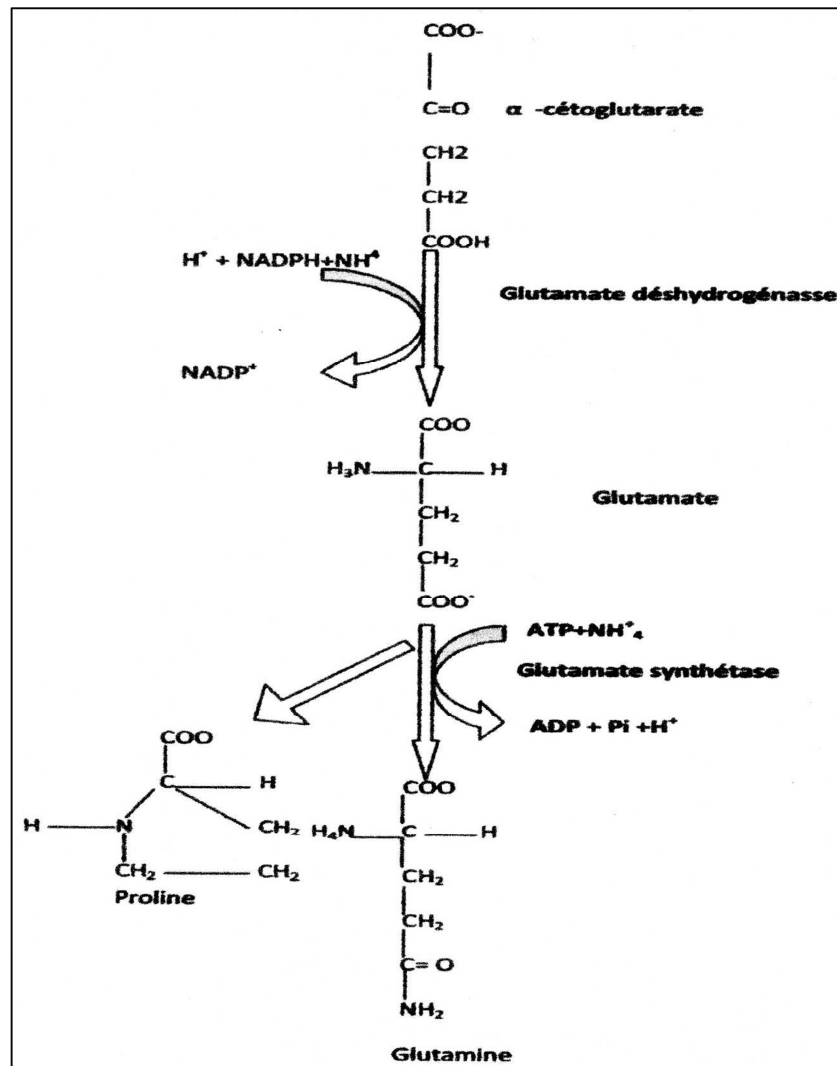


Figure 10 : Voie de synthèse de la proline à partir de l'alpha-cétoglutarate du cycle de Krebs (Bellinger, 1989).

Le métabolisme de la proline est géré par deux enzymes, pyrroline-5-carboxylase réductase (P5CR) et proline déshydrogénase (ProDH) ; la première conduisant à sa synthèse et la seconde à son utilisation.

L'oxydation de la proline est inhibée durant l'accumulation, sous stress chez les plantes et d'active à nouveau après l'arrosage (Royapati et Steward, 1991 ; Kiyosue *et al.*, 1996).

L'accumulation de la proline, induite par le stress, peut être le résultat de trois processus complémentaire : stimulation de sa synthèse (Boggess *et al.*, 1976), inhibition de son oxydation (Rayapati et Steward, 1991), et/ou altération de la biosynthèse des protéines (Steward *et al.*, 1978). L'accumulation de la proline est considérée actuellement comme l'une

des manifestations les plus remarquables des stress salins et hydriques. La teneur en proline vient renforcer les mécanismes impliqués dans le maintien et l'amélioration de la stabilité des membranes cellulaires en réponse au stress salin (Alem et Amri, 2005). La proline a un rôle osmorégulateur dont le pouvoir protège le système membranaire lors de la déshydratation des différents tissus (Bellinger *et al.*, 1991).

Chapitre III :
Physiologie de la
germination

La graine assure la production des végétaux supérieurs, c'est un organe de résistance capable d'attendre très longtemps à l'état pratiquement inerte les conditions qui lui permettent d'entrer en activité et de donner naissance à une jeune plantule. Du point de vue physiologique, Evenari (1957) définit la germination comme étant un processus dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule.

Le phénomène de germination est accompagné d'intenses activités métaboliques (respiration, hydrolyse des réserves ...). Pour qu'il y ait germination, il faut la réunion de plusieurs conditions favorables internes et externes pour pouvoir passer de la vie latente à la vie active (Musmarra, 1996).

1. Les facteurs favorisant la germination

Pour obtenir la germination il est nécessaire que soient respectées une série de conditions (Bacchetta *et al.*, 2006) :

- la graine doit être viable, mûre et non dormante ; si elle est dormante, il faut exécuter les prétraitements nécessaires pour éliminer les inhibitions à la germination;
- la graine doit être placée dans des conditions ambiantes contrôlées en ce qui concerne l'eau, la température, l'oxygène et la lumière.

1.1. Facteurs endogènes

Pour que la graine germe, il faut qu'elle soit arrivée à maturité physiologique. Il faut également que cette graine soit intacte et l'embryon vivant (ce qui peut être liée à la longévité de la semence).

1.1.1. La maturité

La maturation des semences se produit généralement sur la plante mère associée à une déshydratation très poussée (les graines ne renferment que 10 % d'eau) ce qui entraîne leur entrée en vie ralentie.

En résumé, une graine est toujours fondamentalement constituée d'un embryon, d'un tissu de réserve à rôle nourricier et d'enveloppes (téguments, péricarpe).

1.1.2. La viabilité ou longévité des semences

La viabilité des semences varie selon les espèces. Elle dépasse souvent 15 ans et peut atteindre une centaine d'années (graines viables retrouvées dans les herbiers).

Des études récentes ont montré que la vitesse du vieillissement était en partie sous contrôle génétique et que la durée de vie d'un individu pouvait être modulée en modifiant l'expression des gènes (Kenyon, 2001).

Dans le cas des graines, avant de conduire de façon irréparable à la mort cellulaire, l'accumulation d'une succession de dégâts des structures biologiques au cours du stockage affecte progressivement la vigueur germinative. Ces phénomènes de détérioration se produisent même dans des conditions idéales de conservation.

La durée de vie d'une graine est déterminée par son potentiel génétique et physiologique de conservation et par les conditions environnementales qu'elle rencontre lors de son stockage. La graine apparaît être un modèle approprié pour étudier la biologie du vieillissement. En effet, certaines graines présentent une longévité exceptionnelle. Des graines multi-centenaires de balisier (*Canna compacta*) et lotus sacré (*Nelumbo nucifera*) ont été retrouvées viables ce qui constitue les exemples les plus marquants de longévité pour des organismes eucaryotes pluricellulaires (Shen-Miller *et al.*, 1995).

Des travaux très récents démontrent qu'il existe des inégalités et une très grande hétérogénéité entre les graines des différentes espèces de plantes par rapport à leur capacité de conservation (Walters *et al.*, 2005).

Au-delà des conditions de stockage, la capacité de conservation des graines dépend de leurs propriétés intrinsèques à protéger l'embryon de par les caractéristiques physiques et chimiques de l'enveloppe (Debeaujon *et al.*, 2000), mais aussi du maintien d'une activité métabolique réduite (Buitink *et al.*, 2000).

Le maintien de la vigueur germinative au cours du stockage et du vieillissement des graines est conditionné par le maintien de la capacité de l'embryon à éliminer des composés toxiques et à réparer ou à renouveler les constituants cellulaires altérés au cours du temps (Rajjou *et al.*, 2007).

1.2. Facteurs exogènes

Bonne imbibition (eau), température compatible, présence d'oxygène, lumière ou obscurité selon les espèces.

1.2.1. Eau

L'eau est exigée pour la germination. Les graines mûres sont souvent extrêmement sèches et doivent rentrer des quantités significatives d'eau. La quantité d'eau nécessaire est de 50 % à 250 % du poids sec de la graine et permet la réhydratation des tissus.

La plupart des graines répondent mieux quand l'humidité du milieu dans lequel sont disposées est convenable car un excès d'eau les entraîne vers une asphyxie. La prise de l'eau par des graines s'appelle imbibition ce qui mène au gonflement et à la rupture de l'écale du grain.

Cette eau va imbiber la graine, pénétrer les téguments de façon passive :

- entrée par capillarité,
- imbibition des téguments,
- pénétration dans les tissus.

L'absorption de l'eau varie en fonction de :

- la nature des téguments : poreux, cireux...
- la nature du sol : argile, sable, tourbe...
- la température : inférieure ou supérieure à 0 °C.

Quand des graines sont formées, la plupart des tissus stockent des réserves, comme l'amidon, les protéines ou les huiles pour fournir l'alimentation à l'embryon grandissant à l'intérieur de la graine. Une fois l'eau absorbée ; des enzymes hydrolytiques sont activés pour la décomposition de ces ressources stockées tout en permettant aux cellules méristématiques de l'embryon de se diviser et de se développer, ainsi la plantule peut émerger de la graine (Raven Peter *et al.*, 2005) .

Une fois que la plante commence à accroître, elle exige un approvisionnement continu en eau, aliments et lumière pour la photosynthèse, qui fournit maintenant l'énergie requise pour la croissance continue.

1.2.2. L'oxygène

C'est l'élément indispensable à la respiration ; il permet la production d'ATP et de matières organiques et est exigé par la graine pour sa germination (Siegel *et al.*, 1962). Si le sol est inondé ou la graine est enterrée dans le sol, elle pourrait être privée de l'oxygène nécessaire dont elle a besoin.

L'oxygène est employé pour la respiration de l'embryon. Cet oxygène est une source principale d'énergie pour la plante jusqu'à ce qu'elle ait les feuilles. Ces dernières peuvent photosynthétiser leurs propres matières organiques (Raven Peter *et al.*, 2005).

Quelques graines ont des écales imperméables qui empêchent l'oxygène d'y entrer causant leur dormance. Les écales imperméables à l'oxygène ou à l'eau sont des types de dormance physique.

L'oxygène pénètre les téguments et la présence de phénols oxydables peut empêcher le passage d'oxygène à l'embryon. On traite alors les semences par scarification, destruction superficielle des téguments par griffures, ou utilisation de tissus abrasifs.

1.2.3. La température

La connaissance de l'optimum thermique de la germination est une donnée fondamentale en écophysiologie (Evenari, 1952 ; James, 1953 ; Scipres, 1974 ; Shaybany et Rouhani, 1976 ; Corbineau *et al.*, 1983).

La température, facteur limitant, intervient directement en agissant sur la vitesse des réactions biochimiques, les activités enzymatiques, la perméabilité des membranes et l'entrée d'oxygène (Haber et Brassington, 1959 ; Mazliak, 1982). Donc, elle agit sur la vitesse de consommation d'oxygène par l'embryon et modifie la solubilité de ce gaz. Une température inadéquate peut même induire une dormance de type secondaire (Bacchetta *et al.*, 2006).

Mener la germination à température constante ou avec un régime de températures alternées peut fournir des résultats différents soit par le nombre total de graines germées soit par une modification de la vitesse de germination. Les exigences thermiques sont variables selon l'espèce et son origine géographique : certaines espèces peuvent demander des températures très basses (ex: 5°C pour *Tulipa* et *Fagus sylvatica*) ou bien élevées.

L'amplitude de l'intervalle des températures optimales peut varier avec l'espèce et avec le degré de dormance de la graine (Bacchetta *et al.*, 2006).

Très souvent les graines sujettes à la dormance secondaire, germent de préférence pendant des cycles journaliers de températures alternées très marquées, comme cela se produit en fin de l'hiver et au début du printemps (nuits froides et jours chauds). Dans ce cas, les semences tardives exposées à des températures trop élevées peuvent entrer en dormance secondaire et ne germent pas (Bacchetta *et al.*, 2006).

En outre, quelques graines peuvent exiger l'exposition à la température froide (vernalisation) pour casser la dormance avant qu'elles puissent germer. Tant que la graine est dans son état dormant, elle ne germera pas même si les conditions sont favorables.

Quelques graines germeront seulement quand les températures atteignent des centaines de degrés, comme pendant un feu de forêt. Sans feu, ils ne peuvent pas fendre leurs écales du grain,

C'est alors que l'effet de la fumée sur la germination a aussi été récemment expérimenté sur des unités taxonomiques du bassin Méditerranéen (Crosti *et al.*, 2006). Les espèces qui sont stimulées par la fumée, qui doit être considérée comme un sous-produit très spécifique de l'incendie, ne sont pas nécessairement les mêmes que celles qui peuvent être stimulées par le choc thermique produit par le feu. En effet, l'action de la fumée semble être de nature chimique alors que la chaleur agit par un mécanisme physico - mécanique. La fumée pourrait donc avoir un effet direct, mais aussi indirect, avec les solutions aqueuses ou les gaz qui atteignent les graines. Parmi les espèces qui réagissent positivement, la réponse à la fumée varie selon la quantité de principe actif qu'elle contient et en fonction du temps d'exposition. On a récemment isolé de la fumée une substance du groupe des buténolides qui, même à de très basses concentrations, agit sur la stimulation de la germination comme la fumée elle-même. En outre, cette substance stimule même à l'obscurité la germination de nombreuses espèces, comme les Asteraceae australiennes, qui ont pourtant besoin de lumière pour germer, et ceci parce qu'elle provoquerait des effets analogues à ceux de l'acide gibbérellique (Merritt *et al.*, 2006).

Les graines sensibles à la fumée ont très souvent des téguments particuliers dotés d'une couche sous-dermique qui, lorsque la graine est quiescente, peut permettre l'absorption de l'eau mais pas des solutés. L'action de la fumée modifierait ce tissu en le rendant plus

perméable et favoriserait ainsi les processus de germination. La diversité des espèces, ainsi que le milieu d'origine d'une espèce, induiront des réponses très variées qui influenceront fortement la composition de la communauté végétale qui succédera à un incendie (Fenner et Thompson, 2005).

1.2.4. Lumière ou obscurité

Elles peuvent être un type de déclenchement environnemental pour la germination en graines. La plupart des graines ne sont pas affectées par la lumière ou l'obscurité, mais beaucoup de graines, y compris des espèces trouvées dans des forêts denses ne germeront pas jusqu'à ce qu'une ouverture leur permette de recevoir suffisamment de lumière (Raven Peter *et al.*, 2005).

- Si la lumière a un effet positif, on parle de graine à photosensibilité positive
- Si l'obscurité a un effet positif, on parle de graine à photosensibilité négative
- Si l'obscurité ou la lumière ont un effet positif, on parle de graine à photosensibilité indifférente.

En général 70 % des graines ont une photosensibilité positive, 25 % sont à photosensibilité négative et 5 % sont indifférentes.

Le mécanisme de la photosensibilité a fait l'objet de nombreuses études menées par Baskin et Baskin (1998) qui ont amené à la découverte d'un système photorécepteur : le phytochrome. Ce système est constitué d'un pigment localisé dans l'embryon. La photosensibilité s'apprécie avec l'emploi de lumière blanche sur des graines intactes et fraîches. Cette photosensibilité peut disparaître suite à la conservation au sec et aussi pour les embryons isolés, ce qui signifierait que cette sensibilité provient des téguments (Côme, 1970).

L'influence de la lumière sur la germination de nombreuses espèces méditerranéennes a aussi été étudiée par Thanos (Thanos *et al.*, 1991,1994; Thanos et Doussi, 1995).

2. Les différentes phases de la germination

La mesure d'imbibition ou de l'activité respiratoire de la semence au cours de la germination ont permis de déceler l'existence de trois phases successives de la germination (Mazliak, 1982) comme on peut le constater sur la figure 2 établie par Bewley et Black (1994).

2.1. Phase d'imbibition

C'est un processus primaire essentiel qui a lieu pendant la germination, il marque une période durant laquelle la semence passe d'un état déshydraté à un état hydraté (Vertucci et al., 1983). Cette phase est caractérisée par un changement réversible. L'imbibition est dans un premier temps, passive et mécanique ; elle ne devient physiologique qu'au bout de quelques heures quand la vie active reprend.

2.2. Phase de germination au sens strict

C'est une phase stationnaire où l'intensité respiratoire et la prise d'eau restent constantes (Mazliak, 1982). C'est un processus préparatoire ou phase d'activation pendant laquelle s'opèrent des modifications du métabolisme telle que la biosynthèse des éléments indispensables à la nutrition de la plantule et la mise en place de nouvelles cellules qui permettent la formation et la croissance des organes (Heller *et al.*, 2004).

2.3. Phase de croissance

Cette phase est caractérisée par une reprise de l'absorption d'eau et une augmentation de l'activité respiratoire dues à l'allongement de la racicule (Toth, 1978 ; Mazliak, 1982).

D'une manière générale, la séquence d'événements intervenant est la suivante :

1. imbibition des éléments vivants déshydratés et gonflement de la graine,
2. démarrage de la digestion des réserves,
3. grandissement des cellules de la racicule déjà formée dans l'embryon puis prolifération des cellules du méristème radiculaire,
4. éclatement des téguments et sortie de la racicule,
5. développement de la partie aérienne et libération des téguments.

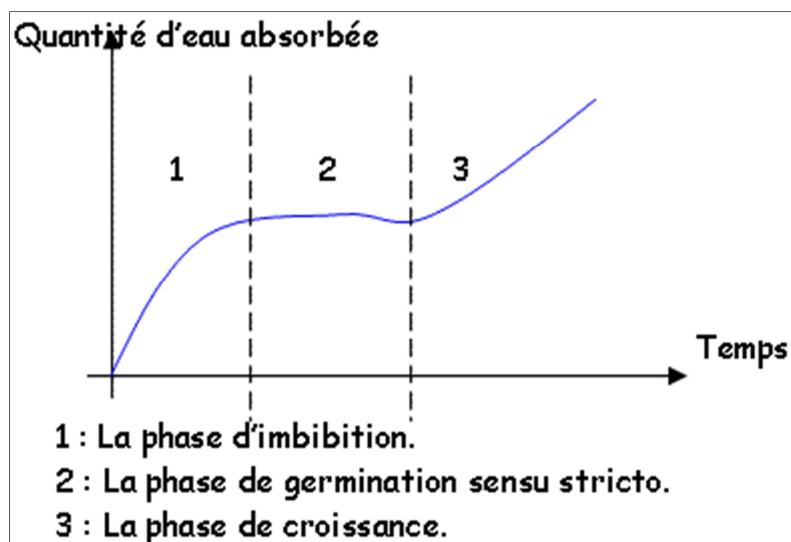


Figure 11 : Absorption d'eau par la semence au cours de la germination et début de l'allongement de la radicule (Bewley et Black, 1994).

3. Manifestations structurales de la germination

Les travaux réalisés par Rogan et Simon (1975) ont démontré l'existence de deux phases essentielles :

➤ Phase 1 : élongation cellulaire et croissance de la radicule

- On a une diminution de la résistance de la paroi grâce aux enzymes synthétisées qui l'hydrolysent et la fragilisent,
- Activation des pompes à protons, le milieu extérieur est plus acide, les liaisons hydrogènes sont coupées et les fibres de cellulose sont fragilisées,
- Augmentation de la pression osmotique du suc vacuolaire.

Dans ces étapes, on trouve deux phytohormones :

- l'acide abscissique qui s'oppose à la germination en inhibant la synthèse des hydrolases.
- les Gibbérellines qui stimulent la synthèse des enzymes qui dégradent la paroi.

➤ Phase 2 : division cellulaire

- L'acide abscissique favorise l'élongation.
- Les gibbérellines favorisent la synthèse de mannases.

- Les cytokinines favorisent la division cellulaire (mitose).

On a une augmentation rapide de l'élongation cellulaire après imbibition et les divisions cellulaires de la phase 2 ont lieu après le début de l'élongation.

4. Mobilisation des réserves de la graine

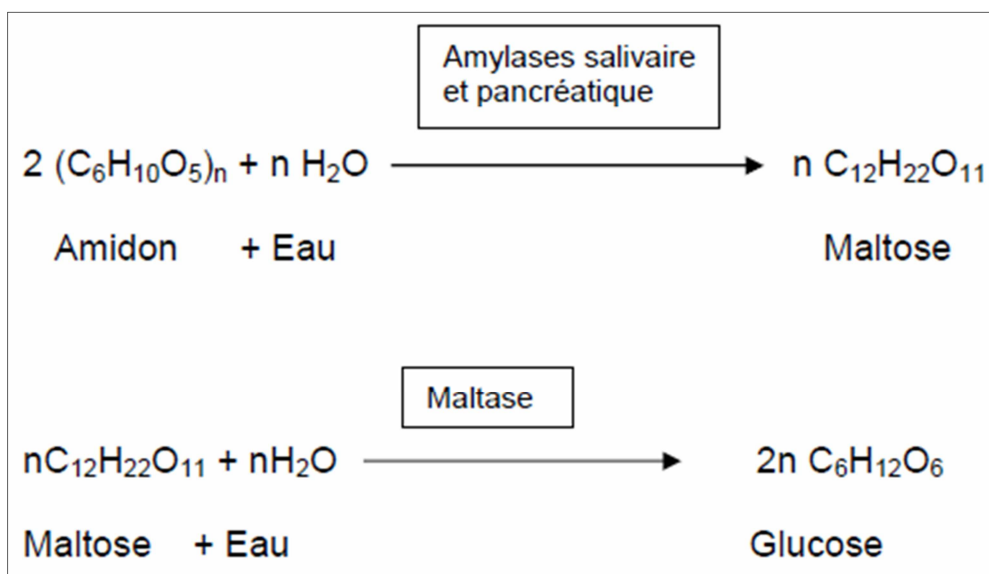
Ces réserves concentrées à un niveau jamais atteint dans les autres parties de la plante ont une grande importance, car elles assurent l'alimentation du jeune embryon en cours de germination ce qui lui permet d'atteindre l'autotrophie. Même dans de petites graines, les réserves peuvent autoriser la croissance de l'embryon grâce à une activité catabolique en lui fournissant l'énergie accumulée dans les cotylédons ou l'albumen (Heller *et al.*, 1990) .

Lors du catabolisme, il y a utilisation des réserves (Müntz *et al.*, 2001).

a. Le catabolisme glucidique

Il est alimenté par l'amidon et le saccharose. On a formation d'une forme glucidique de transport (Müntz *et al.*, 2001).

L'amidon est dégradé selon le schéma suivant :



b. Le catabolisme lipidique

Il concerne la dégradation des lipides en triglycérides par des glyoxysomes. Ces dernières sont des types de peroxyosome dans lequel se déroule le cycle du glyoxylate permettant la

transformation des lipides stockés dans cette graine en saccharose pour alimenter l'embryon lors de la germination (Fincher, 1989).

La dégradation des triglycérides conduit à la formation de glycérol et d'acides gras.

c. Le catabolisme protéique

Il est alimenté par les protéines de réserves qui sont de différents types : albumine, globuline, glutéline, etc.

La plupart du temps, ces réserves sont dans des inclusions cytoplasmiques, leur activation se fait lors de l'imbibition :

- Libération d'acides aminés simples ou deux ou trois peptides. - 80 % des transports d'acides aminés du site de dégradation vers l'embryon se font avec la glutamine et l'asparagine.

La dégradation des protéines de réserve entraîne la libération d'acides aminés transportés dans l'axe embryonnaire.

Les catabolismes conduisent à la production d'énergie et de pouvoir réducteur (Fincher, 1989). Les intermédiaires produits lors de la glycolyse et du cycle de Krebs servent de substrats pour de nombreuses voies de biosynthèse : synthèse d'acides aminés, de lipides, acides nucléiques, de constituants de la paroi, etc.

5. Entrée et sortie de la vie latente et notion de dormance

5.1. Entrée en vie latente

Elle peut résulter d'un déterminisme interne ou de l'insuffisance de facteurs externes comme la température excessive ou le déficit hydrique, mais il faut noter que la vie latente n'est pas un simple ralentissement des activités, mais un véritable changement d'état qui implique de profondes transformations morphologiques et physiologiques (Heller *et al.*, 2004).

5.2. Sortie de la vie latente

Pour le retour à la vie active, il faut en tout état de cause que les conditions extérieures soient favorables à cette reprise (Heller *et al.*, 2004), ce qui signifie :

- que les diverses composantes du milieu aient des valeurs appropriées ; par exemple que la température, l'humidité et l'aération soient convenables.

- qu'il n'y ait pas de facteurs défavorables, autrement dit pas d'inhibiteurs extérieurs.

5.3. Notion de dormance

Il s'avère que les conditions citées ci-dessus ne sont pas toujours suffisantes. Souvent, l'organisme en vie latente est insensible aux conditions extérieures favorables : il est alors en état de dormance, et le retour à la vie active ne peut se faire qu'après une transformation interne préalable, qui lui restitue cette sensibilité qu'on nomme levée de dormance (Esnault *et al.*, 1995). La dormance est donc une inaptitude interne au retour à la vie active.

5.3.1. Définition de la dormance

Après avoir atteint sa maturité morphologique, la graine se trouve dans un état de vie ralentie ; pour son retour à la vie active, il est nécessaire que les conditions extérieures soient favorables et qu'elle ait atteint sa maturité physiologique. Dans de nombreux cas il n'y a pas de dormance, la maturité morphologique et la maturité physiologique sont atteintes en même temps. Au contraire si la maturité physiologique est atteinte plus tard les graines sont définies comme "dormantes".

La dormance est donc l'état physiologique dans lequel se trouve une graine ou un embryon qui, placés en conditions favorables à la germination, sont incapables de germer (Côme, 1970).

La dormance est un état physiologique durant lequel les fonctions biologiques d'une plante sont stoppées (Heller *et al.*, 2004). C'est un repos apparent de l'activité de croissance d'un organisme ou d'une partie d'un organisme. Le processus est régulé par les hormones végétales et en particulier par l'acide abscissique (Esnault *et al.*, 1995). La dormance peut concerner la graine ou les bourgeons.

5.3.2. Différentes types de dormance

De nombreux auteurs ont défini les types de dormances (Côme, 1970 ; Côme et Corbineau, 1992 ; Baskin et Baskin, 1998). Il peut y avoir :

- une dormance imposée par des conditions de milieu défavorables, par exemple la sécheresse, le froid, etc.
- une dormance physiologique due à des conditions internes défavorables, physiologiques ou autres. Celles-ci intervenant :

- soit à l'extérieur de la plante, mais en dehors de l'organe en dormance (inhibition corrélée),
- soit à l'intérieur de l'organisme lui-même (repos ou dormance hivernale).

Le classement de Nikolaeva (1969) détermine deux grands groupes selon leur intensité de dormance : depuis la dormance superficielle qui peut être facilement interrompue jusqu'à une dormance profonde qui est généralement de longue durée. Dans le premier groupe seulement quelques structures (endocarpe ligneux, tégument séminal, endosperme, etc.) qui l'entourent empêchent la germination. Tandis que dans le second groupe l'embryon est habituellement impliqué.

6. Dormance des semences

Il peut s'agir ici de dormances tégumentaires, dues aux enveloppes séminales, ou de dormances embryonnaires, qui résultent d'une inaptitude de l'embryon à germer. On reconnaît ces dernières à ce qu'elles subsistent même si les téguments sont enlevés (embryons cultivés *in vitro*) (Heller *et al.*, 2004).

6.1. Dormance tégumentaire

6.1.1. Facteurs de la dormance tégumentaire

Lorsque la cause de non germination ne réside que dans les téguments, on parle d'inhibition tégumentaire (Côme, 1970). Les inhibiteurs tégumentaires sont principalement constitués de substances aromatiques ou de mélanges phénoliques (ex. : Apiaceae). Souvent les téguments mêmes peuvent constituer un facteur d'inhibition de la germination en empêchant l'imbibition et les échanges gazeux (ex. : Fabaceae) ou en empêchant la sortie de la radicule (ex. : *Prunus sp.*). Les facteurs qui entrent en jeu sont variés et peuvent intervenir simultanément :

a. Imperméabilité à l'eau

C'est le cas de nombreuses légumineuses.

b. Limitation de l'entrée de l'oxygène

Cela est dû au fait que les téguments sont coriaces et peu perméables à l'oxygène. On peut stimuler la germination en décortiquant la graine ou en augmentant la pression partielle d'oxygène.

c. Résistance mécanique

Les téguments, trop durs, empêchent l'expansion de l'embryon et la saillie de plantule.

d. Inhibiteurs chimiques

Les enveloppes (téguments de la graine ou péricarpe) contiennent très fréquemment des inhibiteurs de germination ou de croissance. Parmi les plus courants, on peut citer :

- des inhibiteurs volatiles, l'acide cyanhydrique, l'ammoniac, l'éthylène, divers dérivé soufrés,
- des aldéhydes et acides organiques,
- l'acide abscissique qui est une hormone végétale synthétisée dans les bourgeons de la plante d'une manière générale, il ralentit les mécanismes biologiques du végétal, contrairement aux autres phytohormones. Il inhibe aussi les divisions cellulaires (mitoses) et provoque l'apparition d'écaillés sur les bourgeons à l'approche de l'hiver. L'acide abscissique prépare en fait, la plante, au passage de la mauvaise saison. On pense aussi qu'il est en partie responsable de l'abscission des feuilles à l'automne et de l'entrée en dormance des graines (Heller *et al.*, 2004).
- la coumarine et autres lactones,
- l'acide caféique et acide férulique,
- les phénols qui sont présents dans les téguments des graines et qui en s'oxydant, piègent l'oxygène qui ne peut plus parvenir à l'embryon (Chaussat et Ledebur, 1975).

6.2. Dormance embryonnaire

Une dormance embryonnaire a par définition son origine dans l'embryon lui-même (Heller *et al.*, 2004), c'est-à-dire qu'elle n'est pas levée par un traitement sur les enveloppes et qu'elle se manifeste même si l'embryon est isolé. On distingue deux sortes de dormance embryonnaire : primaire et secondaire.

6.2.1. Dormance primaire

Elle s'installe lors de la maturation de la graine et empêche la sortie de la radicule. A cet égard, on peut citer :

- ✓ Les dormances photolabiles qui sont levées par la lumière,
- ✓ Les dormances scotolabiles qui sont levées par l'obscurité,
- ✓ Les dormances xérolabiles se lèvent par séjour prolongé en atmosphère sèche : en effet, la post maturation au sec, en diminuant la teneur en eau de l'embryon, a pu abaisser son potentiel hydrique et augmente son aptitude à la réhydratation. Mais l'essentiel de l'effet du traitement est l'élimination d'inhibiteurs volatils.
- ✓ Les dormances psychrolabiles sont par contre levées par le froid humide (Heller *et al.*, 1990). Elles se rencontrent chez de très nombreuses espèces comme les rosacées, les céréales, les arbres feuillus, les conifères. En effet, le froid humide de la fin de l'automne ou du début de l'hiver, et son homologue artificiel, la stratification, ont pour premier effet de lever une éventuelle inhibition tégumentaire qui peut être le facteur principal de la dormance.

6.2.2. Dormance secondaire ou induite

La levée de dormance permet en général de poursuivre la germination sans autre encombre, mais il n'en est pas toujours ainsi car il peut persister ou s'installer une dormance secondaire, qui nécessitera une nouvelle levée de dormance.

Ainsi, il subsiste parfois une dormance de l'épicotyle (ou de la gemmule) qui n'est pas levée avec celle de la radicule et qui ne peut même pas être levée tant que la radicule ne s'est pas suffisamment développée (Esnault *et al.*, 1995). Il faut alors parfois deux hivers successifs, le premier, pour lever la dormance de la radicule, puis, après une période plus chaude permettant le développement de la radicule, un deuxième hiver pour lever la dormance secondaire.

La dormance secondaire peut aussi être induite par des conditions défavorables lors de la germination qui ont provoqué la synthèse d'inhibiteurs tégumentaires qui doivent être éliminés à savoir :

- une température trop élevée ou froid excessif,
- un éclaircissement défavorable provoquant une deuxième dormance qui ne sera levée que par une stratification ou un lessivage des téguments,
- un excès du dioxyde de carbone (Co₂) qui va créer une dormance induite psychrolabile.

Elle peut être levée par action du froid ou alternance de températures tiède et froide. Pendant que les graines à l'état dormant sont enfouies dans le sol humide, leur respiration est extrêmement faible et la consommation de leurs réserves est très petite (Grisverd *et al.*, 1964).

7. Effet du stress salin sur la germination

D'une façon plus générale, on peut dire qu'au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie.

Les organismes sont généralement soumis à deux types de stress : les stress biotiques (dus à une agression par un autre organisme) et les stress abiotiques (qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux) (Levitt, 1980 ; Zhu, 2002 ; Roeder, 2006).

Pour la plupart des plantes agricoles, la sensibilité à l'excès du sel est communément (mais pas exclusivement) due à l'abondance de sodium (Na^+) dans le sol. Ce dernier en excès est toxique aux plantes indépendamment d'anion compagnon (Ashraf, 1994 ; Munns *et al.*, 2006) .

Les plantes qui sont capables de compléter leurs cycles de vie dans les environnements salins et qui montrent ou non une réduction de la croissance à fortes concentrations en sodium (Na^+) dépassant les 200 mM, ce sont des " halophytes". Par contraste, "les glycophytes" montrent une croissance dramatiquement réduite (Flowers, 2004). Pour les glycophytes qui se développent dans les environnements salins, le stress par les ions sodium (Na^+) peut affecter plusieurs processus physiologiques, de la germination de la graine au développement de la plante.

Les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

- Le stress hydrique : une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique.
- Le stress ionique : en dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique.

- Le stress nutritionnel : des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale. En particulier, vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires, le Sodium entre en compétition avec le Potassium et le Calcium, les chlorures avec le nitrate, le phosphate et le sulfate (Levigneron *et al.*, 1995).

Dans les zones arides et surtout au niveau des formations halomorphes (Sebkha, Chott, littoral ...), la forte charge saline des eaux et des sols due en majeure partie à une forte évaporation ainsi qu'aux faibles précipitations et drainage, présente une contrainte pour le développement de la plupart des espèces végétales (les glycophytes). Ainsi, au niveau de ces zones, le peuplement végétal est formé essentiellement par des espèces capables d'accomplir leur cycle de vie dans des conditions extrêmement contraignantes (les halophytes).

Compte tenu de l'importance de la phase germinative des semences dans le déroulement des stades ultérieurs du développement de toute espèce végétale notamment en zone aride, il s'avère indispensable de connaître le comportement germinatif et d'évaluer la tolérance des espèces en phase germinative.

8. Effet du stress hydrique sur la germination

En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placée dans le sol, elle n'évolue pas, retardant ainsi la levée de la culture et en cas de persistance de sécheresse la situation peut se traduire par une absence de levée. La sécheresse est l'un des principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces et réduit leur survie au cours des stades précoces de développement (Feliachi *et al.*, 2001).

Au cours de cette phase, c'est le métabolisme des carbohydrates qui se trouve fortement affecté, à travers la perturbation du fonctionnement enzymatique impliqué dans ce processus. Il a été démontré que le glyceraldéhyde-3-déshydrogénase cytotogiques est fortement induite par le déficit hydrique ce qui est à l'origine d'un changement de l'acuité de la glycolyse (Velasco *et al.*, 1994).

De nombreux gènes contrôlant le métabolisme des sucres simples sont régulés en amont par les variations de l'hydratation cellulaire. Quoique l'hydrolyse de l'amidon et la libération des sucres réducteurs énergétiques constituent une étape incontournable dans le déroulement de la germination, mais indirectement la disponibilité des carbohydrates pendant cette phase assure un rôle de protection contre le déficit hydrique. Ils constituent les principaux osmolytes

impliqués dans l'ajustement osmotique, assurent une protection des macromolécules essentiellement membranaires (Bray et Ziegler, 1989).

Partie expérimentale

Chapitre I :

Présentation des

sites d'étude

Les touffes d'alfa sur lesquelles a été menée notre étude, caractérisent quatre habitats (stations) différents :

- djebel de Tessala (monts de Tessala, commune de Tessala, wilaya de Sid Bel Abbès),
- forêt de Messer (commune de Tenira, wilaya de Sidi Bel Abbès),
- steppe de Ras El Ma (daira de Ras El Ma, wilaya de Sidi Bel Abbès),
- littoral de Béni-Saf (daira de Beni-Saf, wilaya d'Ain témouchent)

La position géographique de chacun des sites sus-indiqués est notée. Le substrat sur lequel évolue l'alfa ainsi que son cortège floristique sont caractérisés, de même de l'ambiance climatique.

I. Djebel de Tessala

I.1. Position géographique

Localisés à 15 km au nord-ouest de la ville de Sidi Bel Abbés (Algérie occidentale), les monts de Tessala auxquels fait partie djebel Tessala présentent un secteur de grande diversité biologique. Limités au Nord par la plaine de la Mleta et la Sebkha d'Oran, à l'Est par les monts de Beni chougrane, à l'Ouest par les monts de Sebaa Chioukh et au Sud par la plaine de Sidi Bel Abbés. Ces monts se prolongent entre trois communes « Tessala, Ain Trid et Sehalah ».

I.2. Caractéristiques pédologiques du lieu d'étude

Les analyses pédologiques effectuées sur les échantillons de sol prélevés de la station de Tessala où l'alfa est présent, sont inscrits sur le tableau 3.

Tableau 3 : Résultats des analyses pédologiques (station de Tessala).

Station de Tessala	
Localisation	35°16'320"N, 000°45'730"W
Altitude (m)	787
Pente en %	03-12
Analyse physico-chimique	
Couleur	Noirâtre
Structure	Grumeleuse
Humidité (%)	29,1
Sables (%)	50
Limons (%)	40
Argiles (%)	10
Texture	Equilibrée
pH	8,61
Conductivité électrique mS/cm	0,10
Calcaire total (%)	28
Calcaire actif (%)	6,82
Matière organique (%)	7,06

L'échantillon analysé présente une texture équilibrée, une structure grumeleuse et une couleur noirâtre, le taux d'humidité est élevé (29,1 %), le sol de la station est fortement calcaire avec un pourcentage de 28 %, celui du calcaire actif est de 6,82 %. Avec un pourcentage de matière organique supérieur à 4, le sol est riche en matière organique (7,06 %).

Le pH du sol est alcalin, il est de l'ordre de 8,61 et la conductivité électrique est de 0,10 mS/cm, donc le sol appartient à la catégorie des sols non salés.

1.3. Caractéristiques floristiques

Après la confection des relevés floristiques, il en ressort que la station de Tessala présente la plus grande richesse spécifique comparée aux autres stations étudiées (tab. Annexe). L'inventaire a permis de recenser 22 espèces accompagnant l'alfa, réparties sur 14 familles différentes. Le classement des espèces par types biologiques a été effectué sur la totalité des espèces selon les travaux de Raunkiaer (1934) et a fait ressortir 5 types biologiques.

La catégorisation des espèces végétales rencontrées selon leurs types morphologiques a fait ressortir 3 types morphologiques (tab. 4).

Tableau 4 : Nombre d'espèces par familles, types biologiques et morphologiques.

	Familles	Nombre	%
1	Asparagaceae	1	4,54
2	Asteraceae	5	22,72
3	Brassicaceae	1	4,54
4	Fabaceae	1	4,54
5	Illecebraceae	1	4,54
6	Liliaceae	2	9,09
7	Malvaceae	1	4,54
8	Oleaceae	1	4,54
9	Poaceae	2	9,09
10	Primulaceae	2	9,09
11	Resedaceae	1	4,54
12	Rhamnaceae	1	4,54
13	Rutaceae	2	9,09
14	Thymelaeaceae	1	4,54
Totaux	14	22	100
	Types biologiques	Nombre	%
	Phanérophytes (Ph)	3	13,63
	Chamaephytes (Ch)	4	18,18
	Hémicryptophytes (He)	6	27,27
	Thérophytes (Th)	5	22,72
	Géophytes (Ge)	4	18,18
	Totaux	22	100
	Types morphologiques	Nombre	%
	Herbacées vivaces (H.V)	9	40,9
	Herbacées annuelles (H.A)	9	40,9
	Ligneuses vivaces (L.V)	4	18,18
	Totaux	22	100

L'analyse du tableau 4 fait ressortir les résultats suivants :

- la famille des Asteraceae est la mieux représentée avec un pourcentage de 22,72 %,
- ensuite viennent les familles suivantes : les Liliaceae, Poaceae, Primulaceae, Rutaceae avec un pourcentage de 9,09 % chacune,
- en dernier lieu, les neuf familles restantes avec un pourcentage de 4,54 chacune,

- la répartition des types biologiques pour les espèces recensées dans les stations d'échantillonnages suit le schéma suivant : $He > Th > Ch \geq Ge > Ph$.
- les herbacées vivaces et annuelles dominent avec 9 espèces soit un pourcentage de 40,90 % chacune,
- Les ligneuses vivaces sont au nombre de 4 avec un pourcentage de 18,18 %.

Les espèces les plus abondantes et qui se développent à proximité de notre espèce sont : *Ruta montana* L.; *Calycotome spinosa* L.; *Calendula arvensis* L. entre autres (tableau Annex 1).

I.4. Présentation du climat

La région de Tessala est caractérisée par un climat de type méditerranéen défini par :

- une concentration de pluies pendant la période froide (automne et hiver),
- une sécheresse apparente pendant les mois les plus chauds (été).

La récolte des données climatiques et la vérification de leur authenticité et leur fiabilité restent des opérations délicates et difficiles à vérifier. Pour cela, nous avons utilisé les anciennes données ainsi que les données récentes. La comparaison entre l'ancienne période (1913-1938) (Seltzer, 1946) et la nouvelle période (1980-2009) (O.N.M, 2010) permet de en évidence l'évolution du climat de la zone d'étude.

- **Correction des données de la pluviométrie et de la température**

Les données climatiques de la station de Tessala demeurent incomplètes. Afin de définir le climat de la région de Tessala, on s'est référé aux données disponibles de la région de Sidi Bel Abbés en réalisant certaines corrections par rapport à l'altitude, en ce qui concerne la pluviométrie et les températures.

- L'augmentation des précipitations est estimée à 30 mm pour 100 m d'altitude.
- La diminution de la température (M) est estimée à 0,7 °C pour 100 m d'altitude.
- La diminution de la température (m) est estimée à 0,4 °C pour 100 m d'altitude.

La différence d'altitude entre la zone d'étude (787 m) et la station de Sidi Bel Abbés (486 m) est de 239 m, et qui fera une différence de :

- $239 \times 0,6/100 = 1,43$ °C pour M (moyenne mensuelle de tous les maxima),
- $239 \times 0,4/100 = 0,95$ °C pour m (moyenne mensuelle de tous les minima),
- $239 \times 3/100 = 7,17$ mm pour les précipitations.

Ainsi toutes valeurs de précipitations et de températures seront rectifiées.

I.4.1. Précipitations

Sur 25 ans d'observation, à une altitude de 585 m, il a été enregistré selon Seltzer (1946) entre 1913 et 1938 un total de précipitations moyennes mensuelles de 581 mm. L'intensité des précipitations a fortement diminué ces dernier temps, de 1980 à 2009, il a été enregistré un total de 335,5 mm (tab. 5).

Tableau 5 : Précipitations mensuelles moyennes (en mm) de la commune de Tessala.

<i>Mois</i>	<i>Jan.</i>	<i>Févr.</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil.</i>	<i>Aout</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>	<i>Total</i>
Seltzer (1946)	83	82	63	51	42	12	1	3	16	46	88	94	581
1980/2009	40,7	29,8	47,5	37,9	21,6	3,8	1	1,5	25,4	48,5	45,6	52,3	335,5

Source : O.N.M (2010)

La moyenne des précipitations annuelles enregistrées depuis 1980 à 2009 est de 355,5 mm. On enregistre le minimum de 129,5 mm en 1983 et le maximum de 477,1 mm en 1996.

I.4.2. Températures

Les températures moyennes minimales et maximales enregistrées durant la période de 1980-2009 (tab. 6), montrent des maxima respectifs de 35,9 °C au mois de Juillet et 35,5 °C au mois d'Aout et des minimas respectifs de 2,5 °C au mois de Janvier et 3,3 °C au mois de Décembre.

Quant aux températures moyennes mensuelles données par la formule $(M+m/2)$, elles évoluent dans le même sens avec un maximum en Juillet, soit 26,6 °C et un minimum en Janvier avec 9,1 °C.

Tableau 6 : Températures moyennes mensuelles (en °C) (1980-2009).

<i>Mois</i>	<i>Jan</i>	<i>Févr.</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil.</i>	<i>Aout</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>
M+m /2	9,1	10,1	12,1	13,8	18	22,8	26,6	26,5	22,8	18,4	12,8	9,6

Source : O.N.M (2010)

I.4.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Une combinaison des données pluviométriques et des températures est très intéressante pour caractériser l'influence du climat sur la région dans la mesure où le diagramme ombrothermique est conçu de façon que les courbes se croisent au début et à la fin de la saison sèche. La surface comprise entre les deux courbes indique la sévérité de la sécheresse, la partie de la courbe située au-dessous de cette limite correspond à la saison humide.

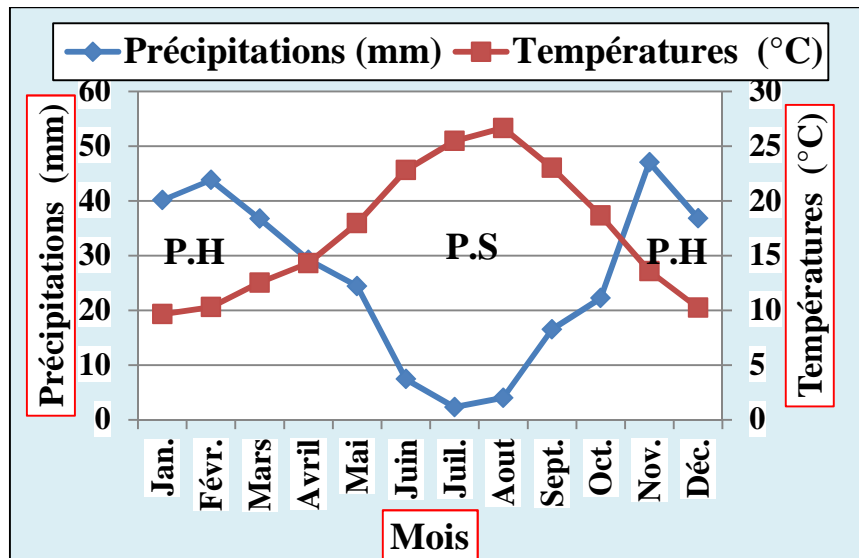


Figure 12 : Diagramme ombrothermique (P=2T) de la station de Tessala de la période (1980-2009).

P.H : Période humide ; **P.S :** Période sèche.

L'établissement du diagramme ombrothermique de la période 1980-2009 (fig. 12), fait ressortir les caractéristiques suivantes :

- une période froide nettement rétrécie, s'étalant sur une période d'environ cinq mois,
- une importante période sèche s'étendant sur une période allant de la mi-Avril jusqu'à la dernière semaine d'Octobre.

I.4.4. Indice d'aridité de De Martonne

. Il est calculé par la formule suivante :

$$I = P \text{ (mm)} / T \text{ (°C)} + 10$$

Où :

- P : désigne les précipitations annuelles (mm),
- T : les températures moyennes annuelles (°C).

Donc : $I = 335,5 / (16,8 + 10) = 13,26$.

L'indice d'aridité de la région est de 13,26, ce qui inscrit la station de Tessala dans un climat semi-aride.

I.4.5. Quotient pluviométrique d'Emberger

Il est calculé par la formule suivante :

$$Q_2 = [1000P] / [1/2(M+m) (M-m)]$$

Expression dans laquelle :

- P : précipitation moyenne annuelle (en mm),
- M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (en ° kelvin),
- m : moyenne des minima du mois le plus froid (en ° kelvin).

Chaque station est placée sur un graphe à deux axes perpendiculaires, en abscisse sont portées les valeurs de « m » en degré Celsius et en ordonnées les valeurs de Q_2 .

Reposant sur une synthèse climatique sur une période de 30 ans (1980-2009), durée nécessaire et suffisante pour une caractérisation fiable du climat, l'utilisation du quotient pluviométrique d'Emberger ($Q_2 = 37,06$), dont l'application est propre aux régions méditerranéennes, a permis de classer la commune de Tessala dans l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver frais (fig. 16).

II. Forêt de Messer

II.1. Position géographique

Située au sud de la ville de Sidi Bel Abbès à une distance de 10Km, la forêt de Messer est délimitée par la forêt de Ténira au sud, la forêt de Khamessiss au nord et des terres agricoles à l'est et l'ouest. La forêt de Messer fait partie de la commune d'El Amarnas, où le chef-lieu de la commune est implanté au village Bellouladi, traversée par deux axes routiers : la route nationale N°19 et le chemin wilaya N°4, elle est rattachée administrativement à la daïra de Sidi Lahcen, wilaya de Sidi Bel Abbès (Conservation des forêts de Sidi Bel Abbès, 2010).

II.2. Caractéristiques pédologiques du lieu d'étude

Les résultats pédologiques sur l'échantillon de sol de la station de Ténira (Forêt de Messer), sont inscrits dans le tableau 7.

Tableau 7 : Résultats des analyses pédologiques (forêt de Messer).

Forêt de Messer	
Localisation	35°05'007"N, 000°35'902"W
Altitude (m)	629
Pente en %	0-3
Analyse physico-chimique	
Couleur	Brun foncé
Structure	Grumeleuse
Humidité (%)	22,25
Sables (%)	40
Limons (%)	45
Argiles (%)	15
Texture	Equilibrée
pH	8,60
Conductivité électrique mS/cm	0,05
Calcaire total (%)	2
Calcaire actif (%)	2,88
Matière organique (%)	5,22

L'échantillon analysé présente une texture équilibrée, une structure grumeleuse et une couleur noirâtre, le taux d'humidité est élevé avec un pourcentage de 22,25, le sol de la station est faiblement calcaire avec un pourcentage de 2 % pour le calcaire total, la fraction du calcaire actif est de 2,88 %. Concernant la matière organique, le sol de la station en est riche avec un pourcentage de 5,22 %. Le pH du sol est alcalin, il est de l'ordre de 8,60 et la conductivité

électrique est de 0,05 mS/cm, ce qui nous indique que nous sommes en présence de sol non salé ($C.E < 0,6mS/cm$).

II.3. Caractéristiques floristiques

L'inventaire floristique réalisé au niveau de cette station a permis de recenser 12 espèces réparties sur 9 familles différentes, le classement des espèces par types biologiques a été effectué sur la totalité des espèces et a fait ressortir 5 types biologiques.

La catégorisation des espèces végétales rencontrées selon leurs types morphologiques a fait ressortir 3 types morphologiques (tab. 8).

Tableau 8 : Nombre d'espèces par familles, types biologiques et morphologiques.

	Familles	Nombre	%
1	Anacardiaceae	1	8,33
2	Asteraceae	1	8,33
3	Cistaceae	1	8,33
4	Fagaceae	1	8,33
5	Lamiaceae	1	8,33
6	Oleaceae	1	8,33
7	Pinaceae	1	8,33
8	Plantaginaceae	1	8,33
9	Poaceae	4	33,33
Totaux	9	12	100
	Types biologiques	Nombre	%
	Phanérophytes (Ph)	6	50
	Chamaephytes (Ch)	1	8,33
	Hémicryptophytes (He)	1	8,33
	Thérophytes (Th)	3	25
	Géophytes (Ge)	1	8,33
	Totaux	12	100
	Types morphologiques	Nombre	%
	Herbacées vivaces (H.V)	2	16,66
	Herbacées annuelles (H.A)	3	25
	Ligneuses vivaces (L.V)	7	58,33
	Totaux	22	100

L'analyse du tableau 8 fait ressortir les résultats suivants :

- la famille des Poaceae est la plus représentée avec notamment 4 espèces et un pourcentage de 33,33 %.
- viennent après les huit autres familles avec une seule espèce et un pourcentage de 8,33 %.
- la répartition des types biologiques pour les espèces recensées suit le schéma suivant : $Ph > Th > Ch \geq He \geq Ge$.
- les ligneuses vivaces sont les plus représentées avec 7 espèces et un pourcentage de 58,33 %,
- viennent après les herbacées annuelles avec 3 espèces et un pourcentage de 25 %, ensuite les herbacées vivaces avec deux espèces seulement et un pourcentage de 16,66 %.

Les espèces les plus abondantes et les plus présentes à proximité de notre espèce sont : *Avena sterilis* L.; *Bromus rubens* L.; *Pinus halepensis* Mill; *Rosmarinus officinalis* L. entre autres (tab. Annexe 1).

II.4. Présentation du climat

En l'absence de station météorologique au niveau de la commune d'El Amarnas, il a été procédé à la prospection de la station la plus proche et la plus représentative des conditions climatiques du périmètre. La station choisie est celle de Sidi Bel Abbés située dans un rayon de 10 km à vol d'oiseau au nord de la commune, et qui offre le maximum de données climatiques. La période d'observation est de 29 ans, elle s'étale de 1980 à 2009.

La station de Sidi Bel Abbés se situe à 486 m d'altitude, et la forêt de Messer à 629 m d'altitude. La différence d'altitude entre la station de Sidi Bel Abbés et la forêt de Messer est de $629-486=143$ m. Ainsi toutes les données concernant la température et les précipitations seront rectifiées selon les coefficients de corrections (x, y, z) suivants :

- les précipitations :
$$\begin{array}{l} 100 \text{ m} \longrightarrow 30\text{m} \\ 143\text{m} \longrightarrow x \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} 100 \text{ m} \\ 143\text{m} \end{array}} \right\} x = 57,2 \text{ mm}$$
- les températures : pour le maxima : $143 \times 0,7/100=1,001^\circ\text{C}$. $y=1,001^\circ\text{C}$.
pour le minima : $143 \times 0,4/100=0,57^\circ\text{C}$. $x=0,57^\circ\text{C}$.

II.4.1. Précipitations

Le tableau qui suit nous renseigne sur les précipitations moyennes mensuelles de la période (1980 à 2009).

Tableau 9 : Moyennes des précipitations mensuelles de 1997 à 2006 en mm.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Précipitations	62,5	49,7	40,5	40,05	38,6	8,8	4,5	5,31	32	34,5	75,8	47,1

D'après le tableau 9 nous pouvons facilement faire ressortir les mois les plus pluvieux, qui sont : Janvier et Novembre avec respectivement 62.5 et 75.8 mm.

II.4.2. Températures

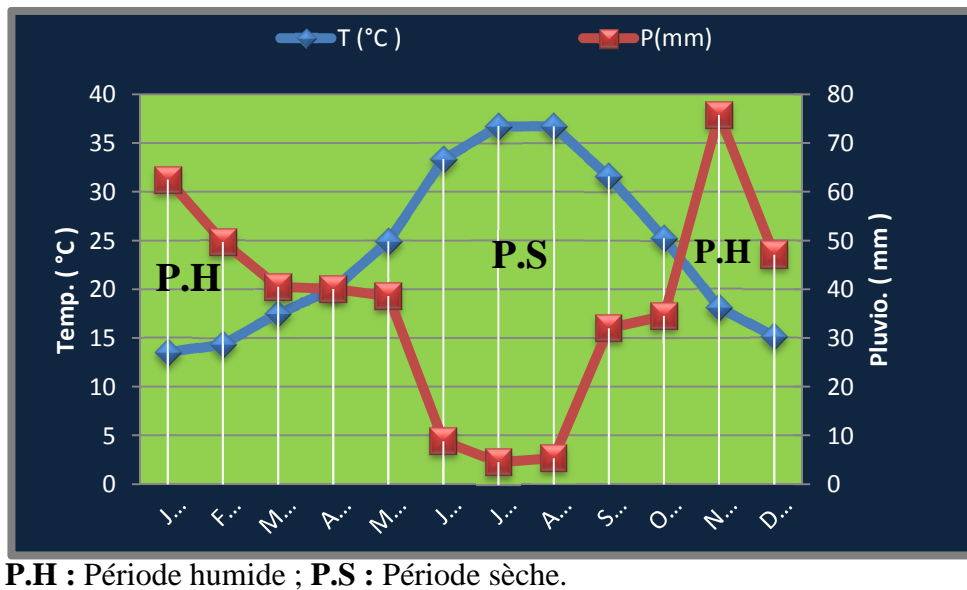
La moyenne des températures enregistrées durant la période (1980-2009) pour la forêt de Messer correspond à 13.5°C au mois de janvier puis augmente progressivement durant les mois de Février, Mars, Avril et Mai pour atteindre après des seuils très élevés en juin, juillet et en Aout où elle atteint 36.7°C. Ensuite, du mois de septembre jusqu'en décembre on va enregistrer une régression des températures où la moyenne va atteindre son minimum qui est de 15.15°C (tab. 10).

Tableau 10 : Moyennes des températures mensuelles durant la période 1997-2006.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Températures	13,52	14,39	17,49	20	24,91	33,35	36,74	36,7	31,6	25,25	18,1	15,1

II.4.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Pour la forêt de Messer, la durée de la période sèche est de 6 mois environ durant la période de 1997 à 2006 (fig. 13).



P.H : Période humide ; P.S : Période sèche.

Figure 13 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS ET GAUSSEN de la forêt de Messer pour la période 1980-2009.

II.4.4. Indice d'aridité de De Martonne

L'indice d'aridité de la région qui est de l'ordre de **12,95**, inscrit la station de la forêt de Messer dans un climat semi-aride.

II.4.5. Quotient pluviométrique

Reposant sur une synthèse climatique sur une période de 29 ans (1980-2009), durée nécessaire et suffisante pour une caractérisation fiable du climat, avec P (Précipitations annuelles) de 439,36 mm, une moyenne des maxima du mois le plus chaud de 38,49 °C (M), et une moyenne des minima du mois le plus froid de 2,3°C (m), l'utilisation du quotient pluviométrique d'Emberger ($Q_2 = 32,31$), dont l'application est propre aux régions méditerranéennes, a permis de classer la station de Ténira (forêt de Messer) dans l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver frais (fig. 16).

III. Zone de Ras El Ma

III.1. Position géographique

La zone retenue dans le cadre de notre étude se place dans le contexte géographique des hautes plaines steppiques du Sud Oranais. Elle est située dans la partie occidentale de l'Algérie. Elle est encadrée au Nord par les monts de Tlemcen et au Sud par les monts d'El Aricha, elle est caractérisée par un relief plus au moins plat avec un terrain à faible pente 1%

et 2%). Elle s'allonge au Nord avec une latitude de 34°56' Nord et au Sud avec une longitude 00°47' Ouest.

III.2. Caractéristiques pédologiques

Les résultats pédologiques obtenus sur l'échantillon de sol de la station de Ras El Ma, sont enregistrés dans le tableau 11.

Tableau 11 : Résultats des analyses pédologiques (station de Ras El Ma).

Station de Ras El Ma	
Localisation	34°31'538"N, 000°54'882"W
Altitude (m)	1113
Pente en %	0-3
Analyse physico-chimique	
Couleur	Jaunâtre
Structure	Polyédrique
Humidité (%)	9,11
Sables (%)	50
Limons (%)	35
Argiles (%)	15
Texture	Sablo-limoneuse
pH	8,65
Conductivité électrique mS/cm	0,08
Calcaire total (%)	12
Calcaire actif (%)	5
Matière organique (%)	1,24

L'échantillon analysé présente une texture sablo-limoneuse, une structure polyédrique et une couleur jaunâtre, le taux d'humidité n'est pas très élevé (9,11 %), le sol est modérément calcaire avec un pourcentage de calcaire total de 12 %, le calcaire actif est de 5 %. Pour la

matière organique, le site présente un pourcentage très réduit de 1,24 %, donc le sol est faiblement riche en matière organique.

Le pH de la station est alcalin, il est de l'ordre de 8,65 et la conductivité électrique est de 0,08 mS/cm, ce qui place le sol dans la catégorie des sols non salés (C.E < 0,6mS/cm).

III.3. Caractéristiques floristiques

Nos inventaires floristiques ont été réalisés durant l'année 2010-2011 qui s'est révélée une année exceptionnelle caractérisée par un déficit hydrique très prononcé. Peu d'espèces ont été relevées dans notre site d'étude, ceci est dû à la faible remontée biologique des espèces, notamment des thérophytes. Pour cette raison et afin de caractériser le cortège floristique de l'alfa dans la station de Ras-El Ma, nous nous sommes référés aux inventaires réalisés dans le même site durant les années précédentes où les conditions climatiques étaient favorables, en l'occurrence aux travaux réalisés par Bendjafar (2009) (tab. 12).

Tableau 12 : Nombre d'espèces par familles, types biologiques et morphologiques (Bendjafar, 2009).

	Familles	Nombre	%
1	Boraginaceae	2	5,4
2	Caryophyllaceae	5	13,51
3	Compositae	6	16,21
4	Convulvulaceae	1	2,7
5	Cruciferaeae	2	5,4
6	Euphorbiaceae	1	2,7
7	Geraniaceae	1	2,7
8	Labiaceae	1	2,7
9	Lamiaceae	2	5,4
10	Leguminoseae	3	8,1
11	Malvaceae	1	2,7
12	Papaveraceae	1	2,7
13	Plantaginaceae	2	5,4
14	Poaceae	6	16,21
15	Resedaceae	1	2,7
16	Rubiaceae	1	2,7
17	Scrofulariaceae	1	2,7
Totaux	17	37	100
	Types biologiques	Nombre	%
	Chamaephytes (Ch)	6	16,21
	Hémicryptophytes (He)	4	10,81
	Thérophytes (Th)	27	72,97
	Totaux	12	100
	Types morphologiques	Nombre	%
	Herbacées vivaces (H.V)	9	21,62
	Herbacées annuelles (H.A)	25	70,27
	Ligneuses vivaces (L.V)	3	8,1
	Totaux	22	100

L'inventaire floristique réalisé par l'auteur suscité a permis de faire ressortir 37 espèces de 17 familles différentes, 3 types biologiques et 3 types morphologiques (Tab. 12).

Les espèces recensées sont les suivantes :

Stipa tenassicima ; *Herniaria hirsuta* ; *Minuartia hamata* ; *Minuartia montana* ; *Lavendula dentata* ; *Bufonia mauritanic* ; *Plantago psyllum* ; *Euphorbia falcata* ; *Poa bulbosa* ;

Paronichia argentea ; Plantago albicans ; Ziziphora hispanica ; Alyssum scutigerum ; Bromus rubens ; Malva aegyptiaca ; Catananacha lutea ; Echinaria capitata ; Erodium cucitarium ; Salvia algeriensis ; Artemisia herba alba ; Evax pygmea ; Vicia sativa ; Rubia leavis ; Centaurea tenuifolia ; Astragalus caprinus ; Reseda alba ; Aristidia sachelica ; Nonnea vesicaria ; Linaria elatinoïdes ; Bellis annua ; Hyppochrepis unisilliquosa ; Echium italicum ; Koeleria vallesiana ; Papaver malviflorum ; Rhanthus rhanthus ; Trifolium tomentosum ; convolvulus valentinus.

III.4. Présentation du climat

III.4.1. Précipitations

Pour caractériser le climat de la zone d'étude, les paramètres précipitations et températures moyennes annuelles de la région d'une période allant de 1970 à 2005 ont été pris en considération.

L'exploitation des données consignées dans le tableau 13, nous indiquent qu'il y a une variation de la moyenne des précipitations mensuelles d'un mois à l'autre.

Tableau 13 : Précipitations moyennes mensuelles (en mm) (1970-2005).

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Totale
20,5	13,9	20,51	12,6	11,5	7,2	5,45	4,34	9,86	12,6	12	22,2	142,62

Nous pouvons donc facilement distinguer les mois les plus pluvieux pour cette période : les mois de mars et de décembre, avec respectivement les moyennes de 20.51 et 22.2 mm.

III.4.2. Températures

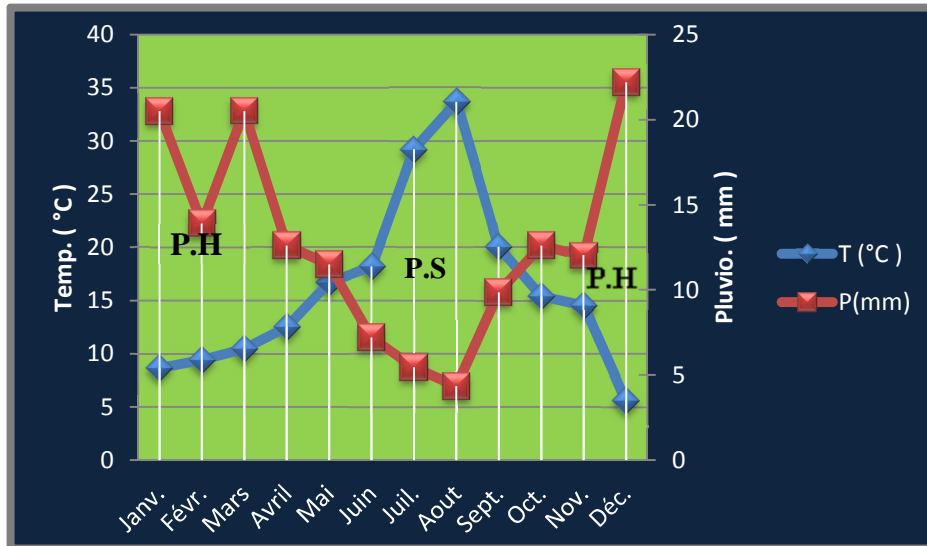
Les températures moyennes mensuelles de la période allant de 1970 à 1996 varient d'un mois à un autre. L'examen du tableau 14, relatif à la température moyenne mensuelle montre que celle-ci augmente progressivement de Janvier à Août où elle atteint son maximum pour ensuite diminuer régulièrement jusqu'à Décembre.

Tableau 14 : Températures moyennes mensuelles (en °C) (1970-2005).

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
8,68	9,43	10,48	12,54	16,71	18,2	29,22	33,66	20,04	15,42	14,55	5,62

III.4.3. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

D'après la figure 14, nous pouvons voir que la période sèche est très longue (8 mois environ) durant la période (1970-2005).



P.H : Période humide ; **P.S** : Période sèche.

Figure 14 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS ET GAUSSEN de la région de Ras El Ma pour la période (1970-2005).

III.4.4. Indice d'aridité de De Martone

L'indice d'aridité de la région qui est de l'ordre de 5,82, inscrit la région de Ras El Ma dans un climat désertique.

III.4.5. Quotient pluviométrique

Reposant sur une synthèse climatique sur une période de 35 ans (1970-2005), durée nécessaire et suffisante pour une caractérisation fiable du climat, avec **P** (Précipitations annuelles) de 142,62 mm, une moyenne des maxima du mois le plus chaud de 34,8°C (**M**), et une moyenne des minima du mois le plus froid de 1,4°C (**m**), l'utilisation du quotient pluviométrique d'Emberger ($Q_2 = 15,74$) dont l'application est propre aux régions méditerranéennes, a permis de classer la région de Ras El Ma dans l'étage bioclimatique aride à hiver frais (fig. 16).

IV. Zone de Béni-Saf

IV.1. Position géographique

La région de Béni-saf est située sur la côte Nord-Ouest d'Algérie, limitée par la commune d'Oulhaça à l'Ouest, de Sidi- Safi à l'Est, de la commune Emir Abdelkader au Sud et de la Mer Méditerranée au Nord.

La baie de Beni-saf s'étend sur 14 Km du Cap Acra à l'ouest au Cap Oulhassa à l'Est. Cette baie en arc de ciel est très ouverte aux houles.

Notre station d'échantillonnage se trouve à 5 km de l'entrée de Bén-isaf.

IV.2. Caractéristiques pédologiques

Les résultats pédologiques obtenus sur l'échantillon de sol de la station de Béni-Saf, sont inscrits dans le tableau 15.

Tableau 15 : Résultats des analyses pédologiques (Station Béni-Saf).

Station Béni-Saf	
Localisation	35°19'667"N, 001°19'617"O
Altitude (m)	533
Pente en %	3-12
Analyse physico-chimique	
Couleur	Marron foncé
Structure	Grumeleuse
Humidité (%)	25,43
Sables (%)	55
Limons (%)	35
Argiles (%)	10
Texture	Sableuse
pH	8,70
Conductivité électrique mS/cm	0,11
Calcaire total (%)	8
Calcaire actif (%)	4,62
Matière organique	11,68

L'échantillon analysé présente une texture sableuse, une structure grumeleuse et une couleur noirâtre, le taux d'humidité est élevé avec un pourcentage de 25,43 %, le sol est modérément calcaire car il présente un pourcentage de calcaire total de 8%, le calcaire actif est de 4,62 %.

L'échantillon analysé est très riche en matière organique (M.O > 4), le pH est alcalin, il est de l'ordre de 8,70 et la conductivité électrique est de 0,11 mS/cm, ce qui place le sol dans la catégorie des sols non salés (C.M < 0,6 mS/cm).

IV.3. Caractéristiques floristiques

L'inventaire a permis de recenser 15 espèces réparties sur 12 familles différentes, le classement des espèces par types biologiques a révélé 5 types biologiques et la catégorisation des espèces végétales rencontrées selon leurs types morphologiques a fait ressortir 3 types différents.

Tableau 16 : Nombre d'espèces par familles, types biologiques et types morphologiques.

	Familles	Nombre	%
1	Anacardiaceae	1	6,66
2	Asteraceae	2	13,33
3	Brassicaceae	2	13,33
4	Fabaceae	1	6,66
5	Fagaceae	1	6,66
6	Illecebraceae	1	6,66
7	Lamiaceae	1	6,66
8	Liliaceae	2	13,33
9	Oleaceae	1	6,66
10	Plantaginaceae	1	6,66
11	Poaceae	1	6,66
12	Primulaceae	1	6,66
Totaux	12	15	100
	Types biologiques	Nombre	%
	Phanérophytes (Ph)	4	26,66
	Chamaephytes (Ch)	2	13,33
	Hémicryptophytes (He)	3	20
	Thérophytes (Th)	3	20
	Géophytes (Ge)	3	20
	Totaux	15	100
	Types morphologiques	Nombre	%
	Herbacées vivaces (H.V)	5	33,33
	Herbacées annuelles (H.A)	5	33,33
	Ligneuses vivaces (L.V)	5	33,33
	Totaux	22	100

L'analyse du tableau 16 fait ressortir les résultats suivants :

- Les familles les plus représentées sont : les Asteraceae, les Brassicaceae et les Liliaceae avec deux espèces et un pourcentage de 13,33 % chacune.
- Les neuf familles restantes sont toutes représentées par une seule espèce et un pourcentage de 6,66 %.
- la répartition des types biologiques pour les espèces recensées dans la station d'échantillonnages suit le schéma suivant : $Ph > He \geq Th \geq Ge > Ch$.
- les trois types biologiques sont représentés chacun par 5 espèces et un pourcentage de 33,33%.

Les espèces les plus abondantes et les plus présentes aux côtés de notre espèce dans cette stations sont : *Asphodelus microcarpus* Sal & Viv.; *Calycotome spinosa* L.; *Olea europea* Var. *Oleaster* Dc. entre autres (Tab. Annexe).

IV.4. Présentation du climat

IV.4.1. Précipitations

Les quantités des précipitations mensuelles et annuelles varient d'un mois à l'autre comme le démontre le tableau 17, les mois les plus pluvieux sont Janvier et février avec respectivement 50,6 et 58,3mm et un total annuel de 368,1 mm pendant la période de 1980 à 2012.

Tableau 17 : Moyennes mensuelles et total annuel des précipitations de la période 1980 à 2012.

Mois	J	F	Mr	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
Précipitations	50.6	58.3	37.7	34.3	24.1	7.0	4.7	3.0	15.8	30.5	62.0	40.1	368.1

(ONM, 2013)

IV.4.2. Températures

D'après le tableau 18, nous remarquons que le mois le plus chaud est Aout avec 25,6°C, et le mois le plus froid est janvier avec seulement 12,6°C pour la période de 1980 à 2012.

Tableau 18 : Températures moyennes mensuelles (en °C) (1980-2012).

Mois	J	F	Mr	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	TMA
Températures	12.6	13.3	14.8	16.3	18.9	22.1	24.7	25.6	22.9	20.1	16.6	14	18.5

(ONM, 2013)

IV.4.3. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

La saison sèche s'étend sur plus de six mois, à partir du mois d'avril à octobre durant la période entre 1980 à 2012 (fig. 15).

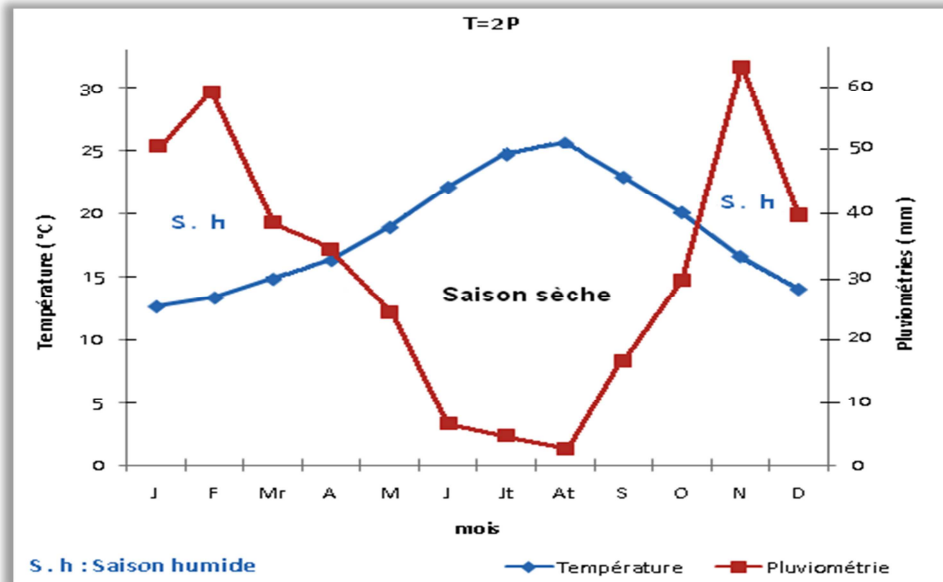


Figure 15 : Diagramme ombrothermique de BAGOULS ET GAUSSEN de la station de Béni-Saf pour la période (1980-2012).

IV.4.4. Indice d'aridité de De Martone

L'indice d'aridité de la région qui est de l'ordre de 12,91, inscrit la région de Béni-Saf dans un climat semi-aride.

IV.4.5. Quotient pluviométrique

Le quotient pluviométrique pour la station de Béni-Saf est de 96.93 dénotant un régime semi-aride supérieur (fig. 16).

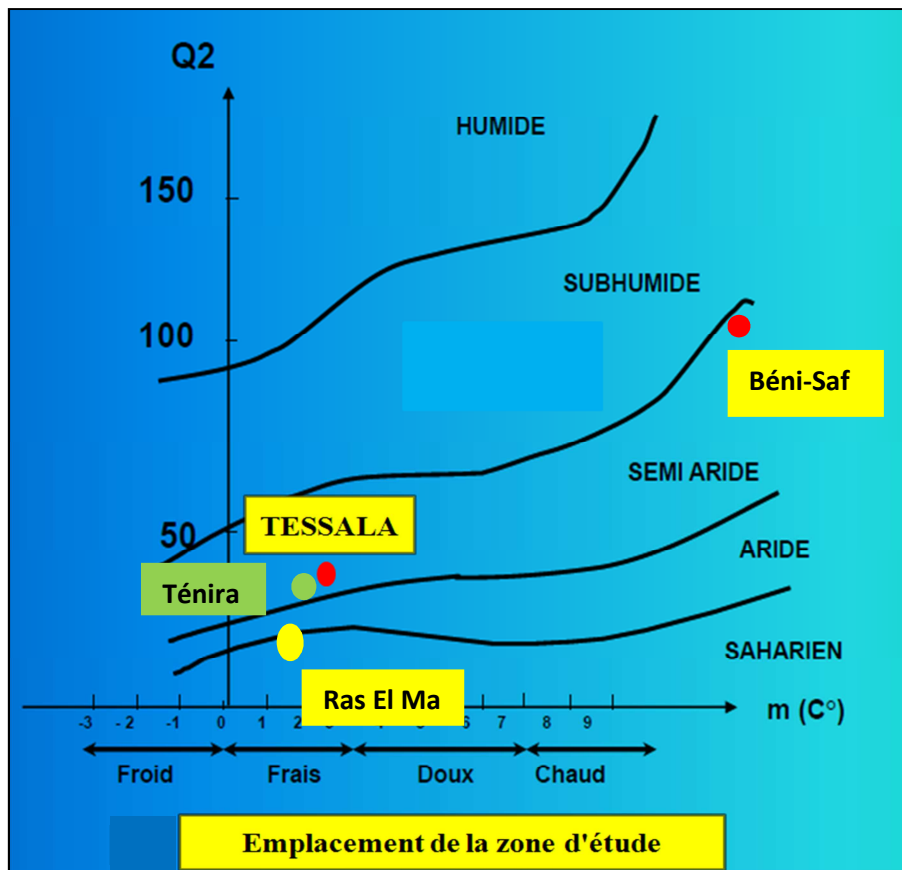


Figure 16 : Climagramme d'Emberger des quatre stations d'études.

Chapitre II :
Matériels et
méthodes d'étude

Nous rappelons que dans cette partie, sont développées les techniques utilisées concernant les différents aspects abordés dans cette thèse.

L'étude biométrique consiste à mesurer la hauteur, le diamètre et la circonférence moyens des touffes d'alfa (*Stipa tenacissima* L.) évoluant dans quatre habitats différents (écotypes), dont les caractéristiques sont récapitulées dans le tableau 19. Dans ce volet, nous avons également évalué la longueur de certaines pièces florales.

Aussi, une étude comparée de l'histologie des feuilles des quatre écotypes d'alfa a été entreprise.

L'étude du comportement germinatif ainsi que le dosage de la proline et des sucres solubles ont été réalisés sur l'alfa évoluant dans deux écosystèmes différents (alfa de steppe : Ras El Ma et alfa du littoral : Béni-Saf).

Tableau 19 : Caractéristiques des stations d'échantillonnage.

Stations	Latitude Nord	Longitude		Altitude (m)	Exposition
		Ouest			
St 1 (Tessala)	35°16'320"	000°45'730"		787	Nord-Est
St 2 (Ténira)	35°05'007"	000°35'902"		629	Nord-Est
St 3 (Ras El Ma)	34°31'538"	000°54'882"		1113	Sud-Est
St 4 (Béni-Saf)	35°19'667"	001°19'617"		533	Nord-Ouest

St: Station.

I- Caractérisation du cortège floristique et du substrat des quatre écotypes d'alfa étudiés

Dans cette étude, nous avons adopté une méthodologie qui consiste à diviser le travail en deux étapes : la première est édaphique, elle a pour objectif de connaître les propriétés physico-chimiques du sol sur lequel évoluent les quatre écotypes d'alfa. La deuxième étape consiste à caractériser le cortège floristique en établissant des inventaires par la méthode stigmatiste de Braun-Blanquet (1952).

I.1- Equipement de terrain

Pour mener à bien cette étude et pour atteindre les objectifs visés, divers matériels ont été utilisés :

- une carte topographique 1/25 000 ayant servi pour faire le zonage de la zone d'étude,
- un GPS de type MAGELLAN pour noter les informations relatives à l'emplacement, l'orientation et le prélèvement des coordonnées géographiques (altitude, longitude et latitude) de chaque station,
- quatre piquets et une corde pour la délimitation de la surface du relevé étudié,
- un sécateur et du papier journal pour prélever et conserver les plantes en vue de leurs déterminations,
- une pelle à main et des sachets en plastique pour le prélèvement et la collecte des échantillons de sol,
- des cylindres en acier pour le prélèvement des échantillons de sol destinés à la détermination du taux d'humidité.

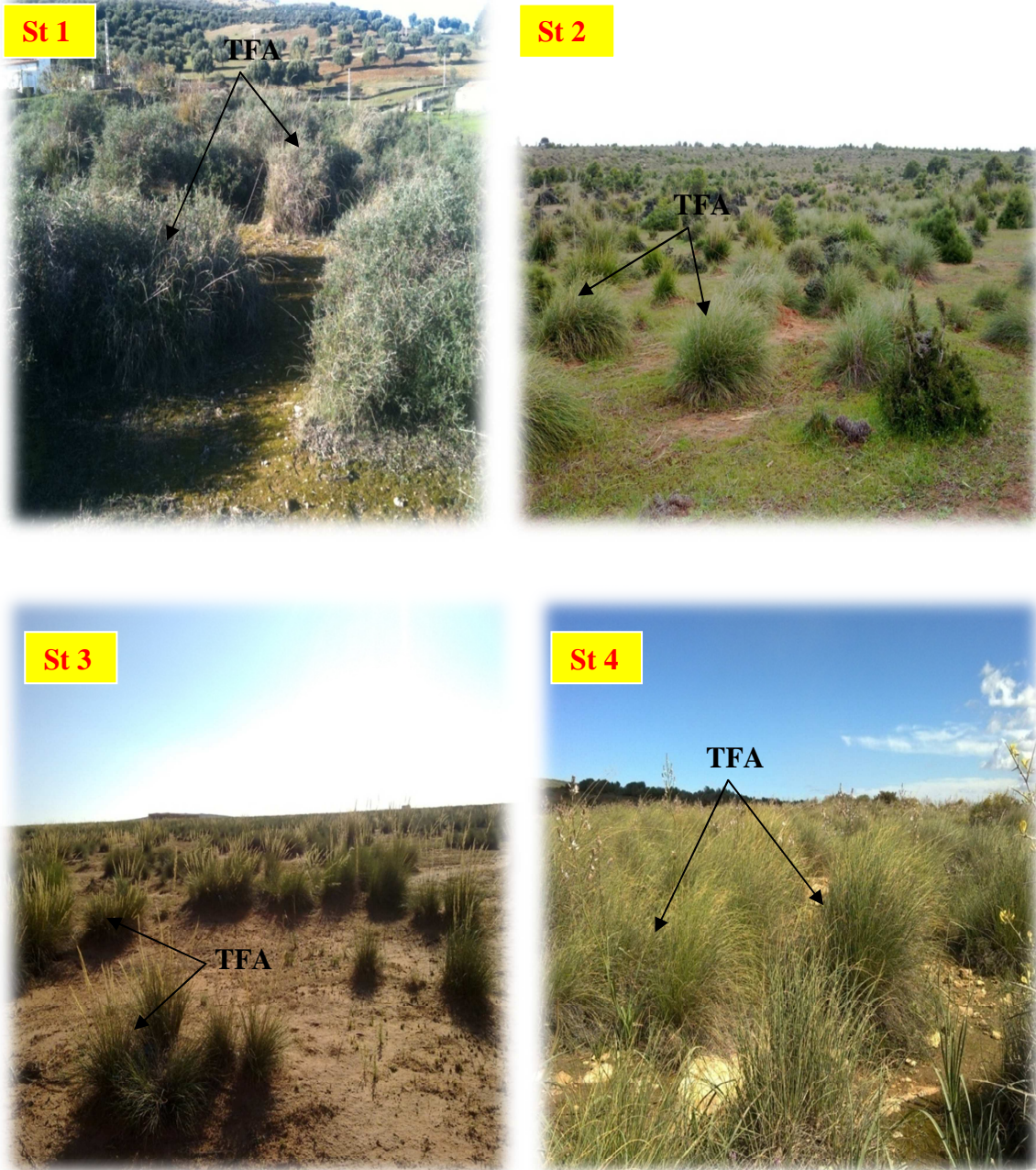
I.2- Localisation des stations

Après plusieurs prospections préliminaires sur le terrain, nous avons choisi quatre stations. Sur chacune d'elle des profils pédologiques ainsi que des relevés floristiques ont été analysés et effectués.

L'exécution de ces relevés est accompagnée de l'enregistrement des paramètres stationnels relatifs à l'emplacement (altitude, longitude et latitude, pente, exposition, recouvrement).

Les choix de nos stations (planche II) ont été orientés par la présence de l'espèce qui a fait l'objet de notre étude.

Planche II : Stations d'échantillonnage (cliché : Y. Moulessehou : 2011)



St 1 : Station 1 (djebel de Tessala) ; **St 2** : Station 2 (forêt de Messer) ; **St 3** : Station 3 (Ras El Ma) ; **St 4** : Station 4 (Béni-Saf) ; **TFA** : Touffes d'Alfa ».

I.3- Etude pédologique

Dans toute étude écologique, le sol reste la clé déterminante des différents phénomènes (croissance, maintenance, adaptation) par ses éléments nutritifs minéraux ainsi que sa teneur en eau et en matière organique. Le sol joue un rôle important dans les écosystèmes. C'est un filtre, milieu d'échange et de transformation physique, chimique et biochimique. L'étude du sol est indispensable, ce dernier constitue l'unique et le principal support pour le développement de la végétation (Chamley, 2002).

Les échantillons de sol sont prélevés de chaque station de l'horizon superficiel à une profondeur de 10 à 20 cm, ils sont ensuite mis à sécher à l'air libre pendant 15 jours. Une fois séchée, la terre est tamisée par un tamis à mailles de 2 mm (Afnor, 1987), séparant les éléments grossiers de la terre fine qui présente un diamètre inférieur à 2 mm. Après tamisage, nous avons procédé à l'analyse physico-chimique selon les méthodes exposées par Aubert (1978) dans son manuel d'analyse du sol.

En plus de l'analyse physico-chimique, quelques caractéristiques sont documentées à partir d'observation sur terrain (structure, couleur).

Ces analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire pédologique de L'INRA.A (Institut national de la recherche agronomique, Algérie « unité de recherche Ouest, Sidi Bel Abbes »).

I.3.1- Analyses physiques

I.3.1.1- La couleur

Pour déterminer la couleur, on utilise le code international de Munsell. En pratique et sur terrain, elle est estimée à l'œil nu. Aussi, il est recommandé d'observer surtout la couleur de l'échantillon à l'état sec et sous bonne clarté. Cette dernière condition est nécessaire pour distinguer plus aisément les différentes couleurs.

I.3.1.2- La structure

On appelle structure du sol, l'ensemble des agrégats ou des unités structurales de différentes grosseur, forme et porosité (Duchaufour, 2001).

Sur terrain, l'identification de la structure se fait en prenant à la main un échantillon du sol et en observant la forme et la taille du granulé de chaque échantillon pour estimer quelle est sa structure.

La structure du sol peut prendre les différents aspects suivants :

- **Granulaire** : petits fragments,
- **Polyédrique** : gros fragments,
- **Feuilletée** : plaques horizontales,
- **Colonnaire** : grandes colonnes du sol, de forme circulaire grossière, au sommet rond,
- **Prismatique** : fentes verticales assez régulières.

I.3.1.3- Humidité (H)

Les échantillons sont prélevés par la méthode des cylindres. Ils sont ensuite placés au laboratoire dans des boîtes de Petri et mis à l'étuve après avoir été pesés. Après une durée de 24 h à une température de 105 °C suffisante à la disparition de l'eau présente sans qu'il y ait décomposition des carbonates, les échantillons sont ensuite pesés et la variation de la masse est alors égale à la masse d'eau contenue à l'origine, exprimée en pourcentage.

I.3.1.4- Analyse granulométrique et texture

Pour classer les terres, nous procédons à l'analyse granulométrique du sol. La granulométrie est la classification des éléments constitutifs du sol selon leur taille et la détermination de la quantité et le pourcentage respectifs des différents éléments constitutifs (sables, limons, argiles). Cette technique nous donne une idée sur la texture du sol (la notion de texture concerne la fraction fine du sol) (Guillet *et al.*, 1988). La texture est une caractéristique principale et pratiquement permanente du sol, elle influe beaucoup sur le processus physique et chimique dans le profil (Bullock *et al.*, 1985).

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé sur la partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis de type

RETSCH AS 200 digit. Les limons sont séparés des argiles par sédimentation en utilisant la pipette de Robinson. Les différentes fractions obtenues sont présentées dans le tableau 20.

Tableau 20 : Classification des différents éléments du sol selon leurs tailles (Afnor, 1987).

<i>Éléments du sol</i>	<i>Tailles</i>
Fraction grossière (FG)	$\varnothing > 2 \text{ mm}$
Sable grossier (SG)	$2 \text{ mm} > \varnothing > 0,2 \text{ mm}$
Sables fins (SF)	$0,2 \text{ mm} > \varnothing > 0,02 \text{ mm}$
Limons (L)	$0,02 \text{ mm} > \varnothing > 0,002 \text{ mm}$
Argiles (A)	$\varnothing < 0,002 \text{ mm}$

La texture des différents échantillons du sol est définie après projection des résultats de l'analyse granulométrique sur le triangle de Jamagne (1967) (fig. 17).

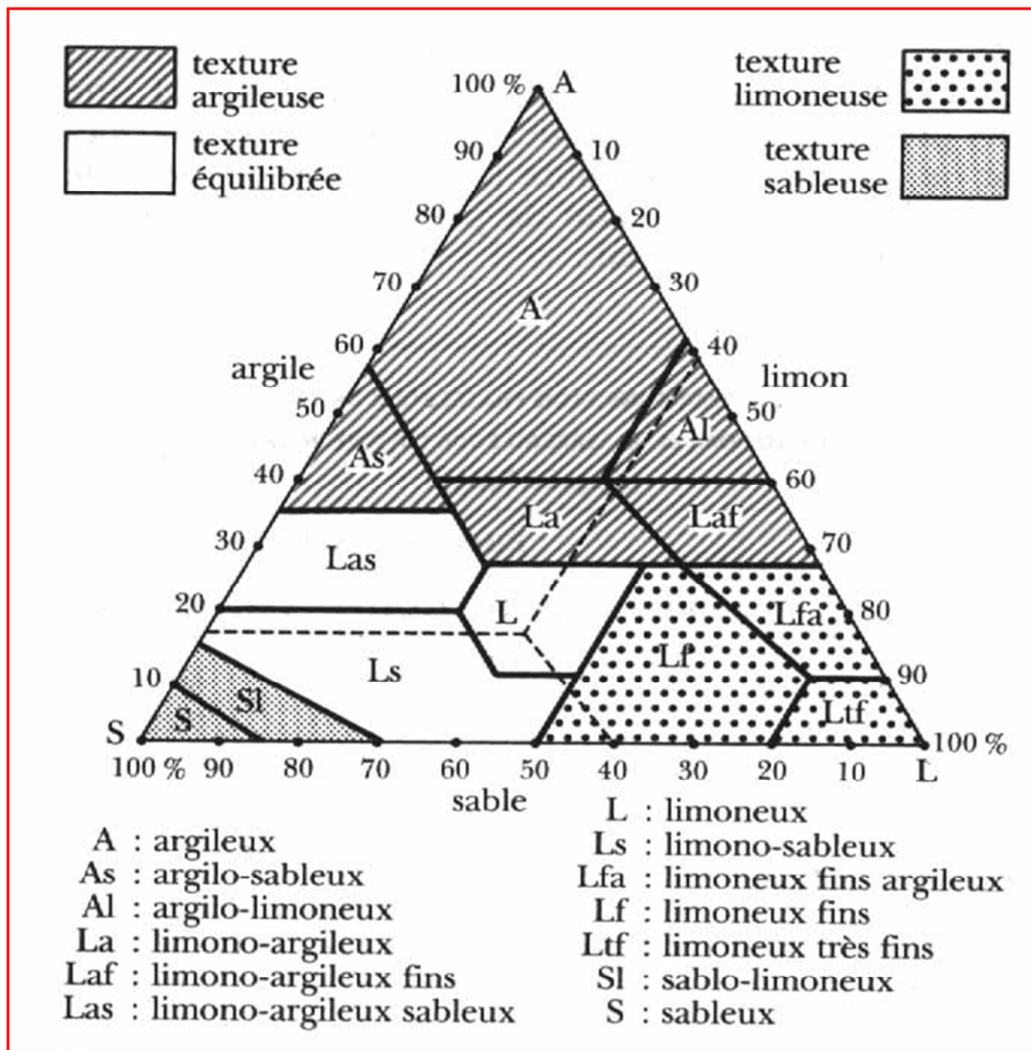


Figure 17 : Triangle des textures (Jamagne, 1967).

I.3.2- Analyses chimiques

I.3.2.1- Le potentiel hydrogène (pH)

Le sol n'est pas un milieu inerte, des colloïdes (argiles et humus) régularisent la teneur en éléments nutritifs. Ce mécanisme de régulation concerne la teneur en cations métalliques (calcium, potassium) et la teneur en ions H de la solution du sol ou acidité du sol qui est due aux ions hydrogènes qui s'y trouvent.

En outre le pH est universellement reconnu, comme un facteur d'importance primordiale pour la moitié des éléments traces et leur disponibilité vis-à-vis des êtres vivants.

La mesure du pH est faite par la méthode électrométrique en utilisant un pH mètre de type « HANNA pH209-209R » sur une suspension de la terre avec de l'eau distillée, afin d'apprécier l'alcalinité ou l'acidité du sol. L'interprétation des résultats est faite selon l'échelle mentionnée sur le tableau 21.

Tableau 21 : Echelle d'appréciation du pH du sol (Gagnard *et al.*, 1988).

<i>pH</i>	< 5,5	5,5 - 6,5	6,5 - 6,8	6,8 - 7,2	7,2 - 8,5	> 8,5
Appréciation	Fortement acide	Acide	Très légèrement acide	Voisin de la neutralité	Légèrement alcalin	Fortement Alcalin

I.3.2.2- Conductivité électrique (C.E)

Elle est définie comme étant la mesure des ions dans la solution. La capacité du sol à conduire le courant électrique est en fonction de la concentration en électrolytes de la solution du sol (Rieu et Chevery, 1976).

La conductivité électrique est exprimée en millisiemens par centimètre (mS/cm), on la détermine sur une solution d'extraction aqueuse (rapport sol /eau est égale à 1/5) à l'aide d'un conductimètre type HANNA Dist. WP4.

La mesure de la conductivité est une méthode qui petit à petit s'est imposée pour la mesure de la salinité du sol (De Jong *et al.*, 1979 ; Williams et Hoey, 1982) ; cette dernière est estimée à l'aide de l'échelle de salure mentionnée sur le tableau 22.

Tableau 22 : Echelle de salure en fonction de la conductivité (Aubert, 1978).

<i>Conductivité électrique (C.E)</i>	< 0,6	0,6 - 1,2	1,2 - 2,4	2,4 - 6	> 6
Appréciation	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé

I.3.2.3- Calcaire total (C.T)

Le calcaire total se trouve sous deux formes, actif ou inactif.

- le calcaire actif : c'est la fraction fine argileuse ou limoneuse du carbone facilement solubilisée dans l'eau chargée de CO₂,

- le calcaire inactif : c'est le carbonate sous forme de grains grossiers ou cristallins peu solubles dans l'eau chargée de CO_2 . Il présente une réserve évoluant par érosion vers une forme active.

Selon la méthode du Calcimètre de Bernard, cette grandeur a été mesurée par un dosage qui est fondé sur la réaction caractéristique du carbonate de calcium (CaCO_3) en contact de l'acide chlorhydrique (HCl). L'échelle d'interprétation des carbonates (tab. 23) permet de déterminer la quantité du CaCO_3 comprise dans un échantillon du sol.

Tableau 23 : Echelle d'interprétation des carbonates (Afnor, 1987).

<i>% Carbonates</i>	<i>Charge en calcaire</i>
< 1 %	Sol pas calcaire
1 à 5 %	Sol peu calcaire
5 à 25 %	Sol modérément calcaire
25 à 50 %	Sol fortement calcaire
50 à 80 %	Sol très fortement calcaire
> 80 %	Sol excessivement calcaire

I.3.2.4- Calcaire actif (C.A)

Le dosage du calcaire actif est réservé uniquement aux échantillons contenant plus de 5 % de calcaire total. Il s'agit de ne doser que la fraction chimiquement active du calcaire du sol.

Le dosage repose sur le titrage par oxydoréduction qui utilise le permanganate de potassium (KMnO_4) et l'oxalate d'ammonium $[(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_2\text{O}]$.

I.3.2.5- Matière organique (M.O)

Le carbone de la matière organique est oxydé par bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique. En connaissant la quantité de bichromate nécessaire pour cette oxydation, nous pouvons calculer le pourcentage de carbone organique et d'humus dans le sol (le rapport % humus / % $\text{Cox} = 1,724$). Le dosage du carbone organique est effectué à l'aide de la méthode d'Anne. On admet que la matière organique représente deux fois la masse du carbone. Pour l'interprétation des résultats, on se réfère au tableau suivant :

Tableau 24 : Echelle de détermination de la teneur en matière organique.

<i>Taux de matière organique</i>	<i>Qualité de la terre</i>
< 1	Très pauvre
1 à 2	Pauvre
2 à 4	Moyenne
> 4	Riche

I.4- Etude de la composition floristique

I.4.1- Méthode utilisée

Pour l'inventaire floristique au niveau des stations retenues, nous avons utilisé la méthode des relevés phytosociologiques recommandée par Braun-Blanquet (1952) dite aussi stigmatiste ou la méthode de l'aire minimale. Cette démarche est couramment utilisée en écologie végétale et nous permettra l'élaboration du tableau floristique, elle consiste à :

- choisir des emplacements aussi typiques que possibles pour les inventaires floristiques,
- noter les conditions du milieu des relevés (la localisation géographique, la pente, l'orientation du terrain, la nature du sol et la date),
- dresser une liste complète des espèces présentes par strate,
- accorder pour chaque espèce un coefficient d'abondance-dominance, de sociabilité ainsi que sa fréquence d'apparition dans chaque relevé.

Abondance-dominance : Braun-Blanquet (1952) a créé le coefficient qui associe les concepts d'abondance et de dominance. L'abondance exprime le nombre d'individus qui forment la population de l'espèce présente dans le relevé. La dominance représente le recouvrement de l'ensemble des individus d'une espèce donnée, ce coefficient est estimé visuellement selon une échelle variant de 5 à +:

- **coefficient 5**: individus recouvrant plus de $\frac{3}{4}$ de la surface (>75 %),
- **coefficient 4**: individus recouvrant de $\frac{1}{2}$ à $\frac{3}{4}$ de la surface (50 -75 %),

- **coefficient 3:** individus recouvrant de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ de la surface (25-50 %),
- **coefficient 2:** individus nombreux mais recouvrant de $\frac{1}{20}$ à $\frac{1}{4}$ de la surface (5-25 %),
- **coefficient 1:** individus très peu nombreux avec un degré de recouvrement faible, moins de $\frac{1}{20}$ de la surface (< 5%),
- **coefficient +:** individus très peu nombreux avec un degré de recouvrement très faible ou insignifiant.

La sociabilité : elle traduit le mode de distribution des individus de la même espèce les uns par rapport aux autres. On appelle une espèce sociable, espèce dont les individus sont groupés. Ce caractère est également évalué grâce une échelle de 5 à 1, établie par Braun-Blanquet (1952) :

- **coefficient 5:** espèces formant des peuplements importants recouvrant la plus grande partie de la surface,
- **coefficient 4:** espèces formant de grandes colonies,
- **coefficient 3:** espèces croissant en petits peuplements serrés ou formants des coussinets denses,
- **coefficient 2:** espèces groupées, la plante croit en touffe,
- **coefficient 1:** espèces apparaissant par brins isolés, dispersés dans l'aire étudiée.

La fréquence d'apparition (F), exprimée en (%), est le rapport entre le nombre des relevées (n_i) où l'espèce (i) existe sur le nombre total des relevés effectués (N).

$$F (\%) = (n_i / N) \times 100$$

A cet effet, Duriertz (1920) propose cinq classes :

- **0 < F < 20 % : Classe I :** Espèces très rares,
- **20 < F < 40 % : Classe II:** Espèces rares,

- $40 < F < 60 \%$: **Classe III** : Espèces fréquentes,
- $60 < F < 80 \%$: **Classe IV**: Espèces abondantes,
- $80 < F < 100 \%$: **Classe V** : Espèces très constantes.

Malheureusement dans la pratique, l'observateur ne sait toujours pas, exactement, jusqu'où s'étend la station; c'est la raison pour laquelle on utilisera la notion d'aire minimale. Nous avons choisi une aire de 100 m^2 , elle représente une surface où les conditions écologiques sont homogènes et où la végétation est uniforme (Guinochet, 1973). Selon le même auteur, c'est une surface qui n'offre pas d'écart de composition floristique appréciable entre ses différentes parties.

Dans notre zone d'étude, trois strates ont été retenues permettant l'identification des formations végétales : arborescente, arbustive et herbacée. L'identification de ces trois strates se fait suivant l'échelle avancée par Benabdelli (1996) pour la végétation ligneuse de l'Oranie : la strate arborescente (hauteur de 4 m et plus), la strate arbustive (hauteur entre 1,50 m et 4 m) et la strate herbacée (hauteur moins de 0,50 m).

Les espèces inventoriées ont été réparties selon leurs fréquences d'apparitions (F), leurs familles correspondantes, leurs spectres biologiques, morphologiques et phytogéographiques.

I.4.2- Identification des espèces

Sur une petite fiche, nous avons indiqué le code de la plante, la date et le lieu de récolte. Pour l'identification et la nomenclature des espèces, nous avons retenu la nomenclature utilisée dans la flore de Quézel et Santa (1962 ; 1963) pour l'ensemble des espèces.

II- Morphométrie des touffes d'alfa et de leurs pièces florales

II.1- Morphométrie des touffes

II.1.1- Echantillonnage des touffes

L'échantillonnage a porté sur 15 touffes par station, choisies aléatoirement pour les mesures biométriques.

Sur le tableau 25, sont représentées les dates de prise des mesures biométriques.

Tableau 25 : Dates de prise des mesures morphométriques.

Stations	Date des mesures
Station 1	04/05/2011
Station 2	25/05/2011
Station 3	31/05/2011
Station 4	20/05/2011

III.1.2- Paramètres mesurés

Les paramètres mesurés sur les touffes choisies sont :

- la hauteur moyenne
- le diamètre moyen
- la circonférence moyenne

II.2- Morphométrie des pièces florales

II.2.1- Echantillonnage

L'échantillonnage a porté sur 15 touffes par station sélectionnées d'une manière aléatoire ; ensuite trois panicules sont récoltées par touffe pour les différentes mesures des pièces florales effectuées sur les épillets (fig. 19).

II.2.2- Paramètres mesurés

Les paramètres des pièces florales mesurés à l'aide d'un pied à coulisse digital (fig. 18) correspondent à la longueur moyenne de :

- la glume inférieure,
- la glume supérieure,
- la paléole ou glumelle supérieure,
- la lemme ou glumelle inférieure,
- l'arrête,
- le séta,
- le columna.

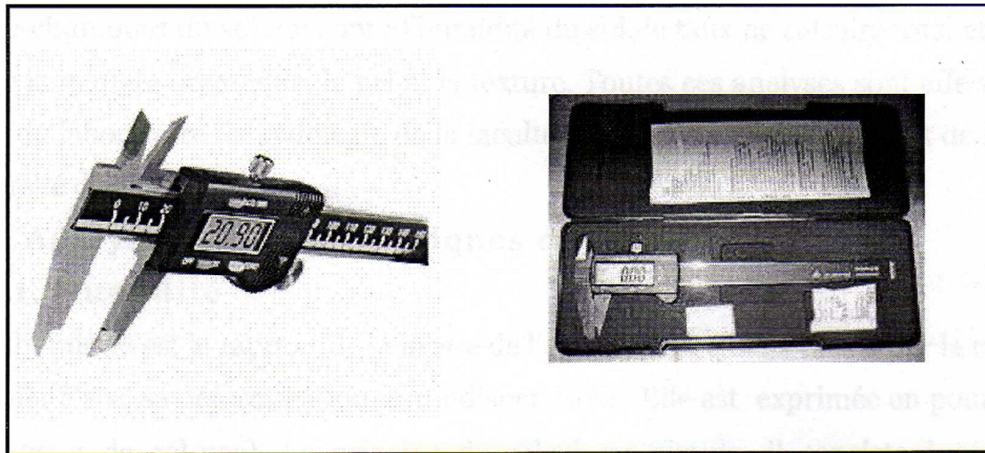


Figure 18 : Pied à coulisse digital.

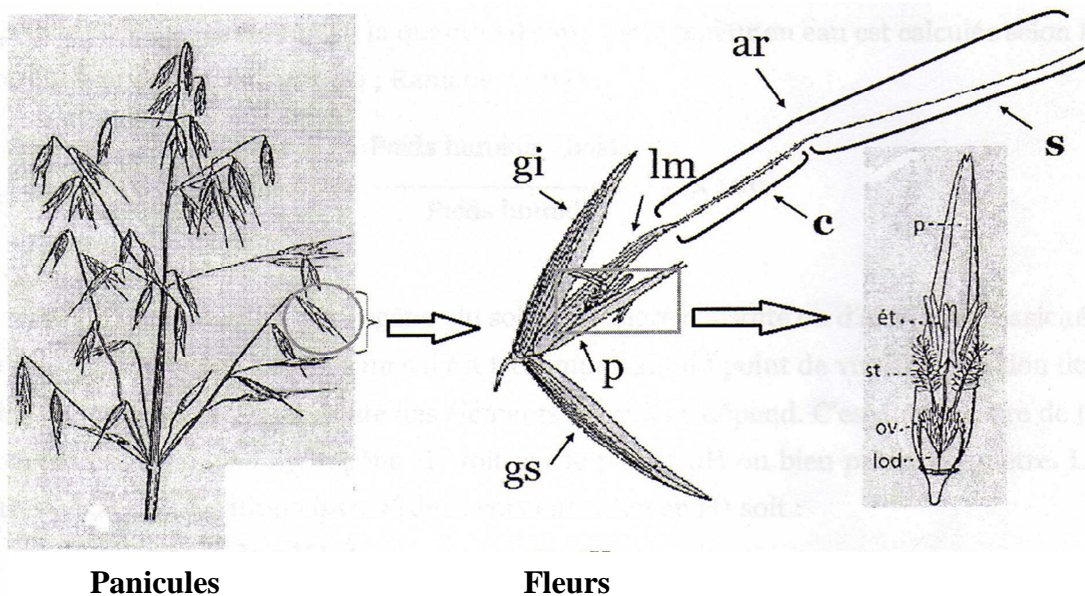


Figure 19 : Schéma illustrant les différentes pièces florales mesurées (Guemou, 2010)

gs : Glume supérieure, **gi** : Glume inférieure, **p** : Paléole ou glumelle supérieure, **lm** : Lemme ou glumelle inférieure, **ar** : Arrête, **s** : Seta, **c** : Columna, **ét** : Etamines, **st** : Stégmates, **ov** : Ovaire, **lod** : Lodicule

Planche III : Fleurs fécondées des quatre écotypes d'alfa (cliché : y. Moulessehoul : 2011).

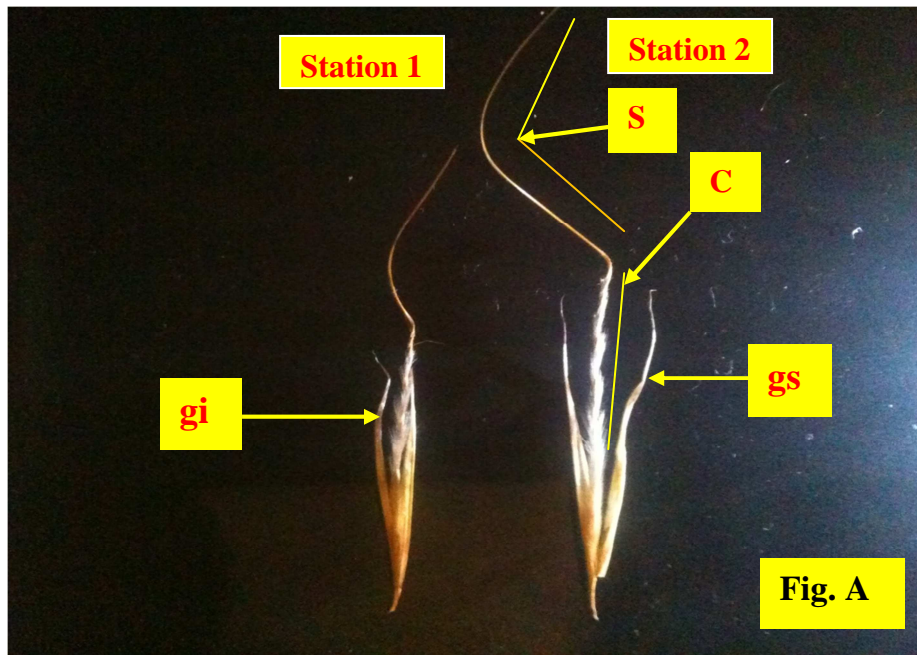


Fig. A : Fleur fécondée de la station 1 et 2; **Fig. B** : Fleur fécondée de la station 3 et 4).

gi : glume inférieure, **gs**: glume supérieure, **s** : séta, **c**: columna.

III- Etude histologique

III.1- Réalisation des coupes à main levée

Cette technique est réalisée en deux étapes : la confection puis la coloration des coupes.

I.1.1- La confection des coupes

Elle nécessite l'utilisation d'une moelle de sureau dont laquelle nous avons creusé une fente servant à l'introduction des différents organes végétaux. Avec une lame de rasoir neuve, nous avons réalisé des coupes transversales très fines à main levée. Nous avons effectué les coupes, au même niveau situé entre 10 à 15cm de la base de la feuille du 3^{ème} ordre.

I.1.2- La coloration des coupes

- **coloration par combinaison vert de méthyle-rouge Congo** : permet de colorer spécifiquement les parois cellulaires lignifiées en vert et les parois cellulaires pecto-cellulosiques en rouge (Srebotnik et Messner, 1994). Pour cela, les coupes sont :

- trempées dans de l'eau de javel pendant une durée de 20 à 30 min,
- lavées à l'eau distillée (3 à 4 fois),
- mordancées avec de l'acide acétique pendant 5 min,
- colorées pendant 3 à 5 min avec le vert de méthyle 0,1 % (0,1 g de vert de méthyle dans 100 ml d'eau distillée, agitation et filtration du mélange),
- lavées avec de l'eau distillée (3 à 4 fois),
- colorées pendant 20 min avec le rouge Congo 0,1 % (0,1 g de rouge Congo dans 100 ml d'eau distillée, agitation et filtration du mélange),
- rincées avec de l'eau distillée (3 à 4 fois),
- montées avec une goutte d'eau entre lame et lamelle et observées au microscope photonique,
- photographiées à l'aide d'un appareil photo numérique "Samsung MV800".

IV. Etude du comportement germinatif

IV.1. Matériel biologique

Les caryopses utilisés proviennent tous de panicules de touffes d'alfa poussant dans deux provenances différentes de l'ouest algérien (alfa de steppe : station de Ras El Ma et alfa du littoral : station de Béni Saf) dont les caractéristiques sont récapitulées dans le tableau 19.

Les caryopses prélevés ont été conservés dans des sachets en papier à l'abri de l'humidité pendant une année. Cette période de conservation permet une post-maturation des caryopses. En effet, des tests préalables relatifs au pouvoir de germination des caryopses ont montré que ces derniers ont besoin d'une post-maturation car ils sont incapables de germer juste après leur récolte (Maun et Baye, 1989).

IV.2. Préparation des caryopses et déroulement des essais de germination

Les caryopses utilisés sont triés, seuls les plus sains et ne présentant aucune anomalie morphologique apparente sont testés. Les caryopses sont préalablement désinfectés à l'hypochlorite de sodium à 2 %. Pour chaque provenance, chaque essai de germination a porté sur trois lots de caryopses à raison de 25 caryopses par lot.

IV.2.1. Recherche de l'optimum thermique pour la germination des caryopses des deux provenances

Nous avons mené des essais de germination sur les caryopses des deux provenances suscitées afin de déterminer leur viabilité et de comparer leur optimum thermique de germination. Les essais ont été réalisés à l'obscurité dans des étuves réglées à des températures continues suivantes : 5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C et 35 °C. L'imbibition des caryopses se fait à l'eau distillée comme suit :

- 5 ml tous les trois jours pour la température de 5 °C
- 10 ml toutes les 48 heures pour les températures comprises entre 15 et 25 °C
- 20 ml toutes les 24 heures pour les températures supérieures à 25 °C

L'observation et le comptage étaient réalisés quotidiennement sur une période de 30 jours.

IV.2.2. Effet de la salinité sur la germination

Après avoir déterminé les conditions optimales de germination des caryopses, cette partie de l'expérimentation est conduite dans le but de déterminer les limites de tolérance de cette espèce à la salinité au stade de germination.

Les caryopses désinfectés ont été mis à germer à une température optimale de 20 °C et à l'obscurité sous différentes concentrations salines, préparées à partir du chlorure de sodium (NaCl) : 1, 2, 4, 6 et 8 g/l. En parallèle, un essai témoin est mené en utilisant de l'eau distillée. La durée de suivi des essais de germination était de 30 jours.

IV.2.3. Effet du stress hydrique

Les essais de germination ont été réalisés sous différents niveaux de potentiels hydriques par l'utilisation du polyéthylène glycol PEG ayant une masse molaire de 6 000. Le PEG constitue un agent relativement stable, inerte, non ionique mais bien soluble dans l'eau et non toxique, même à de fortes concentrations (Lu *et al.*, 1998). En effet, les molécules du PEG 6000 sont suffisamment petites pour influencer le potentiel osmotique et assez larges pour ne pas être absorbées par les plantes (Carpita *et al.*, 1979) et constituent ainsi un moyen plus efficace pour stimuler une contrainte hydrique que les solutions à faible masse molaire de leur osmoticum et dont les solutés s'infiltreraient dans la cellule (Verslues *et al.*, 1998). Ainsi, des solutions de PEG₆₀₀₀ de concentrations croissantes induisent des potentiels hydriques également croissants (conformément à l'équation établie par Michel *et al.*, 1974). Les essais de germination ont été réalisés à une température de 20 °C sous différentes concentrations de PEG, à savoir : 5, 10, 20, 40 et 80 g/l qui correspondent respectivement à des potentiels hydriques de : - 0.04 ; - 0.2 ; - 0.4 ; - 0.8 et - 1.6 Mpa. La durée de suivi des essais de germination était de 30 jours. En parallèle, un essai témoin est mené en utilisant de l'eau distillée.

IV.3. Critères de germination

Pour l'ensemble des tests de germination, le critère retenu est celui défini par Côme (1970), qui est le gonflement du caryopse et la percée des téguments par la coléorhize. La confirmation étant assurée par une observation minutieuse à la loupe binoculaire. Le critère de germination des caryopses enveloppés est l'écartement de la paléole et du lemme, ouverture des enveloppes suite à l'imbibition complète de la graine.

IV.3.1. Paramètres de germination retenus et expression des résultats

La valorisation des résultats de la germination est réalisée à travers l'utilisation et le calcul de paramètres traduisant la variation du taux de germination dans les différentes conditions étudiées. Ce mode d'expression des résultats cherche à tenir compte de l'ensemble des dénombrements effectués au cours de toute la durée de l'observation. D'autre part, des tests statistiques de comparaison des moyennes des résultats des différents paramètres considérés sont utilisés.

a. La cinétique de germination

Elle s'exprime en pourcentage et représente le taux de germination des caryopses. Elle est caractérisée par trois phases : une phase de latence ; une phase exponentielle et une phase stationnaire.

b. La capacité de germination (Cg)

Elle s'exprime en pourcentage et représente le taux des semences capables de germer dans les conditions précisément définies par l'expérimentateur ; elle correspond donc au taux maximal atteint par un lot de semences en essai.

c. La vitesse ou énergie de germination

L'appréciation de l'aptitude à germer est plus poussée à travers l'évaluation de la vitesse de germination qui représente le temps mis par les semences pour germer (Côme, 1970) et peut s'exprimer par plusieurs grandeurs dont nous avons choisi ce qui suit :

- **Le temps de latence (TL)**, ou délai de germination, s'exprimant en jours ; il représente le nombre de jours entre la date de mise à germer et celle de l'apparition de la première germination, c'est donc le temps nécessaire à la manifestation de la germination.
- **Le coefficient de Vitesse (Cv) de Kotowski (1926) in Côme (1970)**, est exprimé en pourcentage ; s'écrit par l'intégration des temps de germination de chaque graine et se calcule comme suit :

$$Cv (\%) = \frac{N1+N2+N3.....+Nn}{N1T1+N2T2+N3T3.....NnTn} * 100$$

Où :

N1 : nombre de graines germées au temps T1

N2 : nombre de graines germées entre le temps T1 et T2

T1 : correspond au premier jour de germination

T2 : correspond au deuxième jour de germination

Tn : correspond au n jour de germination

Nous estimons que le calcul de l'ensemble de ces indices nous permet de comparer avec le maximum de précision le comportement des caryopses dans différentes conditions testées et qu'aucune des grandeurs prises à elle seule n'est suffisante pour donner un reflet exact de l'aptitude à la germination, par contre les courbes de germination peuvent refléter, à elle seules, complètement le phénomène.

V. Quantification et dosage de la proline et des sucres solubles

V.1. Matériel biologique

Le dosage de la proline et des sucres solubles a été effectué saisonnièrement, durant l'année 2012-2013, au niveau des feuilles, rhizomes et racines de l'alfa de deux provenances (Alfa de steppe : station de Ras El Ma et Alfa du littoral : station de Béni-Saf).

V.2. Préparation des échantillons

Les feuilles, les rhizomes et les racines prélevés ont été pesés pour évaluer leur poids frais, puis découpées, enveloppées dans du papier aluminium et mis à sécher dans une étuve réglée à 80 °C durant 48 h. Une deuxième pesée est effectuée après séchage pour la détermination du poids sec, puis chaque échantillon est mis dans un pilulier fermé hermétiquement et déposé dans un congélateur en attendant les analyses. Le dosage de la proline et des sucres solubles est effectué sur des feuilles sèches réduites en poudre par un broyeur.

V.3. Méthodes d'étude

Les différentes analyses développées ci-dessous, sont effectuées saisonnièrement. Les résultats exposés dans la partie résultats et discussion correspondent à des moyennes calculées sur trois prises d'essai.

V.3.1. Extraction et dosage des sucres solubles

Pour le dosage des sucres solubles, nous avons utilisé la méthode de phénol de Dubois *et al.* (1956).

a- Extraction

Selon cette méthode, une prise d'essai de 100 mg de matière végétale est placée dans un tube à essai à laquelle sont ajoutés 3 ml d'éthanol à 80 % pour l'extraction des sucres. L'échantillon est laissé à une température ambiante pendant 48 h.

b- Dosage

Au moment du dosage, les tubes sont placés dans une étuve à 80 °C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube, sont rajoutés 20 ml d'eau distillée, correspondant à la solution à analyser. 1 ml de cette solution est mis dans des tubes à essai propres, auquel est ajouté 1 ml de solution de phénol à 5 %. Les tubes sont soigneusement agités puis dans lesquels nous avons ajouté 5 ml d'acide sulfurique concentré, la température du mélange atteint environ 110 °C. Après une agitation rapide au vortex, les tubes sont maintenus pendant 45 mn à 5 °C.

Après un séjour de 30 mn à l'obscurité, les mesures d'absorbance sont effectuées à une longueur d'onde de 485 nm, les résultats des concentrations sont donnés à partir d'une courbe étalon obtenue à partir de différentes concentrations de glucose.

V.3.2. Extraction et dosage de la proline

La proline est quantifiée par la méthode de Bergman et Loxley (1970).

a- Extraction

100 mg de matériel végétal sec sont broyés dans 1.25 ml d'éthanol 95 %, suivi de trois rinçages et lavages avec 1.25 ml d'éthanol 70 % chaque fois.

Des surnageants combinés, environ 5 ml, sont prélevés 2.5 ml auxquels sont ajoutés 1 ml de chloroforme et 1.5 ml d'eau distillée. Le matériel végétal est gardé toute une nuit au froid à 0 °C.

b- Dosage

Chapitre III :

Résultats et

discussion

I. Etude morphométrique

I.1. Morphométrie des touffes d'alfa des quatre provenances

Les paramètres mesurés (hauteur moyenne, diamètre moyen et circonférence moyenne) sur les touffes d'alfa dans les quatre stations d'études sont représentés par la figure 20.

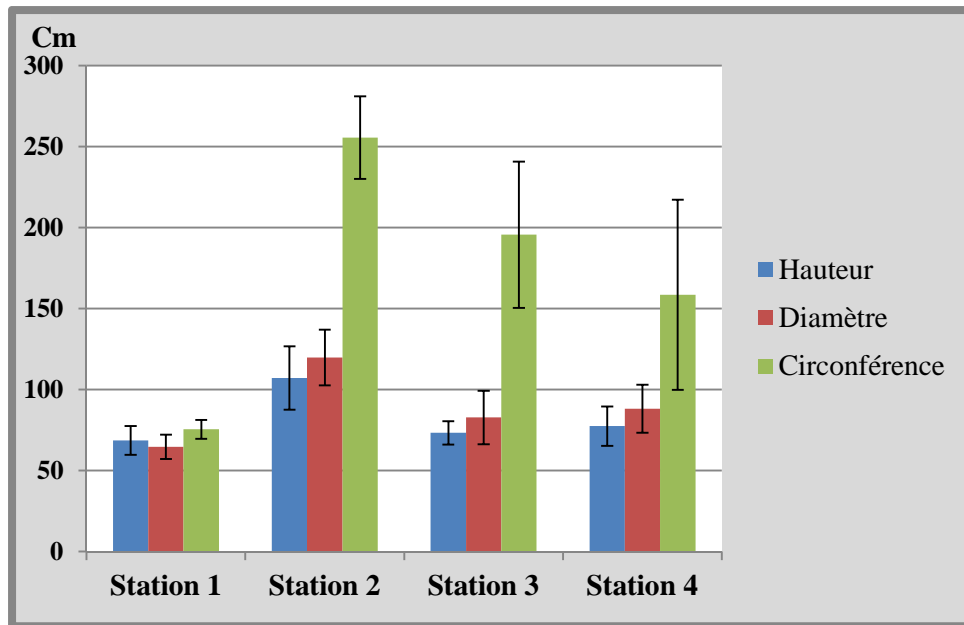


Figure 20 : Hauteurs, diamètres et circonférences moyens des touffes des quatre stations.

- pour la hauteur moyenne, la station 2 (forêt de Messer) présente la plus grande moyenne (107 cm), tandis que celle de la 1er station (Tessala) présente la plus faible moyenne (68,5 cm), viennent ensuite, les stations 3 (Ras El Ma) et 4 (Bénisaf) avec des moyennes respectives de 73,26 et 77,4 cm.
- concernant le diamètre moyen, la station 2 (forêt de Messer) présente aussi la plus importante moyenne avec 119,66 cm, suivie par la station 4 (Béni-Saf) qui présente une moyenne de 88,06 cm. Les stations 3 "Ras El Ma" et 1(Tessala) viennent après avec des moyennes respectives de 82,66 et 64,6 cm.
- pour la circonférence moyenne, c'est toujours la station 2 qui présente une moyenne très importante, de l'ordre de l'ordre de 255,46 cm ; notons aussi que la station 1 (Tessala) présente la plus faible moyenne (75,4 cm), suivent la station 3 (Ras El Ma) et 4 (Béni-Saf) avec les moyennes respectives de 195,53 et 158,46 cm.

I.1.1. Traitement des données

I.1.1.1. La hauteur moyenne

L'analyse de la variance à un seul critère de classification (station) montre qu'il existe des différences très hautement significatives [$P < 0,001$] concernant la hauteur moyenne des touffes des quatre provenances. En effet, il en ressort que la station 2 (forêt de Messer) présente la moyenne la plus importante (107 cm), tandis que la station 1 (Tessala) présente la moyenne la plus inférieure (68,5 cm), nous avons aussi la station 3 (Ras El Ma) et la station 4 (Béni-Saf) avec des moyennes intermédiaires respectives de 73,26 cm et 77,40 cm.

I.1.1.2. Le diamètre moyen

Nous avons constaté des variabilités très hautement significatives entre les moyennes du diamètre des touffes dans nos quatre stations d'étude, confirmées par l'analyse de la variance à un seul critère de classification (station) [$P < 0,001$].

Les résultats dégagés de l'analyse statistique indiquent que la station 2 (forêt de Messer) enregistre la moyenne la plus importante de l'ordre de 119,66 cm, alors que la station 1 (Tessala) enregistre une moyenne très faible de 64,6 cm, nous avons aussi la station 3 (Ras El Ma) et la station 4 (Béni-Saf) avec des moyennes intermédiaires respectives de 82,66 cm et 88,06 cm.

I.1.1.3. Circonférence moyenne

Après analyse statistique nous remarquons que la station 2 (forêt de Messer) présente la moyenne la plus importante (255,46 cm), alors que la station 1 (Tessala) enregistre la moyenne la plus réduite (75,4 cm). Viennent après la station 3 (Ras El Ma) et la station 4 (Béni-Saf). Ces variabilités très hautement significatives, sont confirmées par l'analyse de la variance à un seul critère de classification [$P < 0,001$].

Nous remarquons qu'il existe une variabilité très hautement significative entre les moyennes de chacun des paramètres biométriques mesurés sur les touffes des différentes provenances, confirmée par l'analyse de la variance à un seul critère de classification (Station) [$P < 0,001$].

Pour chacun des trois paramètres mesurés, les touffes d'alfa de la station 2 "Forêt de Messer" sont les plus développées sur les plans hauteur, diamètre et circonférence. Cependant, les touffes de la station 1 "Tessala" restent les touffes les moins développées. Cela pourrait s'expliquer par les conditions du milieu qui diffèrent entre les quatre stations d'étude comme il

a été démontré dans la partie présentation (climat et sol) des stations d'étude. En effet la pluviométrie et les températures restent les facteurs prépondérants régissant l'évolution, le fonctionnement et la dynamique de l'alfa (Aidoud, 1989 ; Aidoud & Touffet, 1996). Les conditions climatiques de chaque station doivent être prises en considération car cela joue un rôle très important dans le développement morphologique de la plante. La station 2 (forêt de Messer) par exemple la où notre espèce est très bien développée présente une période sèche d'environ six mois, plus courte que celle des autres stations, et une période humide dépassant cinq mois, ce qui a fort probablement contribué dans ce bon développement.

D'autre part, des études plus poussées d'ordre génétiques pourraient contribuer à lever la lumière sur ces différences morphologiques. Une adaptation aux conditions du milieu qui serait traduite par une modification du génome des plantes dans chacune de nos stations, serait une des hypothèses la plus plausible pour expliquer ces différences.

Selon Rhanem (2009), les deux facteurs combinés (température et pluviométrie) ne sont pas les seuls facteurs climatiques agissant sur les conditions de vie de l'alfa et de son cortège d'espèces végétales steppiques ; mais ils sont prédominants. En effet, ces facteurs présentent d'étroites corrélations avec d'autres paramètres climatiques, tels que l'humidité relative, le vent et l'insolation.

Nous pouvons ainsi dire d'après nos résultats que l'alfa prospère dans un milieu steppique aride (cas de Ras El Ma), mais aussi dans le semi-aride où son installation se fait progressivement (cas de la forêt de Messer et du littoral de Béni-Saf). Donc, nous assistons à une remontée de cette espèce vers le Nord qui s'explique certainement par les changements climatiques et le basculement des étages bioclimatiques qui s'opèrent actuellement. Ajoutons à cela et conformément aux travaux de Kadi-Hanifi (2003) menés sur la diversité biologique et phytogéographique des formations à *Stipa tenassicima* L. en Algérie, la remontée des espèces steppique vers le Nord du pays est la conséquence de la dénudation de la surface du sol.

D'autre part, il est très important de noter qu'une variabilité d'ordre génétique entre les plantes de chaque station étudiée peut être la clé de cette hétérogénéité enregistrée dans nos travaux. En effet, Boussaid *et al.* (2012) dans leur étude sur la variation génétique des populations naturelles de *stipa tenassicima* L. ont évalué le niveau de diversité génétique de 17 populations d'alfa et ils ont découvert que toutes les populations échantillonnées dans le domaine de la steppe sont diploïdes ($2n = 2 \times = 24$), et ceux prélevés dans la zone sèche

étaient hexaploïdes ($2n = 6 \times 72$). Il se peut ainsi qu'il puisse exister une telle variation génétique qui caractérise chacune de nos stations d'étude. Cependant, il est nécessaire de compléter nos résultats avec des techniques modernes d'analyse moléculaire (PCR) afin de mieux cerner cette variabilité.

I.2. Morphométrie des panicules

Les mesures effectuées sur les différentes pièces florales des panicules des touffes dans les quatre stations d'étude sont représentées par la figure 30.

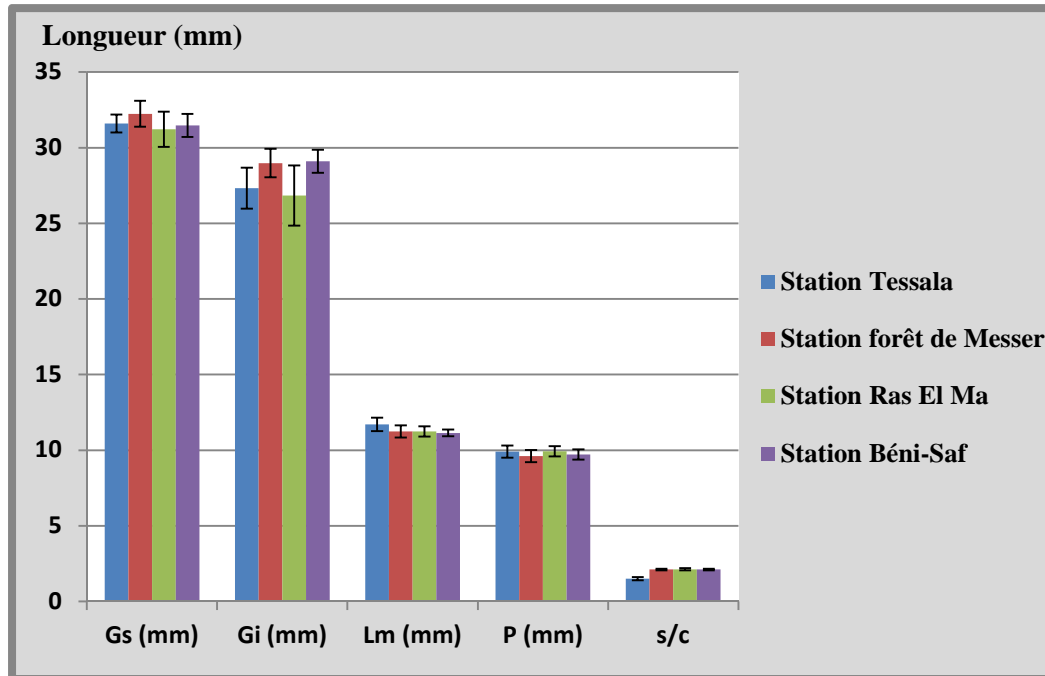


Figure 21 : Mesures moyennes des paramètres morphologiques étudiés.

De la figure 21 il ressort que :

- la glume supérieure présente une moyenne plus importante dans la station de Messer avec 32,246 mm, cependant la station de Ras El Ma enregistre la moyenne la plus faible et qui est de 31,214 mm,
- pour la glume inférieure, c'est la station de Béni-Saf qui présente la moyenne la plus élevée (29,111 mm), alors que la station de Tessala enregistre la moyenne la plus réduite de 27,324 mm,
- la glumelle supérieure ou lemme enregistre une moyenne plus élevée dans la station de Tessala et qui est de l'ordre de 11,7 mm, tandis que la station de Béni-Saf présente la moyenne la plus faible (11,144 mm),
- la glumelle inférieure ou paléole présente une moyenne plus importante dans la station de Ras El Ma (9,926 mm) et la station de Messer enregistre une moyenne la plus inférieure de 9,608 mm.
- Pour le rapport Séta/Columna, il est plus élevé dans la station de Ras El Ma (2,129) et réduit dans la station de Tessala (1,502).

II.2.1. Traitement des données

II.2.1.1. Comparaison entre les touffes de la même station

L'analyse de la variance à un seul critère de classification (touffe), montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les touffes de chaque station ($P > 0,05$) pour chacun des paramètres floraux mesurés. Ce qui laisse penser qu'il n'existe donc pas de variabilité à l'intérieur des stations concernant la longueur des différentes pièces florales mesurées.

II.2.1.2. Comparaison entre les touffes des quatre stations

- La longueur de la glume supérieure

Les résultats obtenus de l'analyse statistique des longueurs de la glume supérieure dans nos quatre stations montrent que la moyenne est plus élevée dans la station 2 "Forêt de Messer" (32,246 mm), tandis que dans la station 1 "Tessala", la station 3 "Ras El Ma", la station 4 "Béni-Saf", elle est respectivement de 31,593, 31,214 et 31,475 mm.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification (station) indique qu'il existe des différences significatives ($P < 0,05$) entre les stations étudiées concernant la longueur de la glume supérieure.

Le tableau 26 représente l'analyse de la différence entre les stations en les comparants deux à deux par le test de Fisher. Le tableau 27 nous renseigne sur les moyennes de la longueur de la glume supérieure ainsi que les similarités entre les groupes de stations.

Tableau 26 : Analyse des différences entre les stations (test de Fisher).

Contraste	Différence	Pr > Diff	Significatif
St2 vs St3	1,032	0,002	Oui
St2 vs St4	0,771	0,019	Oui
St2 vs St1	0,650	0,046	Oui
St1 vs St3	0,382	0,235	Non
St1 vs St4	0,121	0,705	Non
St4 vs St3	0,261	0,416	Non

St 1 : Station 1 (Tessala) ; **St 2 :** Station 2 (forêt de Messer) ; **St 3 :** Station 3 (Ras El Ma) ; **St 4 :** Station 4 (Béni-Saf).

Tableau 27 : Groupes et moyennes des modalités (stations).

Modalités	Moyennes	Groupes	
St2	32,246	A	
St1	31,596		B
St4	31,475		B
St3	31,214		B

L'analyse des tableaux 26 et 27, fait ressortir les différences existantes entre nos stations. Nous pouvons facilement distinguer que la station 2 "Forêt de Messer" est classée dans un groupe à part (A) avec une moyenne des plus importante qui est de 32,246 mm. Suivent les autres stations qui sont classées dans le groupe B avec des moyennes comparables de 31, 596 ; 31,475 ; 31,214 mm pour respectivement la station 1 "Tessala", la station 4 "Béni-Saf" et la station 3 "Ras El Ma".

- La longueur de la glume inférieure

L'analyse statistique des résultats obtenus des longueurs de la glume inférieure dans les quatre stations fait ressortir que la station 4 "Béni-Saf" et la station 2 "Forêt de Messer" présentent des moyennes plus élevées et qui sont respectivement de 29,111 mm et 28, 981 mm. Nous avons ensuite les stations 1 "Tessala" et 3 "Ral El Ma" avec respectivement des moyennes de 27,324 mm et 26,841 mm.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification (station), fait ressortir l'existence des différences très hautement significatives [$P < 0,001$] entre les quatre stations étudiées pour ce qui est de la longueur de la glume inférieure.

Le tableau 28 représente l'analyse de la différence entre les stations en les comparants, deux à deux, par le test de Fisher. Le tableau 29 nous renseigne sur les moyennes de la longueur de la glume inférieure et les similarités entre les groupes de stations.

Tableau 28 : Analyse des différences entre les stations (test de Fisher).

Contraste	Différence	Pr > Diff	Significatif
St4 vs St3	2,270	< 0,0001	Oui
St4 vs St1	1,787	0,001	Oui
St4 vs St2	0,130	0,793	Non
St2 vs St3	2,140	< 0,0001	Oui
St2 vs St1	1,657	0,001	Oui
St1 vs St3	0,483	0,332	Non

St 1 : Station 1 (Tessala) ; **St 2** : Station 2 (forêt de Messer) ; **St 3** : Station 3 (Ras El Ma) ; **St 4** : Station 4 (Béni-Saf).

Tableau 29 : Moyennes et groupes des stations.

Modalité	Moyenne	Groupes	
St4	29,111	A	
St2	28,981	A	
St1	27,324		B
St3	26,841		B

L'analyse des tableaux 28 et 29 fait ressortir les différences existantes entre les stations. Nous pouvons ainsi facilement distinguer que les stations 4 "Béni-Saf" et 2 "Forêt de Messer" avec des moyennes respectives de 29,111 et 28,981 mm sont classées dans un groupe à part (A) et les deux autres stations, en l'occurrence les stations 1 "Tessala" et 3 "Ras El Ma" avec des moyennes respectives comparables de 27,324 et 26,841 mm sont classées dans le groupe B.

- La longueur de la lemme (glumelle supérieure)

Les résultats dégagés de l'analyse statistique montrent que la station 1 "Tessala" présente une moyenne supérieure de 11,7 mm, tandis que les autres stations présentent des moyennes respectives de 11,243 ; 11,235 et 11,145 mm pour la station 2 "Forêt de Messer", la station 3 "Ras El Ma" et la station 4 "Béni-Saf".

De l'analyse de la variance, nous avons pu déduire qu'il existe des différences très hautement significatives [$P < 0,001$] entre les différentes stations concernant la longueur de la lemme (glumelle supérieure).

Le tableau 30 représente l'analyse des différences entre les stations en les comparants deux à deux par le test de Fisher. Le tableau 31 nous renseigne sur les moyennes de la glumelle supérieure (lemme) et les similarités entre les groupes de nos stations.

Tableau 30 : Analyse des différences entre les stations (test de Fisher).

Contraste	Différence	Pr > Diff	Significatif
St1 vs St4	0,556	0,000	Oui
St1 vs St3	0,465	0,001	Oui
St1 vs St2	0,457	0,001	Oui
St2 vs St4	0,098	0,469	Non
St2 vs St3	0,008	0,955	Non
St3 vs St4	0,090	0,505	Non

St 1 : Station 1 (Tessala) ; **St 2** : Station 2 (forêt de Messer) ; **St 3** : Station 3 (Ras El Ma) ; **St 4** : Station 4 (Béni-Saf).

Tableau 31 : Moyennes et groupes des stations.

Modalité	Moyenne	Groupes	
St1	11,700	A	
St2	11,243		B
St3	11,235		B
St4	11,145		B

Après analyse des tableaux 30 et 31, nous remarquons que la station 1 "Tessala" avec une moyenne supérieure de 11,7 mm est classée dans un groupe à part (A), les trois stations restantes : la station 2 (forêt de Messer), la station 3 (Ras El Ma) et la station 4 (Bani-Saf) avec des moyennes comparables et respectivement de l'ordre de 11,243 ; 11,235 et 11,145 mm sont classées dans le groupe inférieure (B).

- La longueur de la paléole (glumelle inférieure)

L'analyse statistique des résultats obtenus démontre que la station 3 "Ras El Ma" présente une moyenne un peu supérieure de 9,927 mm, suivent les stations: 1 "Tessala", 4 "Béni-Saf" et 2 "Forêt de Messer" avec des moyennes respectives de 9,907 ; 9,726 et 9,609 mm.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification (station) montre que ce paramètre ne varie pas significativement entre les stations étudiées [$P > 0,05$].

- Le rapport Séta/Columna

L'analyse statistique des résultats obtenus montrent que la station 1 "Tessala" présente une moyenne inférieure de 1,502. Tandis que les autres stations, en l'occurrence la station 3 "Ras

El Ma", la station 2 "Forêt de Messer" et la station 4 "Béni-Saf" présentent des moyennes respectives de 2,129 ; 2,116 et 2,114.

L'analyse de la variance à un seul critère de classification (station), montre qu'il existe des différences très hautement significatives [$P < 0,001$] entre les stations étudiées concernant le rapport Séta/Columna.

Le tableau 32 représente l'analyse de la différence entre les stations en les comparants, deux à deux, par le test de Fisher. Le tableau 33 nous renseigne sur les moyennes du rapport Séta/columna et les similarités entre les groupes de nos stations.

Tableau 32 : Analyse des différences entre les stations (test de Fisher).

Contraste	Différence	Pr > Diff	Significatif
St3 vs St1	0,627	< 0,0001	Oui
St3 vs St4	0,016	0,603	Non
St3 vs St2	0,013	0,659	Non
St2 vs St1	0,614	< 0,0001	Oui
St2 vs St4	0,002	0,937	Non
St4 vs St1	0,612	< 0,0001	Oui

St 1 : Station 1 (Tessala) ; **St 2 :** Station 2 (forêt de Messer) ; **St 3 :** Station 3 (Ras El Ma) ; **St 4 :** Station 4 (Béni-Saf).

Tableau 33 : Moyennes et groupes des stations.

Modalité	Moyenne	Groupes	
St3	2,129	A	
St2	2,116	A	
St4	2,114	A	
St1	1,502		B

L'analyse des tableaux 32 et 33 permet de faire ressortir que la station 1 "Tessala" avec une moyenne de 1,502 qui est inférieure aux autres stations étudiées, est classée dans le groupe B. Alors que les stations : 3 "Ras El Ma", 2 "Forêt de Messer" et la station 4 "Béni-Saf" avec des moyennes comparables, respectivement de l'ordre de 2,129 ; 2,116 et 2,114 sont classées dans le groupe A.

IV.2. Analyse des composantes principales (ACP)

L'analyse des composantes principales (A.C.P) indique les hétérogénéités et les affinités entre les mesures effectuées et les différentes stations d'échantillonnages.

La matrice de l'analyse en composantes principales (tab. 34) comporte l'ensemble des résultats obtenus des différents paramètres mesurés considérés comme variables et qui sont au nombre de cinq (5). Les individus qui sont au nombre de quatre (4) sont représentés par les stations d'études. Pour cela des abréviations mentionnées au-dessous de la matrice sont affectées aux variables et aux individus.

Le tableau 34 représente une matrice de données relative aux longueurs moyennes des différentes pièces florales relevées sur les panicules des touffes d'alfa des quatre stations d'étude.

Tableau 34 : Matrice de données.

	gs	gi	lm	p	S/C
St 1	31,596	27,324	11,7	9,907	1,502
St 2	32,246	28,98	11,242	9,608	2,116
St 3	31,214	26,841	11,235	9,926	2,129
St 4	31,475	29,111	11,144	9,725	2,113

gs : glume supérieure ; **gi** : glume inférieure ; **lm** : lemme ou glumelle supérieure ; **p** : paléole ou glumelle inférieure ; **S/C** : rapport séta/columna ; **St 1** : station 1 "Tessala" ; **St 2** : station 2 "Forêt de Messer" ; **St 3** : station 3 "Ras El Ma" ; **St 4** : station 4 "Bani-Saf.

II.2.1.3. Analyse du cercle de corrélation des variables (paramètres mesurés)

Sur le plan factoriel $F1 \times F2$ sont représentées les ségrégations secrétées par l'A.C.P concernant les différents paramètres mesurés. Au niveau de ce plan 63,59 % de l'information est expliquée par l'axe 1, contre 30,81 % donnée par l'axe 2.

En analysant les contributions que prend chaque paramètre sur l'axe 1 horizontal du cercle des corrélations (fig. 30), nous constatons que la glume inférieure (gi) présente la plus forte contribution (+ 0,8892), ce qui explique que cet axe est celui de la glume inférieure. Sur ce même axe, à l'opposé de la glume inférieure (gi), la paléole (p) présente la plus faible contribution (- 0,9495).

L'axe 2 du cercle des corrélations est l'axe du rapport séta/columna (S/C) étant donné que celui-ci présente la plus forte contribution (+ 0,6534). A l'opposé de cet axe, sur le côté négatif du cercle, la glume supérieure (gs) présente la plus faible contribution (- 0,7197).

En prenant en considération les contributions que prend chaque paramètre dans le cercle des corrélations au niveau de l'axe 1 qui explique 63,59 % de l'information, l'A.C.P fait ressorti deux grands groupes statistiquement homogènes :

- Groupe 1 (Gr 1) : situé sur le côté positif de l'axe de la glume inférieure (gi), englobe la glume inférieure (+ 0,8892), le rapport Séta/Columnna (+ 0,7316), la glume supérieure (+ 0,6182).
- Groupe 2 (Gr 2) : localisé sur le côté négatif de l'axe de la glume inférieure, c'est à dire à l'opposé du premier groupe, il est représenté par la paléole ou glumelle inférieure (- 0,9495) et la lemme ou glumelle supérieure (- 0,7548).

Tableau 35 : Contribution des variables biométriques aux axes 1 et 2.

Variabes	Facteur 1	Facteur 2
gs	0,618214	-0,719762
gi	0,889254	-0,259270
lm	-0,754817	-0,655931
p	-0,949576	0,313509
s/c	0,731682	0,653449

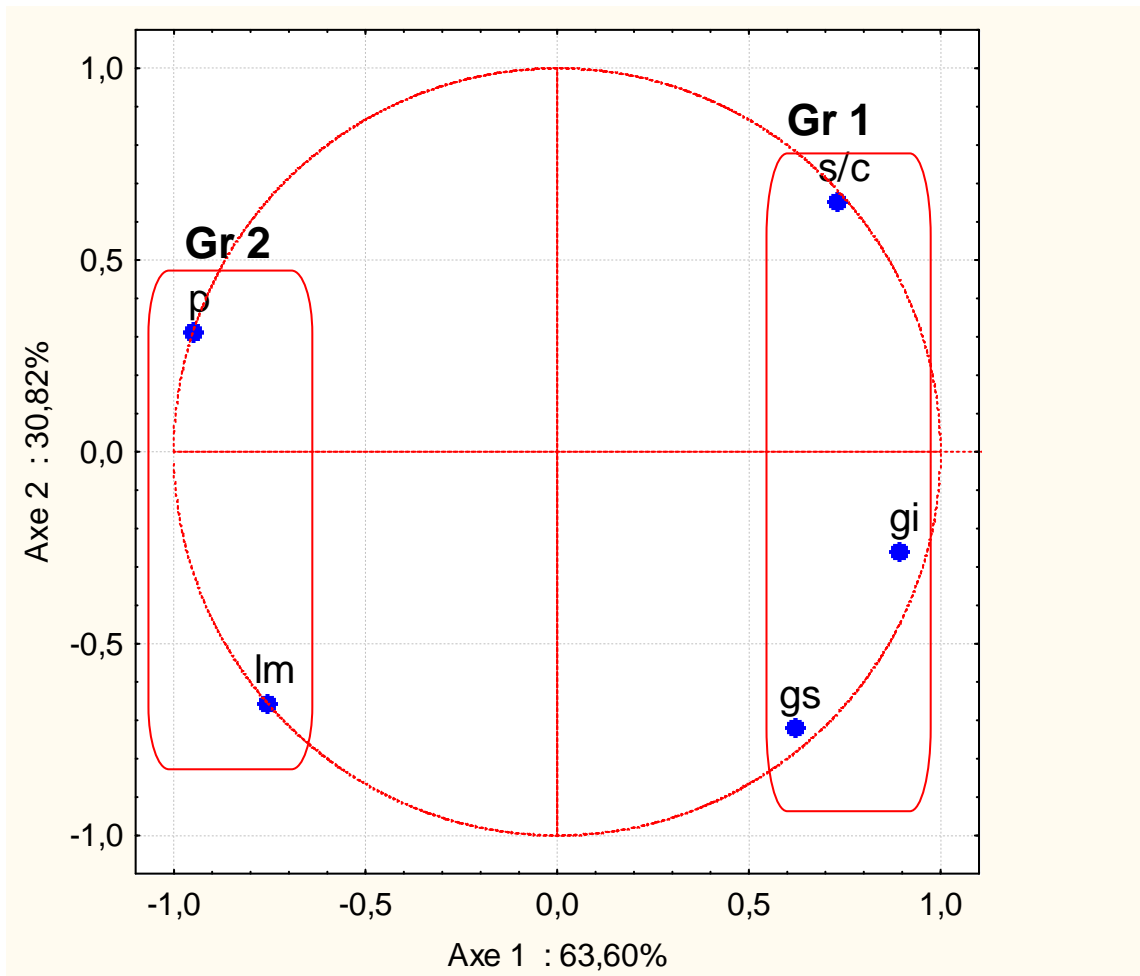


Figure 22 : Cercle de corrélation des variables biométriques.

gs : Glume supérieure ; **gi :** Glume inférieure ; **lm :** Glumelle supérieure (lemme) ; **p :** Glumelle inférieure (paléole) ; **s/c :** Séta/columna.

II.2.1.4. Analyse du plan factoriel des individus (les stations étudiées)

L'axe 1 montre que les stations étudiées sont bien représentées et rapporte beaucoup plus d'information (63,59 %). La contribution des différents individus (tab. 36) et la projection des différents organes sur le plan factoriel (F1 \times F2) (fig. 31) ont permis de mettre en évidence deux grand groupes répartis sur les deux côtés de l'axe 1 :

un groupe du côté positif :

- **le groupe 1 (Gr 1) :** formé par la station 2 "Forêt de Messer" (+ 1,8728) et la station 4 "Béni-Saf" (+ 1,0727), ce groupe est corrélé au groupe 1 comportant : la glume inférieure (gi), rapport Séta/Columna et la glume supérieure (gs).

Un groupe du côté négatif :

- **le groupe 2 (Gr 2)** : formé par la station 1 "Tessala" (- 1,9936) et la station 3 "Ras El Ma" (- 0,9520), ce groupe est corrélé au groupe 2 comportant : la paléole ou glumelle inférieure et la lemme ou glumelle supérieure.

Tableau 36 : Contribution des individus aux axes 1 et 2.

Individus	Fact 1	Fact 2
Station 1	-1,99361	-1,19499
Station 2	1,87286	-0,83732
Station 3	-0,95202	1,47886
Station 4	1,07278	0,55345

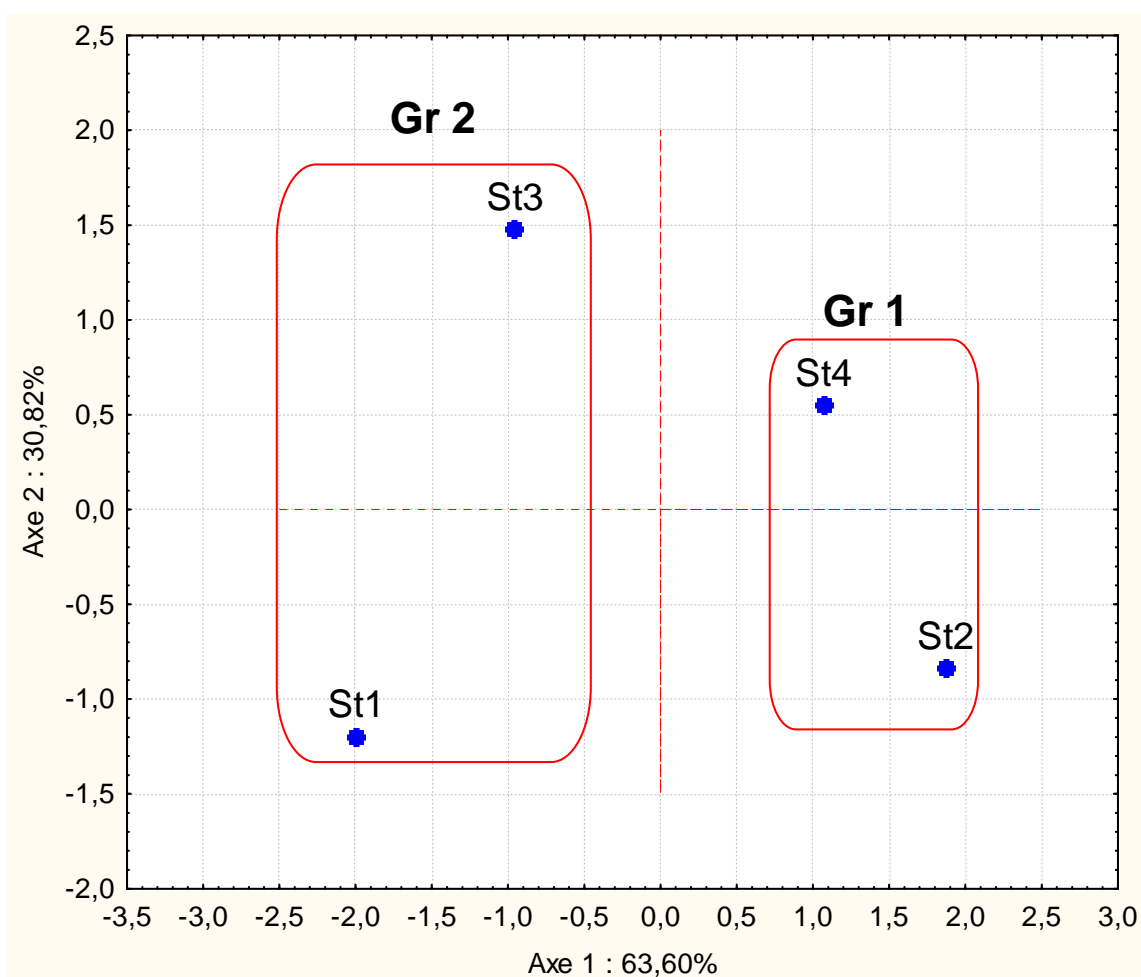


Figure 23 : Projection des individus sur le plan factoriel (F1 \times F2).

St 1 : Station 1 (Tessala) ; **St 2** : Station 2 (forêt de Messer) ; **St 3** : Station 3 (Ras El Ma) ; **St 4** : Station 4 (Béni-Saf).

Cette étude aborde la diversité morphométrique florale de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) évoluant dans quatre stations différentes du point de vue nature du substrat et ambiance climatique. Toute en sachant que les caractères morphologiques constituent actuellement la majorité des caractères utilisés pour la détermination pratique des plantes et beaucoup d'entre eux sont à la base des hypothèses concernant les relations phylogéniques (Djé *et al.*, 2007).

Ces caractères ont été utilisés bien avant les arguments anatomiques et moléculaires et ils furent les principales sources de données taxonomiques (Walter *et al.*, 2000).

L'analyse en composantes principales (ACP) des différents paramètres morphologiques étudiés a fourni beaucoup d'informations pour ce qui des affinités de ces derniers avec les stations en question.

En prenant en compte les contributions que prend chaque paramètre dans le cercle des corrélations, l'ACP a fait ressortir deux groupes statistiquement homogènes. Nous avons du côté positif de l'axe 1 (l'axe de la glume inférieure), le groupe 1 comportant la glume inférieure, la glume supérieure et le rapport séta/columna. Ce groupe présente des affinités avec la station 2 "Forêt de Messer" et la station 4 "Béni-Saf".

Toujours sur l'axe 1, nous avons le groupe 2 du côté négatif constitué par la glumelle supérieure (lm) et la glumelle inférieure (p), qui est corrélé aux stations 1 "Tessala" et 3 "Ras El Ma". Ceci laisse penser à l'existence chez l'alfa, de plusieurs écotypes dont certains sont similaires entre eux et d'autres non en ce qui concerne les caractères biométriques se rapportant à certaines pièces florales. Cette similarité ou non similarité serait sûrement due aux variations de certaines propriétés physico-chimiques du substrat et des caractéristiques climatiques des quatre stations d'échantillonnage. Cependant, la variation d'ordre génétique semble être l'explication la plus plausible expliquant cette hétérogénéité mise en évidence entre nos différentes stations.

Les travaux réalisés dans ce contexte sont restreints. Nous citons à titre d'exemple, ceux de Raffaelli et Ricci (1989) qui ont décrit de nouvelles espèces se rattachant au complexe de *Stipa tenacissima* L. en Tunisie. Ces deux auteurs ont décrit et caractérisé morphologiquement des espèces se rattachant au complexe *Stipa tenacissima* L. en utilisant le rapport Séta/Columna (S/C) parmi les paramètres pris en considération.

Par ailleurs, Gemou (2010) a contribué à l'évaluation de la diversité génétique de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) dans la région de Tiaret.

Nous avons pu remarquer dans notre étude qu'il n'existe pas de différences significatives après analyse de la variance [$P > 0,05$] dans chacune des stations étudiées pour l'ensemble des paramètres morphologiques mesurés. Par conséquent, il est probable qu'il n'existe donc pas de variabilité à l'intérieur de chacune des populations d'alfa étudiées. Ces résultats vont à l'encontre des résultats obtenus dans les travaux réalisés par Guemou (2010), où il avait décrit une hétérogénéité à l'intérieur de deux stations dans la région de Tiaret se rattachant à la couleur des panicules (vertes et rouges). Toutefois, il a aussi révélé une hétérogénéité après analyse globale des caractères mesurés entre les deux stations, ce qui rejoint nos résultats. En effet, nous avons mis en évidence une variabilité entre nos quatre stations étudiées pour tous les paramètres sauf pour la glumelle inférieure (paléole).

Cette variabilité morphologique constatée peut être d'ordre génétique. De ce fait, il serait nécessaire de compléter ces résultats par des analyses moléculaires (PCR) afin de mieux cerner cette variabilité. Cette technique a été utilisée par Boussaid *et al.* (2012) afin d'évaluer le niveau de la diversité génétique et de la structure génétique de 17 populations d'alfa (*Stipa tenassicima* L.) des Hauts-Plateaux d'Algérie. Ils ont toutefois montré après analyse statistique une variabilité entre les populations de 30 % et à l'intérieur des populations de 70%.

II- Anatomie et histologie des feuilles d'alfa

Le limbe a la forme d'une gouttière étroite et longue et présente un aspect circulaire sur une coupe transversale. Une coupe transversale dans la partie basale (de 10 à 15 Cm) d'une feuille d'alfa de 3^{ème} ordre et colorée au vert de méthyle/Rouge Congo permet de voir que :

- seules les parois des tissus suivants ont présenté une réaction positive au Rouge Congo, pour toutes les stations : le phloème, le mésophylle. Par contre, la réaction est faible pour les coupes de la station 2 sur les parois des fibres axiales supérieures et inférieures,
- les parois des tissus qui ont présenté une réaction positive au vert de méthyle sont les suivantes : les parois des cellules de l'épiderme (inférieur et supérieur), des fibres sous-épidermiques inférieures et supérieures, plus ou moins des fibres axiales inférieures et supérieures, des fibres latérales et des fibres extrêmes,
- le tissu fibreux est très développé (les parois sont colorées en vert par le vert de méthyle), elles sont donc lignifiées. Ce tissu est homogène depuis l'épiderme inférieur jusqu'à l'épiderme supérieur.

L'observation du lobe basal permet de décrire différents tissus depuis l'épiderme inférieur jusqu'à l'épiderme supérieur

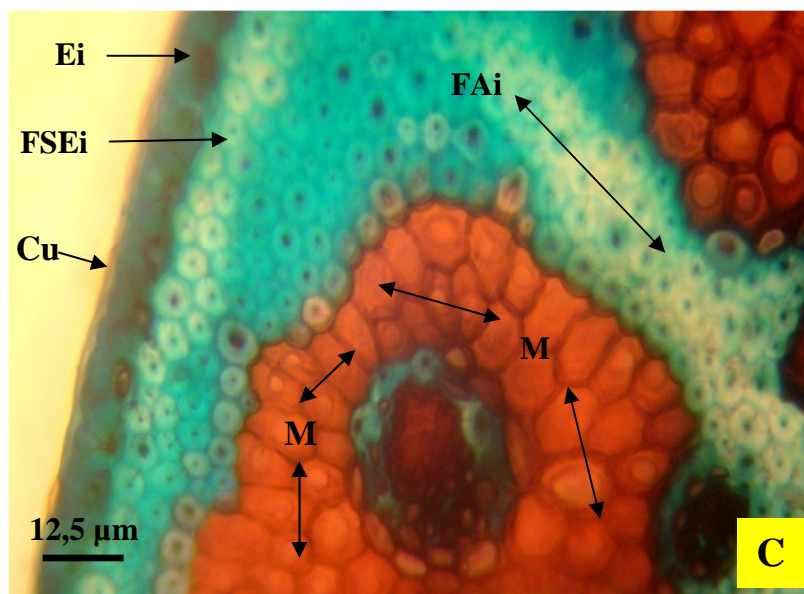
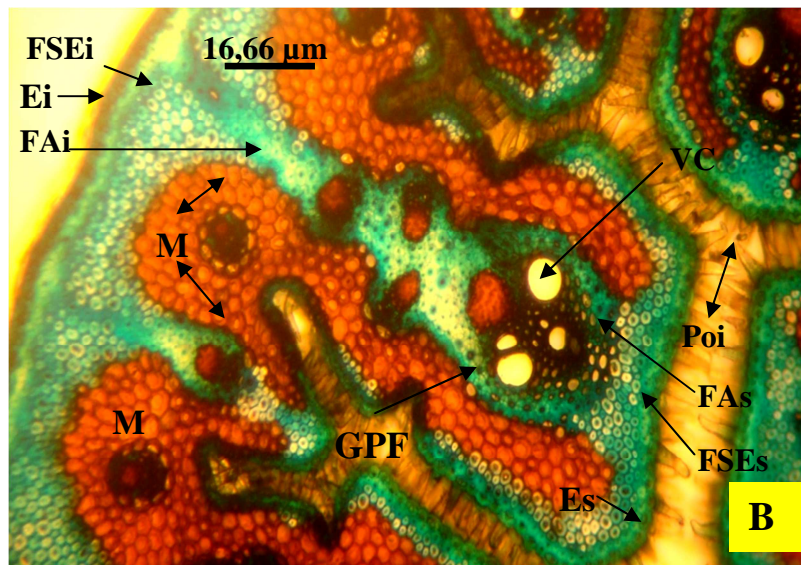
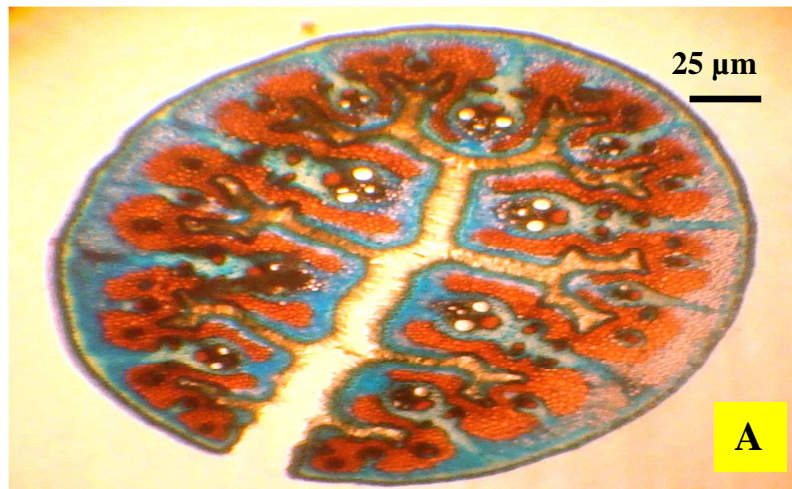
- un épiderme inférieur recouvert d'une épaisse couche de cutine (cuticule) (Pl. IV, fig. C et F) (Pl. V, fig. B), il est formé de cellules isodiamétriques disposées régulièrement en une seule assise formant un anneau continu. Selon l'épaisseur des parois des fibres ainsi que leur localisation, nous avons pu distinguer les types de fibres suivants :
 - ✓ les fibres sous-épidermiques inférieures (FSEi) dont la paroi est plus épaisse (Pl. IV, fig. E et F) (Pl. V, fig. B) (Pl. VI, fig. C) (Pl. VII, fig. D). Elles forment un anneau continu. Le diamètre des cellules est plus petit que celui des fibres que nous avons nommées axiales (FA) (Pl. IV, fig. E) (Pl. V, fig. B) (Pl. VI, fig. B) (Pl. VII, fig. B) car elles s'étendent depuis l'anneau fibreux sous-épidermique, transversalement, jusqu'au faisceau conducteur, leurs parois demeurent minces tout en étant lignifiées,
 - ✓ d'autres fibres axiales se trouvent dans la partie supérieure du lobe reliant la gaine périfasciculaire à l'épiderme supérieur par l'intermédiaire d'une ou de

deux assises discontinues de fibres sous-épidermiques supérieures (Pl. IV, fig. E) (Pl. V, fig. B) (Pl. VI, fig. F) (Pl. VII, fig. F) dont les cellules sont plus petites et légèrement plus épaisses que celles des fibres axiales supérieures,

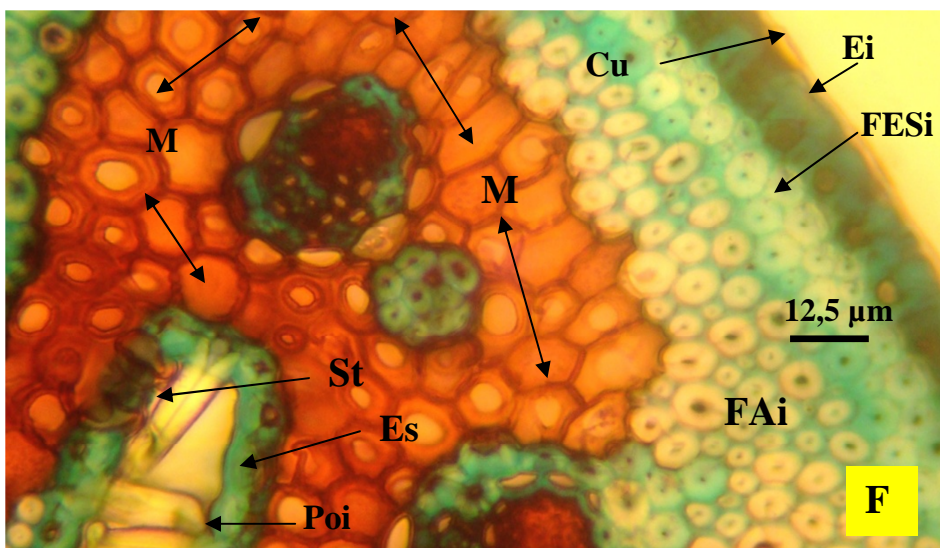
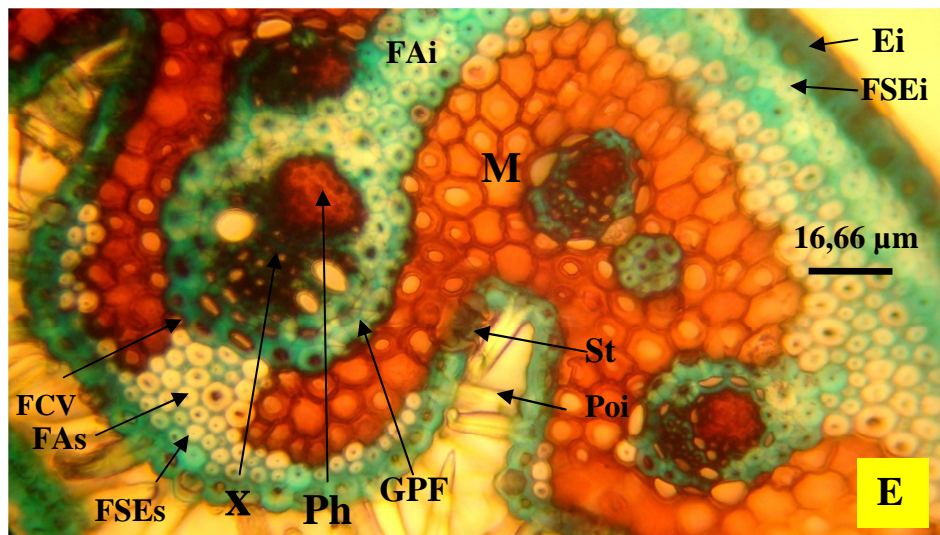
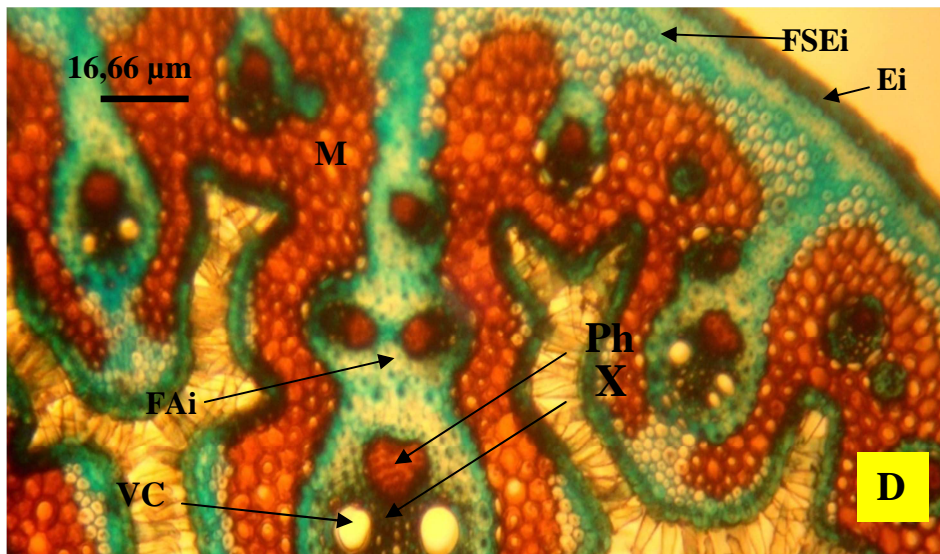
- le faisceau conducteur est entouré d'une assise de cellules épaisses : la gaine périfasciculaire (GPF) (Pl. IV, fig. E) (Pl. V, fig. D) (Pl. VI, fig. F) (Pl. VII, fig. E et F).
 - ✓ les cellules du phloème (Ph) sont à parois cellulosiques et épaisses, on y distingue le protophloème (cellules écrasées non fonctionnelles) et le métaphloème (cellules polygonales plus grandes encadrant les cellules compagnes plus petites). Quelques cellules se trouvent à la périphérie du phloème, elles constituent le parenchyme phloémien,
 - ✓ le xylème (X) est formé d'éléments lignifiés dont la différenciation est centrifuge ; comme le phloème, le xylème est représenté par le protoxylème (petits vaisseaux du côté de l'épiderme supérieur) et de métaxylème (gros vaisseaux périphériques),
- l'épiderme supérieur est très faiblement cutinisé mais contrairement à l'épiderme inférieur, il est largement recouvert de poils qui obstruent la cavité formée par le repliement du limbe. Il est aussi interrompu également de part et d'autre des lobes par des stomates. Contrairement à nos observations, Purser (1942), Geneves (1962) et Camefort (1972) ont décrit des tissus à parois cellulosiques au fond de chaque sillon, ce sont les cellules bulliformes ou cellules motrices, dont la variation de la turgescence provoque le mouvement d'ouverture et de fermeture du limbe, ce qui est une réponse immédiate à la sécheresse.
- les figures E et F, Planche IV ainsi que la figure E, Planche V et la figure F, Planche VII, montrent les stomates. Sur des coupes transversales au niveau basal d'une feuille du 3^{ème} ordre, nous distinguons facilement un stomate avec les deux cellules de garde entourées de deux cellules compagnes.
- le parenchyme est discontinu. Il se trouve protégé du milieu extérieur par le développement continu du sclérenchyme.

Nos observations rejoignent les travaux déjà réalisés, nous citons à titre d'exemple ceux de l'équipe de recherche sous la direction du professeur HARCHE concernant certaines espèces de Graminées vivaces des zones arides, notamment *Stipa tenacissima* L. (HARCHE 1978; 1985; ZERIAHENE, 1987), *Lygeum spartum* (CHADLI, 1990 ; KHELLADI, 1994), pour approfondir les connaissances sur la structure anatomique, la nature histochimique et la composition chimique pariétale des fibres, tout cela dans le but de valoriser ces espèces et d'améliorer leur exploitation.

Planche IV : Coupes transversales à main levée réalisée au niveau de la feuille d'alfa (station de Tessala), colorées par combinaison vert méthyle-rouge Congo (Kliché : Y. Moulessehoul, 2012).



Suite planche IV :

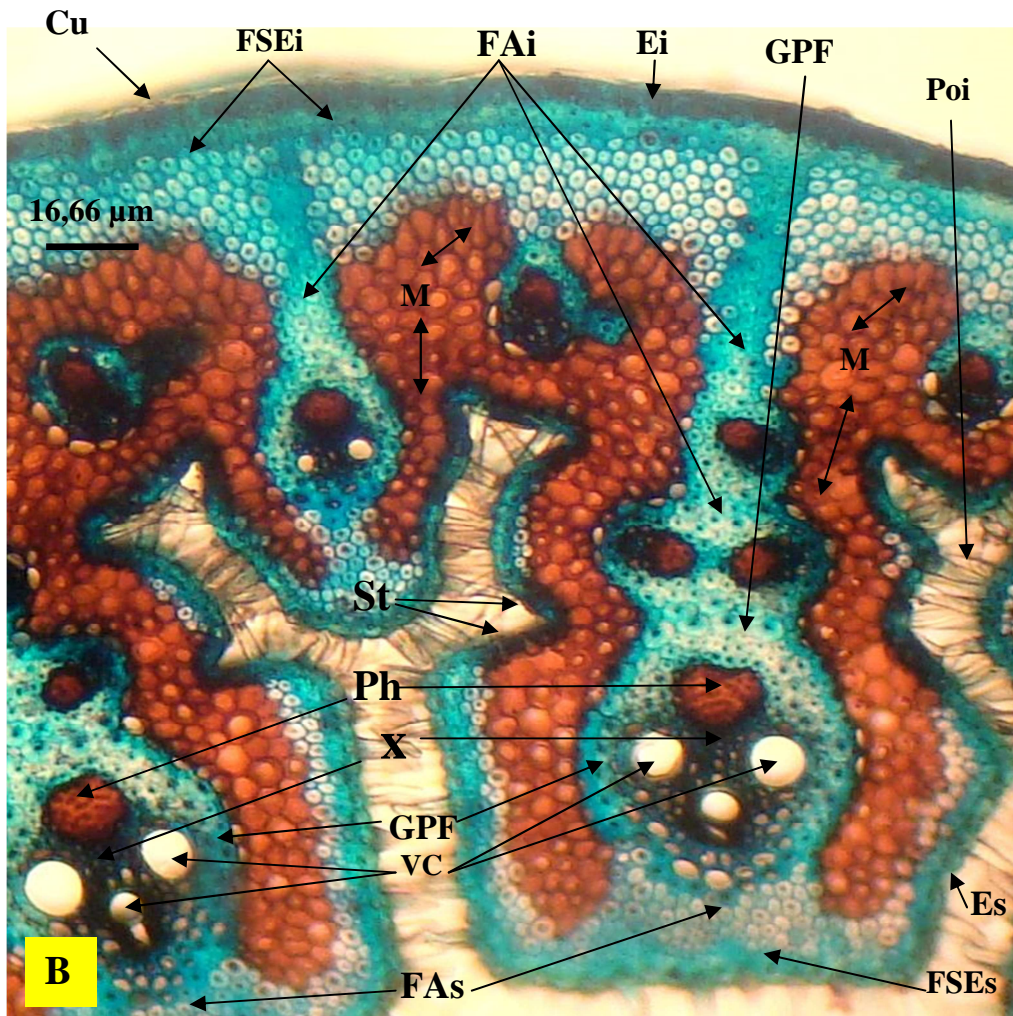
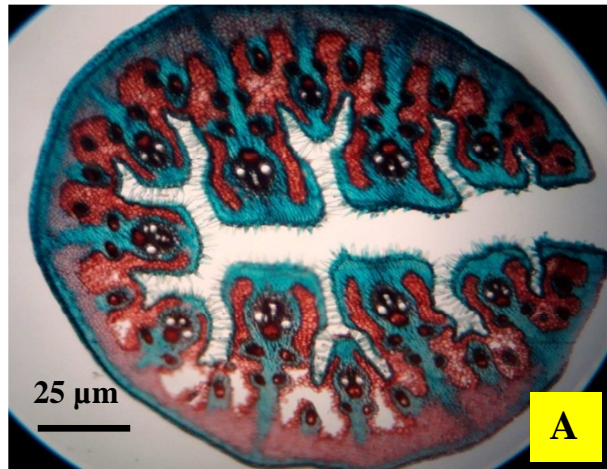


Suite planche IV :

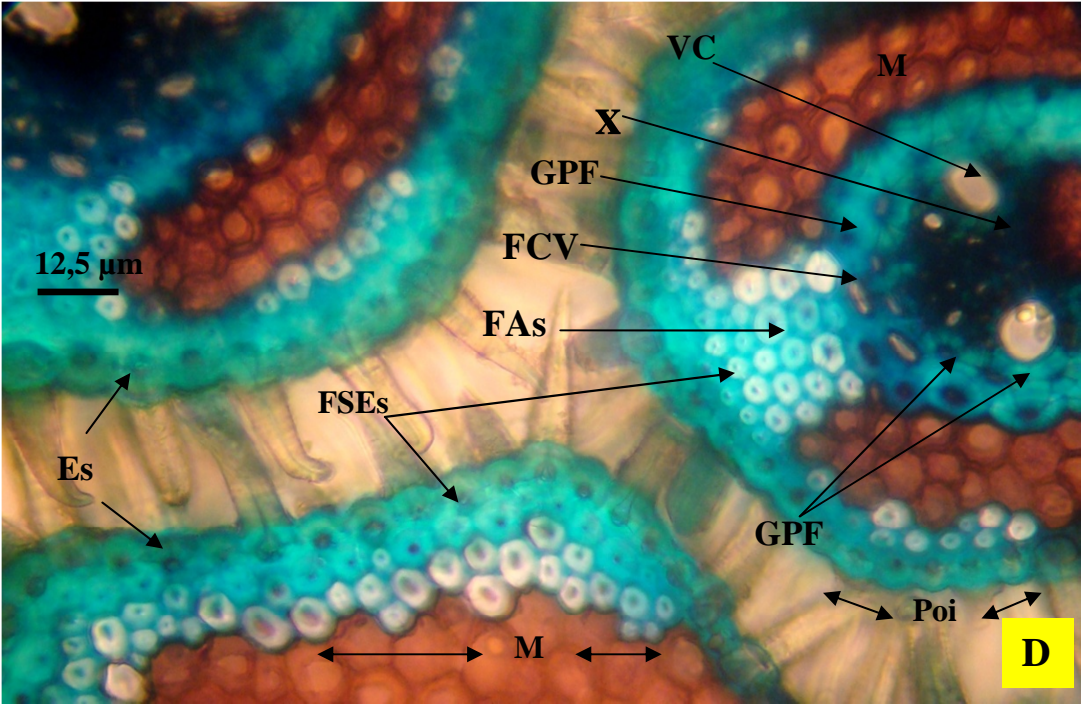
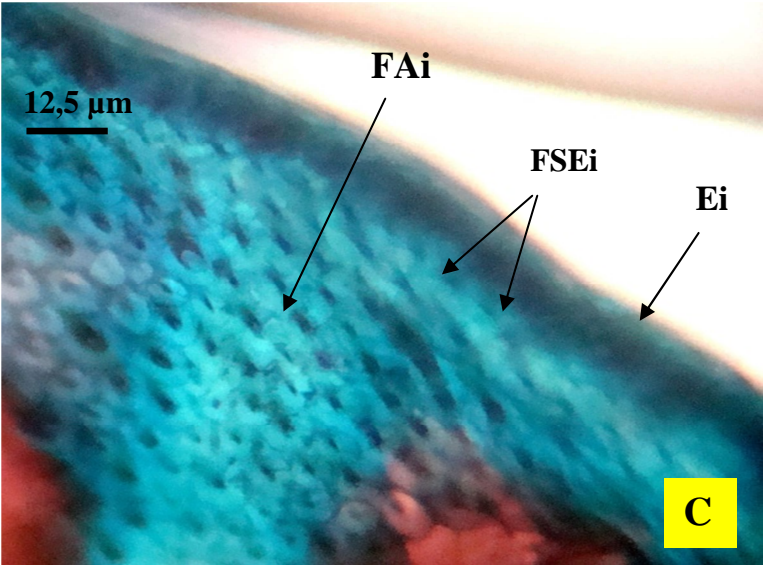
A : Vue générale d'une coupe transversale au niveau de la feuille (Gro \times 400) ; **B :** Mise en évidence des fibres (Gro \times 600) ; **C :** Mise en évidence de l'épiderme inférieur cutinisé et des fibres inférieures (Gro \times 800) ; **D :** Portion du limbe (lobe médian et lobes marginaux) (Gro \times 600) ; **E :** Mise en évidence du système conducteur (Gro \times 600) ; **F :** Mise en évidence des stomates, poils et du mésophylle (Gr \times 800).

Ei : épiderme inférieur ; **Cu :** Cutine ; **Es :** épiderme supérieur ; **M :** Mésophylle ; **GPF :** Gaine périfasciculaire ; **Ph :** Phloème ; **X :** Xylème ; **VC :** Vaisseaux conducteurs ; **FCV :** Faisceau cribro-vasculaire ; **FSEi :** Fibres sous-épidermiques inférieures ; **FAi :** Fibre axiales inférieures ; **FSEs :** Fibres sous-épidermiques supérieures ; **FAs :** Fibres axiales supérieures ; **St :** Stomate ; **Poi :** Poils.

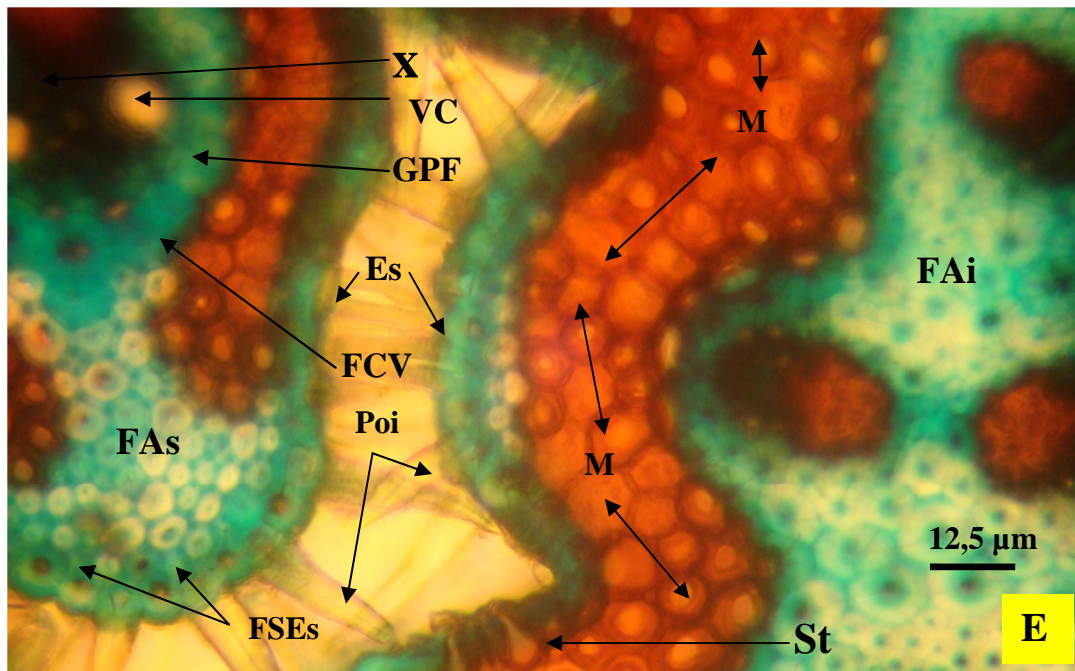
Planche V : Coupes transversales à main levée réalisées au niveau de la feuille d'alfa de la station de Messer, colorées par combinaison vert de méthyle-rouge Congo (Cliché : Y. Moulessehou, 2012).



Suite planche V :



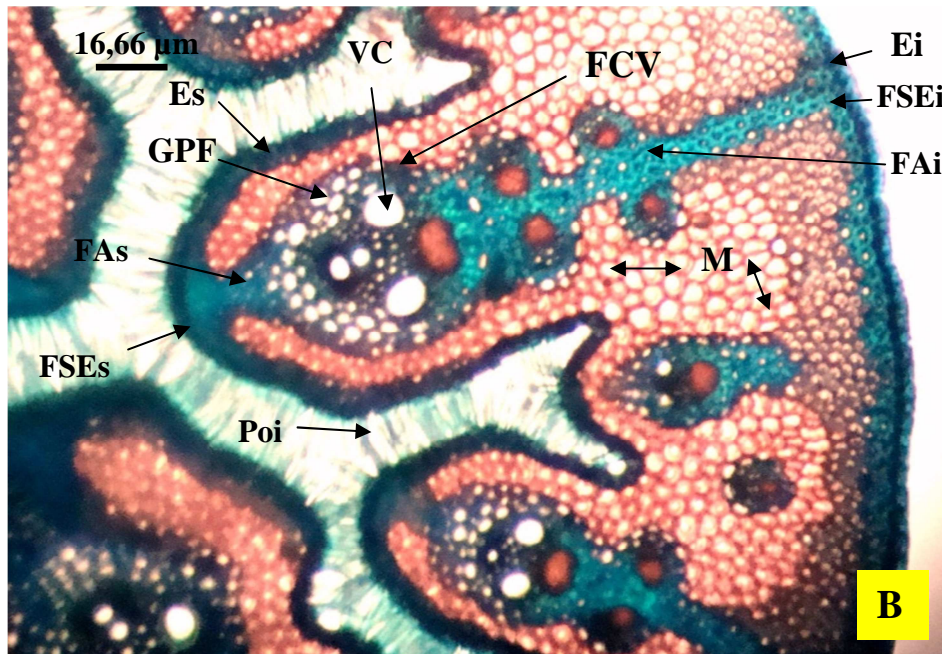
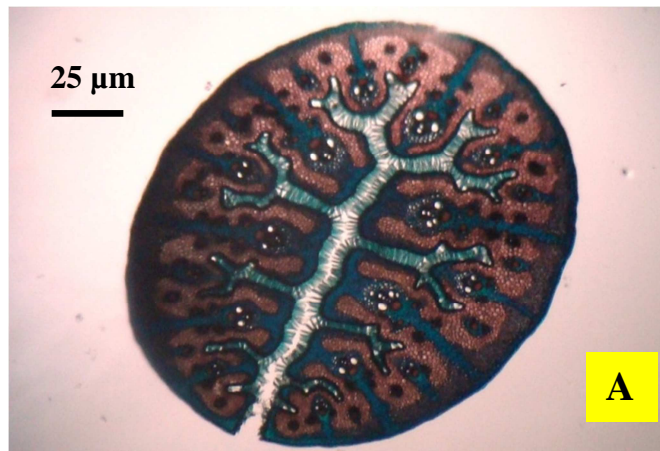
Suite planche V :



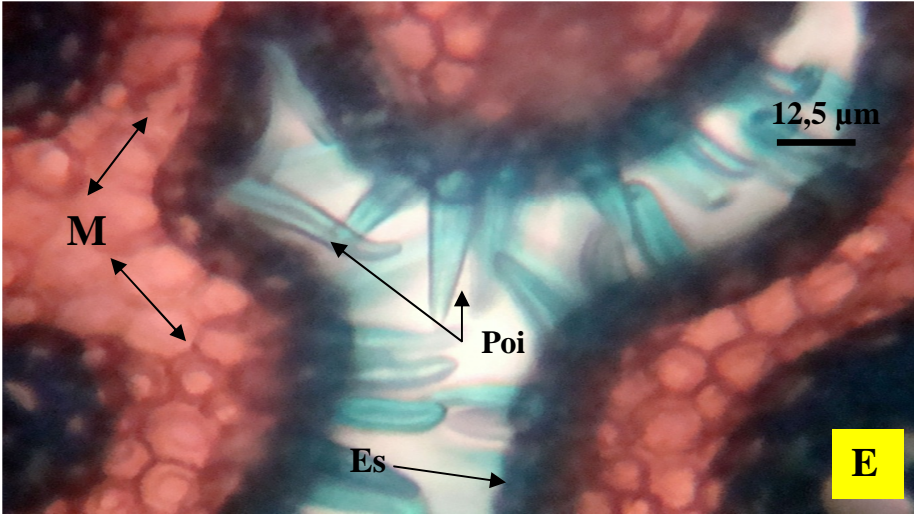
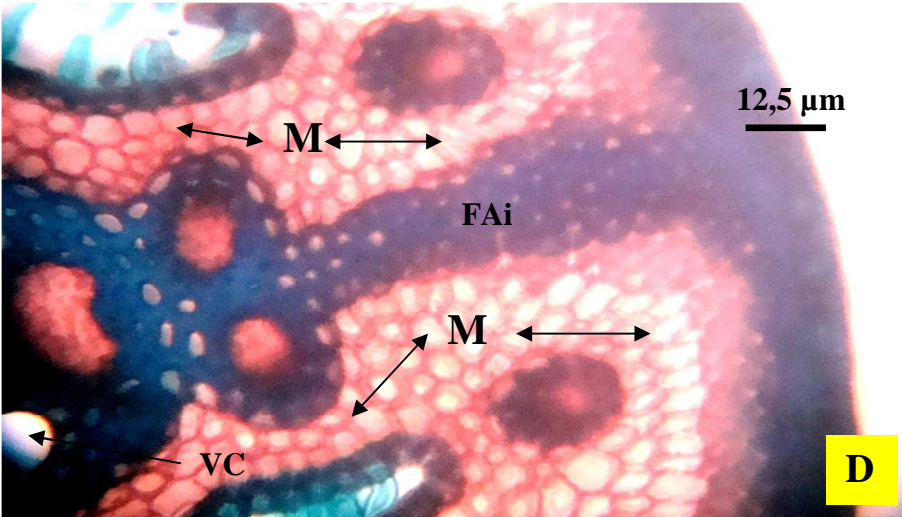
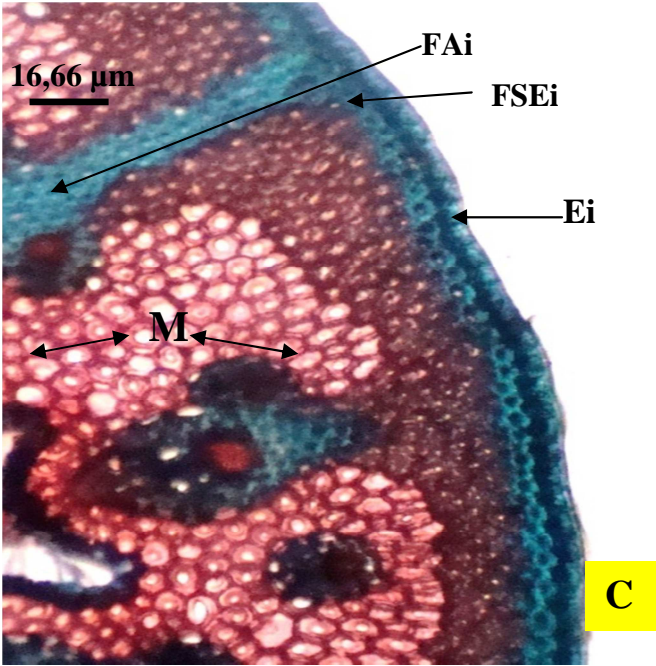
A : Vue générale d'une coupe transversale au niveau de la feuille (Gro \times 400) ; **B** : Portion du limbe (Gro \times 600) ; **C** : Mise en évidence de l'épiderme et des fibres inférieures (Gro \times 800) ; **D** : Mise en évidence du système conducteur et des fibres supérieures (Gro \times 800) ; **E** : Portion d'un lobe médian et mise en lumière des stomates (Gro \times 800).

Ei : épiderme inférieur ; **Cu** : Cutine ; **Es** : épiderme supérieur ; **M** : Mésophylle ; **GPF** : Gaine périfasciculaire ; **Ph** : Phloème ; **X** : Xylème ; **VC** : Vaisseaux conducteurs ; **FCV** : Faisceau cribro-vasculaire ; **FSEi** : Fibres sous-épidermiques inférieures ; **FAi** : Fibre axiales inférieures ; **FSEs** : Fibres sous-épidermiques supérieures ; **FAs** : Fibres axiales supérieures ; **St** : Stomate ; **Poi** : Poils.

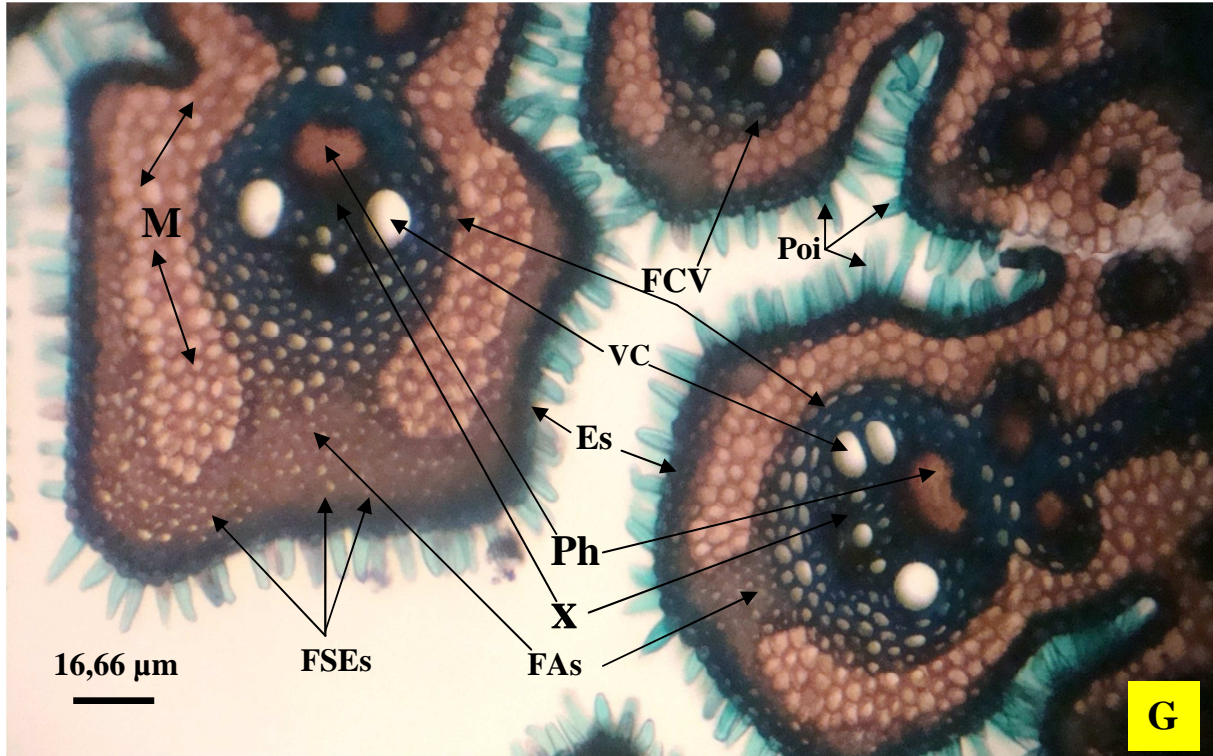
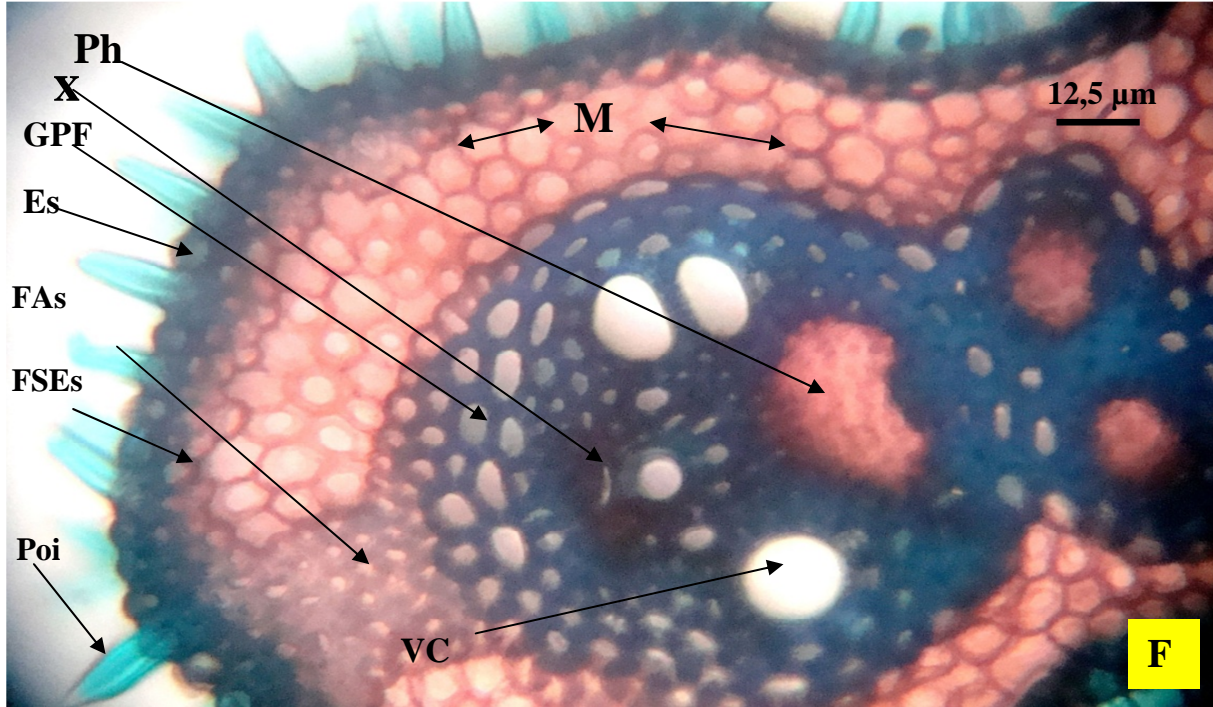
Planche VI : Coupes transversales à main levée réalisées sur des feuilles d'alfa de la station de Ras El Ma, colorées par combinaison Vert méthyle-rouge Congo (Cliché : Y. Moulessehoul, 2012).



Suite planche VI :



Suite planche VI :

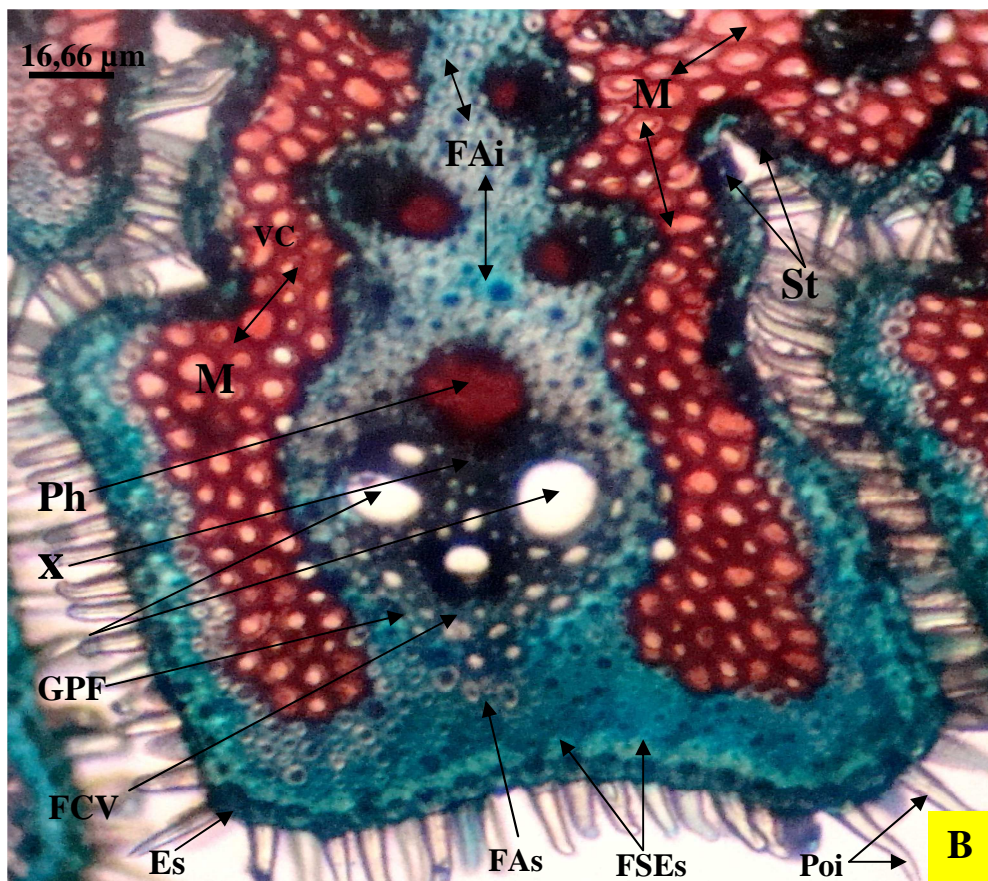


Suite planche VI :

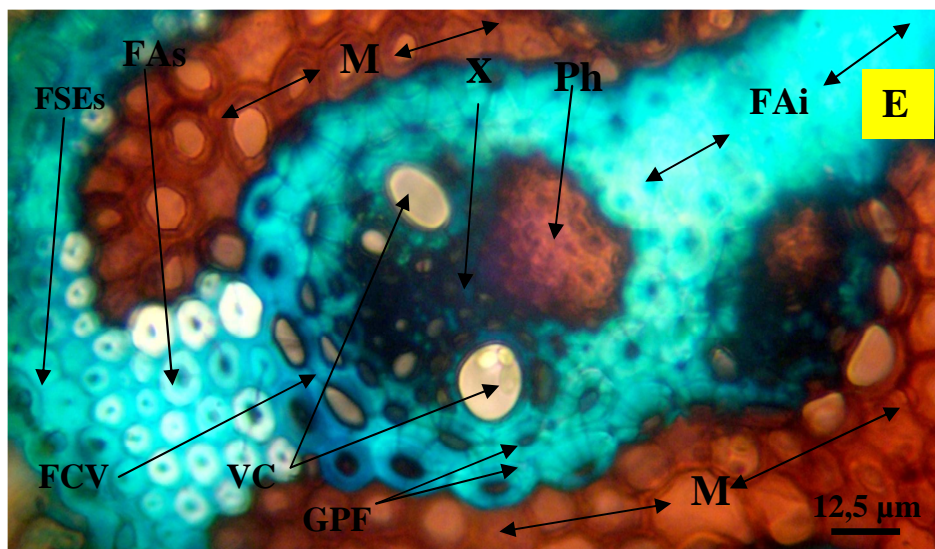
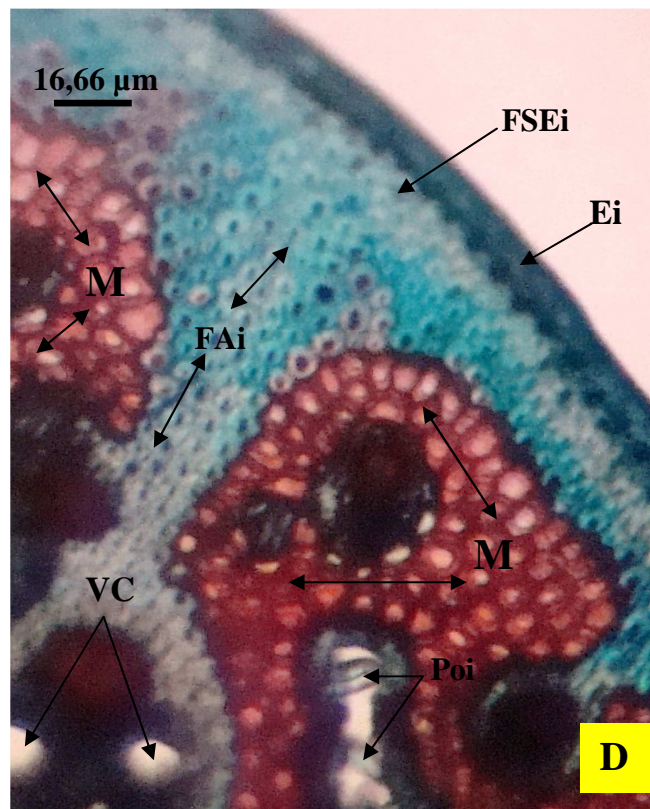
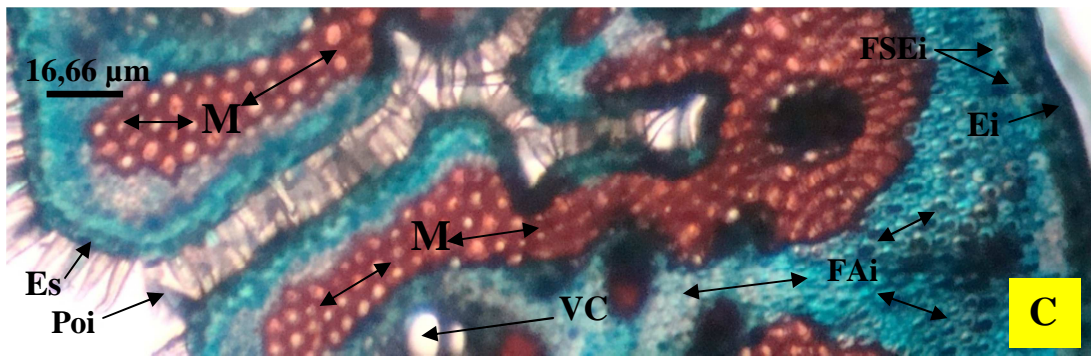
A : Vue générale d'une coupe transversale au niveau de la feuille (Gro \times 400) ; **B :** Mise en évidence d'une portion du limbe (Gro \times 600) ; **C :** Mise en évidence de l'épiderme inférieure (Gro \times 600) ; **D :** Mise en évidence du Mésophylle (Gro \times 800) ; **E :** Mise en évidence des poils sécréteurs (Gro \times 800) ; **F :** système conducteur (Gro \times 800) ; **G :** Mise en évidence des fibres et des tissus conducteurs (Gro \times 600).

Ei : épiderme inférieur ; **Es :** épiderme supérieur ; **M :** Mésophylle ; **GPF :** Gaine périfasciculaire ; **Ph :** Phloème ; **X :** Xylème ; **VC :** Vaisseaux conducteurs ; **FCV :** Faisceau cribro-vasculaire ; **FSEi :** Fibres sous-épidermiques inférieures ; **FAi :** Fibre axiales inférieures ; **FSEs :** Fibres sous-épidermiques supérieures ; **FAs :** Fibres axiales supérieures ; **St :** Stomate ; **Poi :** Poils.

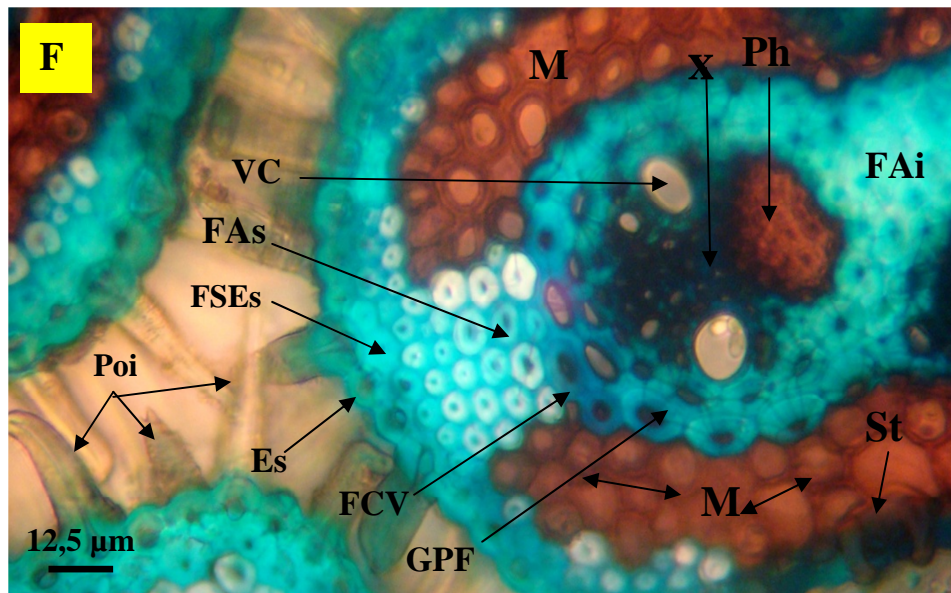
Planche VII : Coupes transversales à main levée réalisées au niveau d'une feuille d'alfa de la station de Béni-Saf, colorées par combinaison vert méthyle-rouge Congo (Cliché Y. Moulessehoul, 2012).



Suite planche VII :



Suite planche VII :



A : Vue générale d'une coupe transversale au niveau de la feuille (Gro \times 400) ; **B et C :** Portion du limbe : mise en évidence des fibres et des tissus conducteurs (Gro \times 600) ; **D :** Mise en évidence de l'épiderme inférieur cutinisé (Gro \times 600) ; **E et F :** Portion d'un lobe médian : mise en évidence des fibres, du système conducteur, des stomates et des poils sécréteurs (Gro \times 800).

Ei : épiderme inférieur ; **Es :** épiderme supérieur ; **M :** Mésophylle ; **GPF :** Gaine périfasciculaire ; **Ph :** Phloème ; **X :** Xylème ; **VC :** Vaisseaux conducteurs ; **FCV :** Faisceau cribro-vasculaire ; **FSEi :** Fibres sous-épidermiques inférieures ; **FAi :** Fibre axiales inférieures ; **FSEs :** Fibres sous-épidermiques supérieures ; **FAS :** Fibres axiales supérieures ; **St :** Stomate ; **Poi :** Poils.

I.1. Discussion et comparaison entre les coupes transversales de nos quatre provenances

L'observation des coupes transversales au niveau basal de jeunes feuilles d'alfa des quatre stations déjà citées montre :

- un épiderme inférieur (Ei) cutinisé et formé de cellules disposées régulièrement en une seule assise chez les quatre stations,
- à première vue, nous pouvons facilement remarquer que le tissu fibreux lignifié est beaucoup plus développé dans les stations : St1, 2 et St 4 que celui de la station 3 (Ras El Ma),
- les fibres sous-épidermiques inférieures (FSEi) présentent des parois plus épaisses que les autres fibres dans les stations 2, 3 et 4, contrairement à la première station (Tessala) où nous observons que la paroi de ces dernières est beaucoup moins épaisse.
- les fibres axiales inférieures (FAi) ont des parois peu épaisses et les cellules sont plus grandes que celles des parois des fibres sous-épidermiques inférieures (FSEi) dans les quatre stations,
- le mésophylle n'est pas interrompu par des fibres latérales au niveau des faisceaux conducteurs chez les quatre stations, cependant il est beaucoup plus développé dans la station 3 (Ras El Ma).
- les fibres axiales supérieures (FAs) présentent des parois peu épaisses et des cellules plus ou moins grandes dans les quatre stations.
- les fibres sous-épidermiques supérieures (FSEs) présentent des parois légèrement plus épaisses que celles des fibres axiales supérieures (FAs), ainsi que des cellules un peu plus petites chez nos quatre stations.
- dans les quatre stations le faisceau conducteur est formé d'une ou de deux assises de cellules épaisses qui représente la gaine périfasciculaire (GPF).
- les cellules du phloème (Ph) sont à parois cellulosiques et épaisses dans les coupes des quatre stations. Le xylème (X) est formé d'éléments lignifiés et il est représenté par le protoxylème (petits vaisseaux du côté de l'épiderme supérieur) et de métaxylème (gros vaisseaux périphériques) dans nos quatre stations.
- l'épiderme supérieur (Es) est faiblement cutinisé et largement recouvert de poils et de stomates dans les quatre stations étudiées.

La feuille d'alfa, de par sa structure anatomique, rejoint les autres Graminées vivaces des zones arides et semi-arides ayant été étudiées par de nombreux auteurs depuis la fin du siècle

dernier, ainsi DUVAL-JOUVE (1875), PEE-LABY (1898) et MAZOYER (1936) qui se sont intéressés aux feuilles des Graminées en général et à celle du genre *Stipa* en particulier; Geneves (1962) fit la description anatomique des genres *Lygeum* et ceux de *Ammophila*, et plus récemment, nous pouvons citer les travaux de HARCHE (1978; 1985), ZERIAHENE (1987) sur *Stipa tenacissima* L., CHADLI (1990), KHELLADI (1994) sur *Lygeum spartum*.

La feuille d'alfa présente des caractères typiques pour l'adaptation au milieu xérique; cette adaptation se traduit par la diminution maximale de la perte de l'eau, et donc tous les caractères morphologiques et anatomiques de la feuille d'alfa doivent permettre une bonne régulation hydrique. La diminution de l'évapotranspiration est ainsi concrétisée par la présence d'une épaisse cuticule sur l'épiderme inférieur, l'isolation des stomates qui se trouvent au fond des sillons et qui sont protégées par des poils, et la cavité créée par le repliement du limbe (CAMEFORT, 1972).

La seule différence majeure qui existe entre les coupes transversales des parties basales des feuilles d'alfa de nos quatre stations se trouve dans la réduction très importante des tissus fibreux lignifiés dans la 3ème station (Ras El Ma) par rapport aux autres stations étudiées ; ils sont cependant très lignifiés. Ainsi qu'au développement très important du mésophylle qui présente des cellules à parois cellulose dans cette même station. Le développement du tissu cellulose dans les feuilles de la station de Ras El Ma est une adaptation anatomique à la sécheresse.

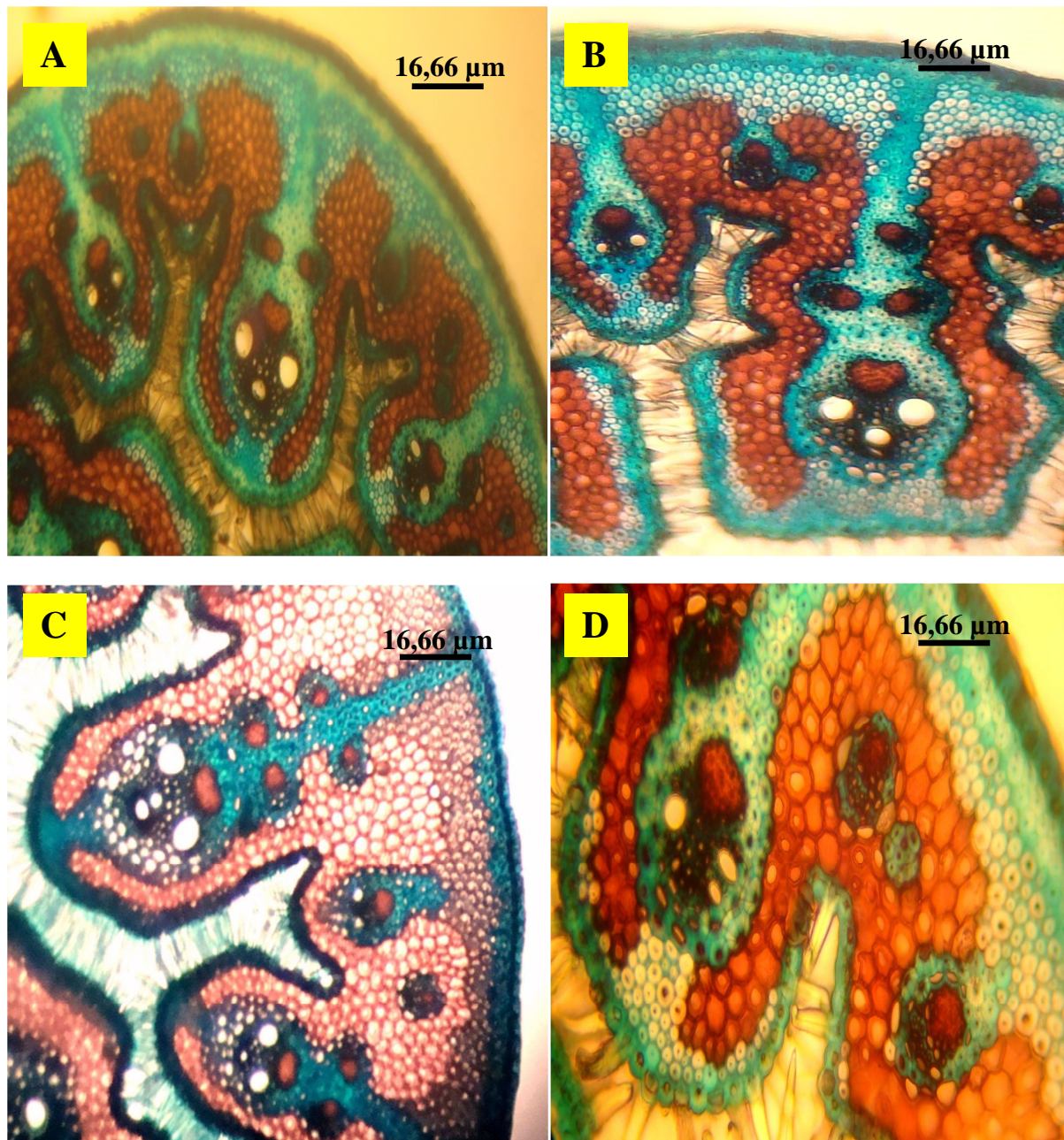
La régulation hydrique et métabolique est aussi favorisée par la protection du parenchyme chlorophyllien qui se trouve isolé du milieu extérieur par le développement très important du sclérenchyme qui s'étend de l'épiderme inférieur, à l'épiderme supérieur et la lignification précoce de ses parois ainsi que le repliement du limbe et la présence des poils (Bendimered, 1997). De même que Mehdadi (2003) a mis la lumière sur le mécanisme d'adaptation au xérophytisme qui consiste en l'imprégnation des parois foliaires de *Stipa tenacissima* L de cellulose.

Le développement du tissu cellulose au niveau des feuilles de la station de Ras-El-Ma par rapport aux feuilles des autres stations, explique le fort pourcentage en cellulose évalué biochimiquement.

Cette variabilité qui réside dans l'importance ou la réduction du tissu fibreux lignifié au niveau de nos quatre stations pourrait aussi s'expliquer par le niveau de différenciation des tissus. En effet, les feuilles de la station 3 (Ras El Ma) pourraient présenter un retard dans la différenciation et le développement des tissus. Les travaux de Khelladi (1994) sur le sparte ont fait ressortir que l'âge de l'organe et le stade de différenciation des cellules sont des facteurs qui conditionnent la biosynthèse des lignines et de la cellulose, dans la mesure où les tissus jeunes sont moins riches en lignines que les tissus âgés et différenciés.

Aussi, cette différence entre les stations étudiées pourrait s'attribuer au génome de notre plante (*Stipa tenassicima* L.). Les travaux de Boussaid *et al.* (2012) sur la variation génétique des populations naturelles de *Stipa tenassicima* L en Algérie, ont fait ressortir deux génomes différents. Toutes les populations échantillonnées dans le domaine de la steppe sont diploïdes ($2n = 2x = 24$), et ceux prélevés dans la zone sèche étaient hexaploïdes ($2n = 6x = 72$).

Planche VIII : Coupes transversales à main levé réalisées au niveau des feuilles d'alfa (*Stipa tenassicima* L.), colorées par combinaison vert de méthyle-rouge Congo (Gro \times 600).



A : Coupe transversale de feuille d'alfa au niveau de la station 1 (Tessala) ; **B :** Coupe transversale de feuille d'alfa au niveau de la station 2 (forêt de Messer) ; **C :** Coupe transversale de feuille d'alfa au niveau de la station 3 (Ras El Ma) ; **D :** Coupe transversale de feuille d'alfa au niveau de la station 4 (Béni-Saf).

III. Etude physiologique

III.1. Etude du comportement germinatif

III.1.1. Effet de la température sur la germination

III.1.1.1. Effet de la température sur la cinétique de germination

Quelle que soit la température testée, la germination des caryopses d'alfa des deux provenances est caractérisée par trois phases :

- Une phase de latence ;
- Une phase exponentielle ;
- Une phase stationnaire.

Nous constatons également que la germination de l'alfa des deux provenances est possible dans une gamme de températures allant de 5 à 30 °C. L'optimum thermique de germination se situe entre 20 et 25 °C. La germination s'affaiblit fortement aux températures extrêmes inférieures à 5 et supérieures à 30.

Il est à noter que la cinétique de germination des caryopses des deux provenances est comparable ; toutefois, certaines différences relatives aux paramètres d'évaluation de la germination ont été décelées (Fig. 24).

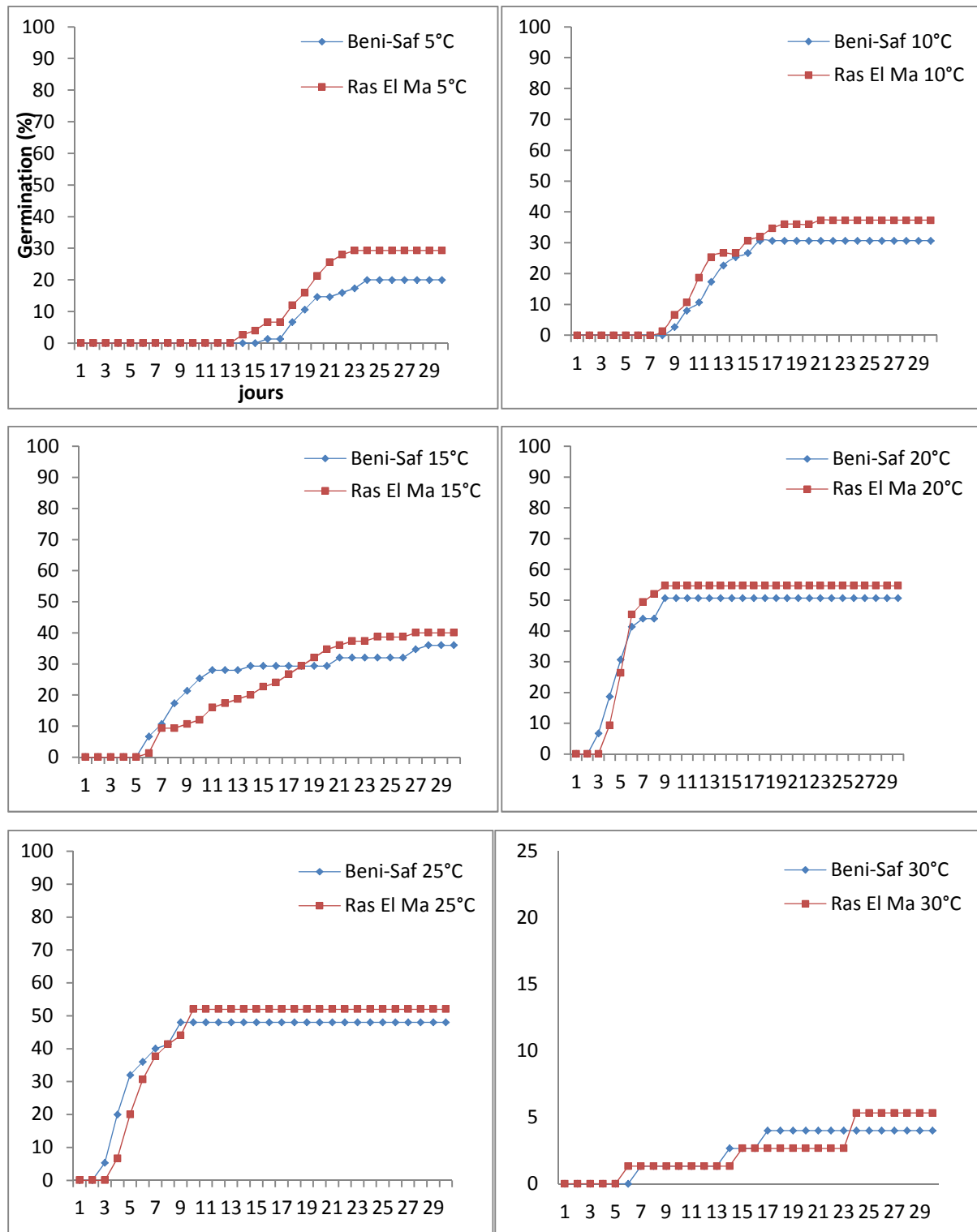


Figure 24 : Courbes de cinétique de la germination des cariosomes des deux provenances aux différentes températures testées.

III.1.1.2. Effet de la température sur la capacité et vitesse de germination

Les capacités et les vitesses de germination moyennes des caryopses utilisés sont représentées par les figures 25 et 26 respectivement.

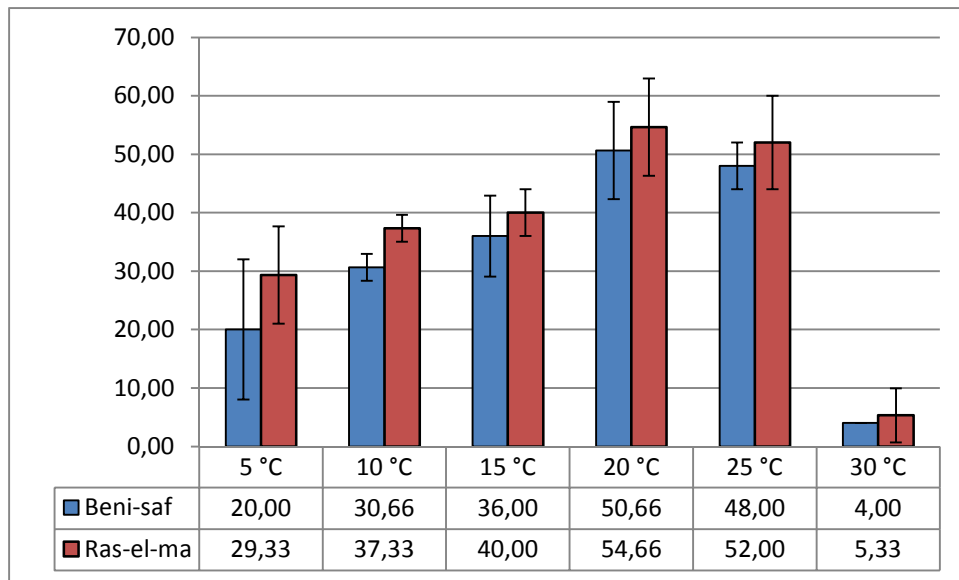


Figure 25 : Capacité de germination

La figure 25 montre que les capacités de germination moyennes des caryopses des deux provenances varient en fonction des températures testées ($P < 0.05$).

Les températures 20 et 25 sont les températures optimales de germination pour les deux provenances. A 20 °C la capacité de germination enregistrée est de 54.66 ± 8.326 % chez les caryopses de la steppe (Ras El Ma) et de 50.66 ± 8.326 % pour ceux du littorale (Béni-Saf) ; à 25 °C une capacité de germination de 52 ± 8 % est notée pour la station de la région steppique, les caryopses de la station littorale présentent une capacité de germination de l'ordre de 48 ± 4 %.

Les pourcentages de germination les plus faibles sont enregistrés à 30 °C : 5.33 % pour les caryopses de la région steppique et 4 % pour les caryopses de la région littorale.

Les caryopses de la région steppique présentent des capacités de germination légèrement supérieures à celles des caryopses du littorale. Cette différence n'a pas été confirmée par l'analyse de la variance ($P > 0.05$), exception faite pour 5 et 10°C où cette différence est significative.

La figure 26 indique pour les caryopses de chaque provenance une variabilité de la vitesse de germination aux différentes températures testées ($P < 0.05$).

Les valeurs les plus importantes caractérisent les caryopses de la station du littorale pour la température de 25 °C (18.82 ± 1.66 %) et à 20 C (17.68 ± 0.11 %) pour la station steppique. Les valeurs les plus faibles sont notées à 5°C chez les caryopses de la station du littorale (5.136 ± 4.53 %) et de la station steppique (5.283 ± 5.18 %).

La vitesse de germination des caryopses des deux provenances est comparable, exception faite à 25 et 30 °C où les caryopses de la station du littorale présentent des valeurs supérieures à celles de la région steppique ($P < 0.01$).

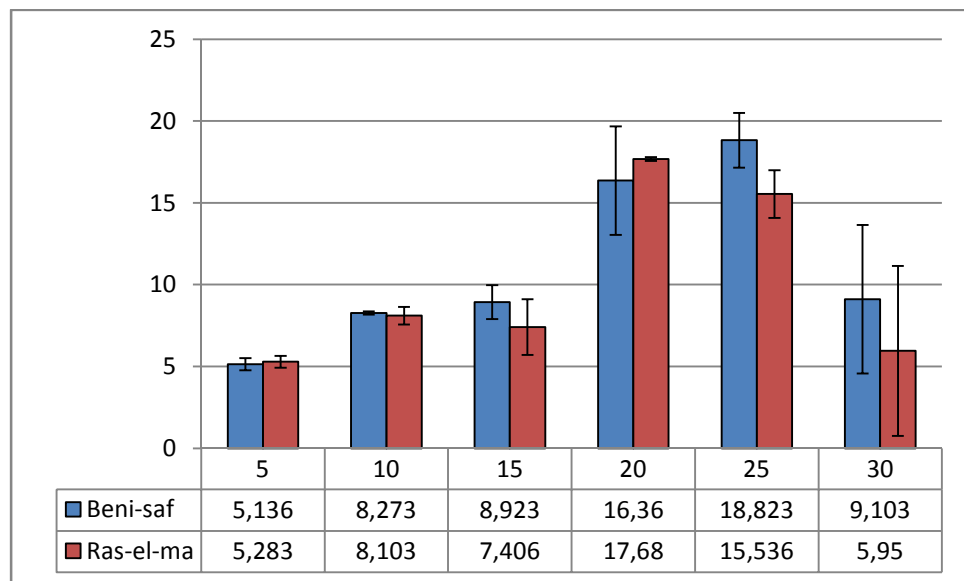


Figure 26 : Coefficient de vélocité

III.1.1.3. Effet de la température sur le temps de latence

L'analyse de la variance a fait ressortir une variabilité significative du temps de latence moyen caractérisant les caryopses des deux provenances en fonction des températures testées ($P < 0.05$). Entre les deux provenances, aucune variabilité entre les valeurs des temps de latence n'a été décelée pour les différentes températures ($P > 0.05$).

Les températures optimales de germination (20 et 25 °C) présentent les temps de latence les plus courts (3 ± 0 jours pour la station du littorale et 4 ± 0 pour celle de la steppe). Les temps de latence les plus longs sont enregistrés à 5 °C (17 ± 1 jours pour le littorale et 15.33 ± 2.3 pour la steppe). Des valeurs intermédiaires caractérisent les autres températures (Fig. 27).

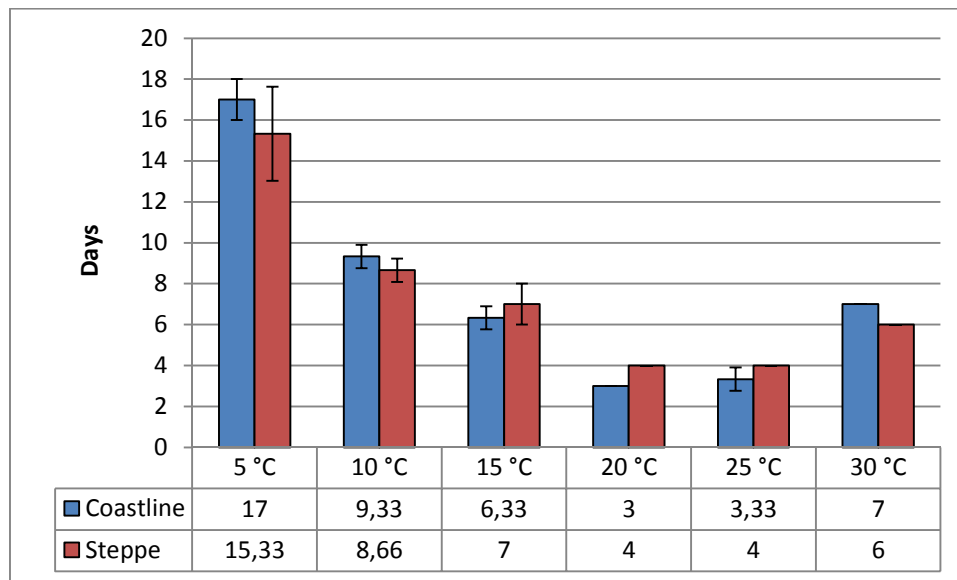


Figure 27 : Temps de latence.

Les résultats obtenus montrent que la température influence significativement la germination de l'alfa des deux provenances, les températures optimales étant comprises entre 20 et 25 °C. Ces résultats rejoignent ceux trouvés chez d'autres espèces appartenant au genre *Stipa* (Hamasha and Hensen, 2009 ; Hu et al., 2013). Aussi, nous avons observé que la germination est toujours possible mais faible à 30 °C chez les caryopses des deux écotypes. Selon la classification de Come (1970), nous pouvons ainsi dire que l'alfa figure parmi les espèces qui présentent des semences thermo-dormantes, c'est-à-dire des semences qui ne germent pas à des températures supérieures à 35 °C. Toutefois, les pourcentages de germination très réduits à 30 °C peuvent être dus à une dormance secondaire induite sur les caryopses qui étaient préalablement aptes à germer (Baskin and Baskin, 1998).

Cette dormance induite peut être considérée comme une stratégie développée par les espèces afin de réduire la germination durant la période de l'année où les chances de survie sont minces (Gasque and Gacia-Fayos, 2003). Effectivement, les températures très élevées durant l'été altèrent plusieurs processus éco-physiologiques relatifs à l'habilité des caryopses à germer et qui réside dans l'activité des protéines et des enzymes de la membrane (Bewley and

Black, 1994). Dans ce cadre, Gasque and Garcia-Fayos (2003) ont trouvé que la germination de *Stipa tenacissima* L. est complètement absente après l'automne.

Aux températures optimales de germination (20 et 25 °C), la germination des caryopses des deux provenances débute au bout du 4ème jour et atteint le maximum de germination au bout du 9ème jour. Nous pouvons donc conclure que notre espèce développe une stratégie afin de germer rapidement quand les conditions sont vraiment favorables.

Nos résultats sont en accord avec ceux observés chez différentes poacées vivaces des hautes plaines steppiques algériennes comme *Lygeum spartum* L. (Chadli, 1990), *Aristida pungens* L. (Mekhaldi, 1994), *Stipa tenacissima* L. (Krichen et al., 2014) et du littoral comme *Ammophila arenaria* L. (Bendimered et al., 2007).

Le froid (5 °C) réduit la capacité de germination des caryopses chez les deux provenances mais ne l'annule pas comme c'est le cas d'*Ammophila arenaria* L.

Les pourcentages de germination obtenus aux températures optimales ne dépassant pas 54,66 % chez les deux provenances étudiées. Ce taux peut s'expliquer par l'âge (2 ans) et la nature des caryopses utilisés (caryopses pourvus de téguments séminaux). En effet, dans ce contexte Gasque et Gacia-Fayos (2003) ont démontré dans leurs travaux chez l'alfa d'Espagne que l'âge influe sur le pourcentage de germination. Au-delà de 20 mois de conservation, leur taux de germination commence à décroître. En outre, les travaux de Mehdadi et al. (2004) et de Bessam et al. (2010) ont fait ressortir que les caryopses d'alfa sont caractérisés par une inhibition tégumentaire entravant et ralentissant le processus de germination.

Pour les différentes températures testées, les caryopses de la région steppique de Ras El Ma présentent un taux de germination légèrement plus élevé que celui des caryopses de la région littorale de Béni-Saf, notamment à 5 et 10 °C où cette différence est hautement significative ($P < 0.01$). Nous n'avons pas décelé de différences concernant le coefficient de vélocité sauf pour les températures 25 et 30 °C où les caryopses de la station du littoral présentent un coefficient de vélocité plus important que celui enregistré chez ceux de la station de la région steppique.

Concernant le temps de latence, les caryopses des deux stations se comportent de la même manière dans la mesure où le temps nécessaire pour le déclenchement de la germination est similaire pour toutes les températures testées ($P > 0.05$).

La variabilité détectée entre les caryopses des deux stations, notamment pour ce qui est de la capacité et de la vitesse de germination, pourrait être attribuée d'une part à l'origine géographique des caryopses et d'autre part à une stratégie d'adaptation aux contraintes du milieu naturel. En effet, Besnier (1989) et Mehdadi et al. (2004) ont rapporté que la germination dépend largement de l'origine géographique des populations d'alfa. Aussi, Lopez et al. (2003) ; Pico et al. (2003) and Bischof et al. (2006) expliquent que les différences entre les provenances particulièrement la germination peuvent être attribuées à l'hétérogénéité des conditions environnementales des sites de prélèvement. Elle peut être aussi en relation avec une variabilité d'ordre génétique dans la mesure où ce taxon est caractérisé par la présence de cytotypes comme l'attestent les travaux de Boussaid *et al.* (2012) qui ont fait ressortir, par des analyses moléculaires (PCR), une diversité génétique concernant 17 populations d'alfa (*Stipa tenassicima* L.) évoluant dans l'étage bioclimatique semi-aride et aride des Hauts-Plateaux d'Algérie.

III.1.2. Effet de la salinité sur la germination

III.1.2.1. Effet de la salinité sur la cinétique de la germination

La figure 28 nous renseigne sur l'effet des différentes concentrations de NaCl sur la cinétique de germination des caryopses des deux provenances.

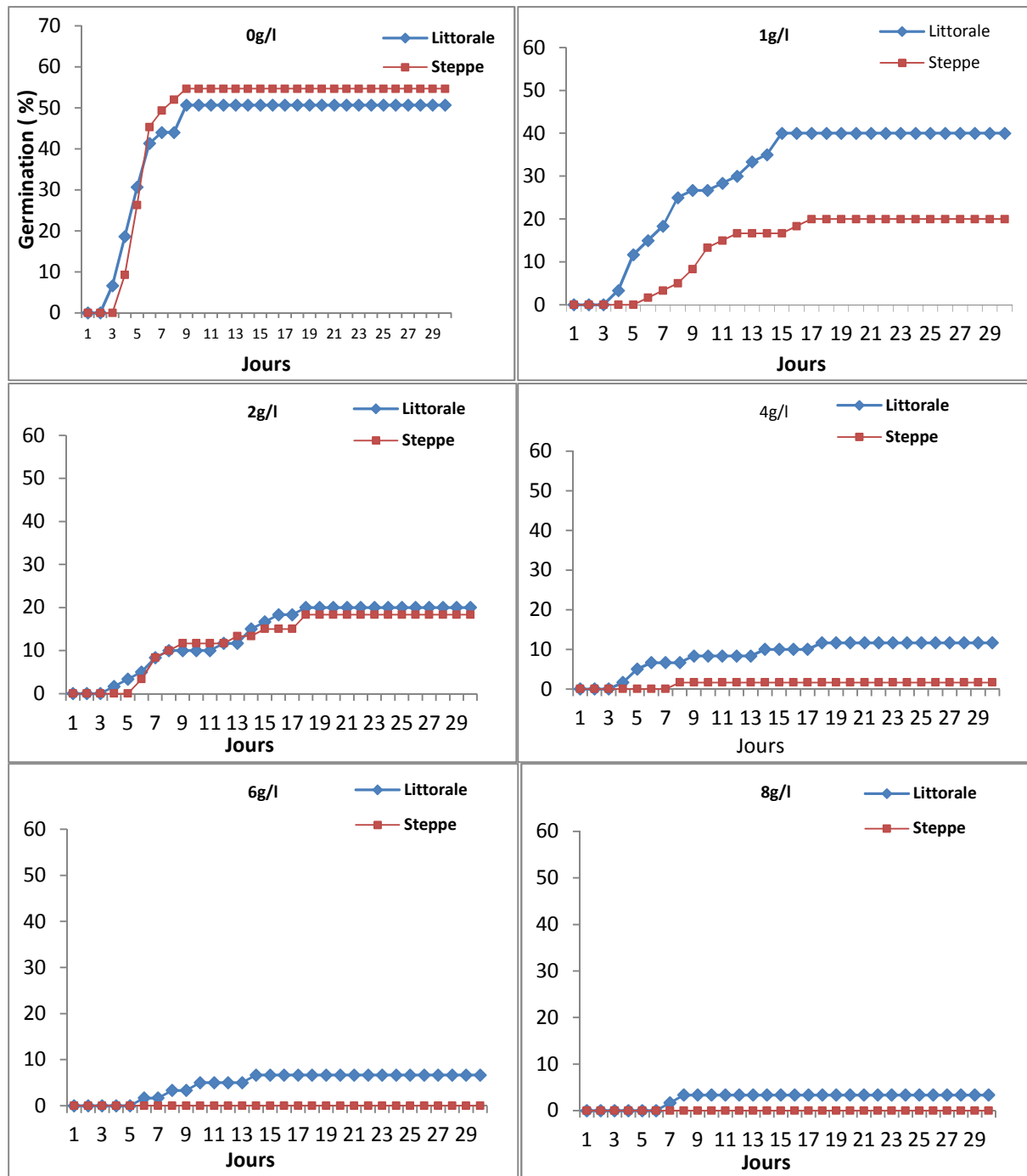


Figure 28: Effet des différentes concentrations de la salinité sur la cinétique de germination des caryopses d'alfa des deux provenances.

Quelle que soit la concentration du NaCl dans le milieu, la germination des caryopses d'alfa des deux provenances est caractérisée par trois phases :

- Une phase de latence ;
- Une phase exponentielle ;
- Une phase stationnaire.

Nous remarquons que les caryopses de la région littoral sont plus tolérants à la salinité que les caryopses de la steppe. Il est à noter que la cinétique de germination des caryopses des deux provenances est comparable ; toutefois, certaines différences relatives aux paramètres d'évaluation de la germination ont été décelées (Fig. 36).

III.1.2.2. Effet de la salinité sur la capacité et la vitesse de germination

L'examen de la figure 29 montre que la capacité de germination des caryopses des deux provenances diminue progressivement au fur et à mesure que la concentration en NaCl augmente dans le milieu. L'effet du NaCl sur la germination a été vérifié par l'analyse de la variance ($P < 0.001$). De cette figure, il ressort que les caryopses du littoral sont plus tolérants à la salinité que les caryopses de la steppe. Le seuil de tolérance pour les caryopses du littoral correspond à 8g/l alors celui des caryopses de la steppe est de l'ordre de 4 g/l.

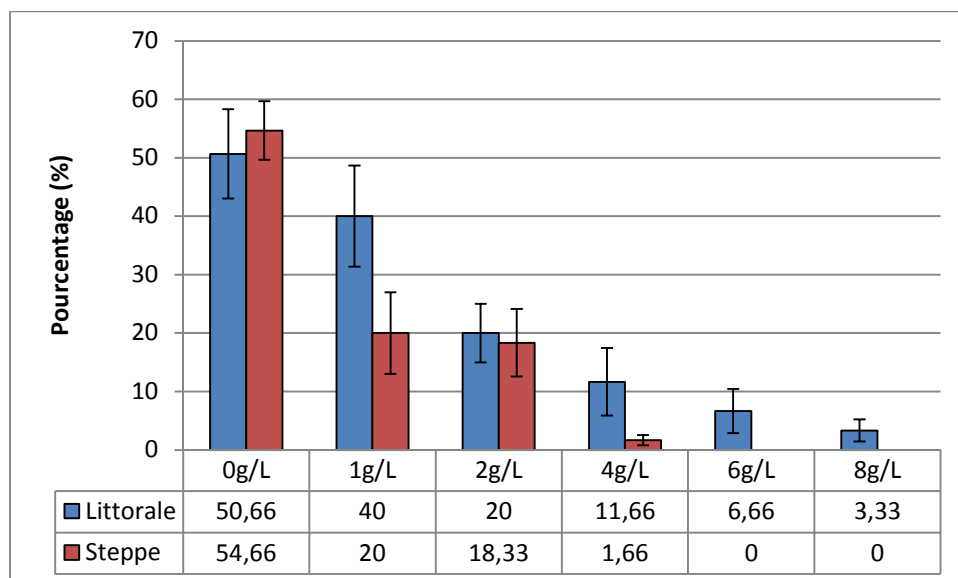


Figure 29: Effet des différentes concentrations de la salinité sur la capacité de germination.

La figure 30 indique une variabilité de la vitesse de germination pour les caryopses de chaque provenance aux différentes concentrations testées ($P < 0.05$).

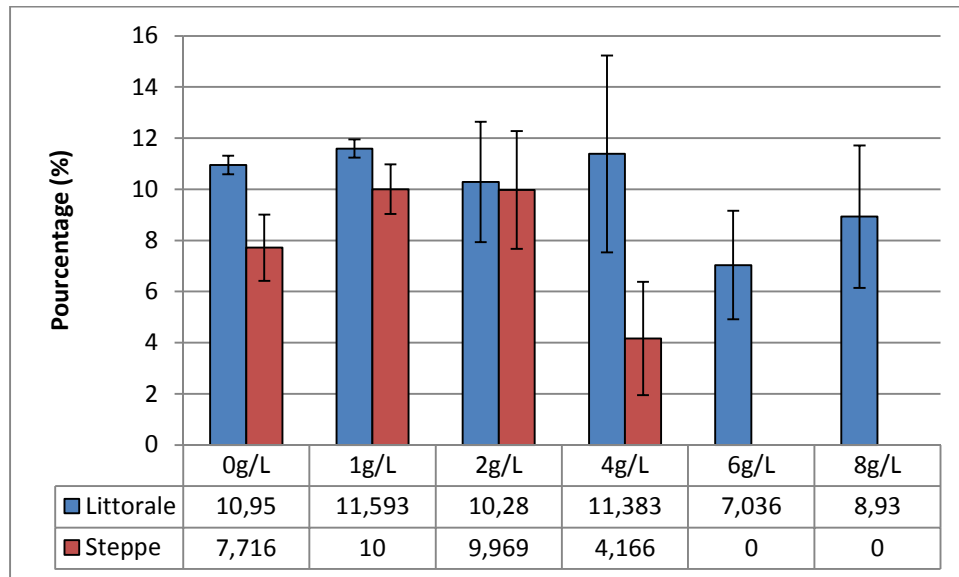


Figure 30: Effet des différentes concentrations de la salinité sur la vitesse de germination.

Pour les caryopses de la région steppique, il semble que la vitesse de germination semble être stimulée sous l'effet des faibles concentrations en NaCl (1g/l et 2g/l) ; elle commence à décliner à partir de 4 g/l. Cependant, la vitesse de germination des caryopses du littoral semble être non corrélée aux différentes concentrations en NaCl, dans la mesure où ce paramètre présente une évolution en dents de scie.

II.1.2.3. Effet de la salinité sur les temps de latence

La figure 31 représente les différents temps de latence enregistrés chez les caryopses des deux provenances.

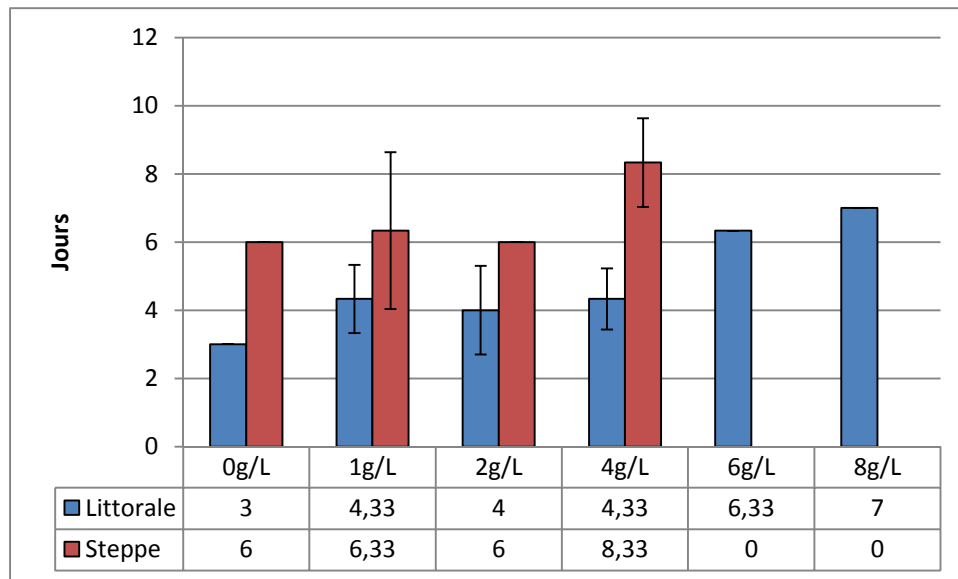


Figure 31: Effet des différentes concentrations de la salinité sur les temps de latence.

L'analyse de la variance a fait ressortir une variabilité significative du temps de latence moyen caractérisant les caryopses des deux provenances en fonction des concentrations testées ($P < 0.05$). Entre les deux provenances, aucune variabilité entre les valeurs des temps de latence n'a été décelée pour les différentes concentrations sauf à 4g/L ($P < 0.05$).

Le temps de latence le plus long est enregistré chez les caryopses de la station steppique à 4g/L (8 ± 1.3 jours), alors que pour la station du littorale il est de l'ordre de 7 ± 0 jours à 8g/L.

La salinité peut être édaphique, atmosphérique ou les deux à la fois. Dans les différents écosystèmes, en plus de l'humidité et la température, la salinité peut jouer un rôle crucial durant la germination des graines (Martinez *et al.*, 1992 ; Khan et Gulzar, 2003).

La germination des semences est à la fois ralentie et inhibée par un excès de sel dans la solution du sol car en plus de l'effet toxique du NaCl sur les tissus, la salinité agit en abaissant le potentiel hydrique et osmotique, en affectant le métabolisme des carbohydrates et en augmentant le besoin en eau dans cette phase (Prado *et al.*, 2002).

Les résultats obtenus montrent que la salinité affecte et réduit la capacité et la vitesse de germination des caryopses d'alfa d'une part et allonge le temps de latence moyen d'autre part. Ceci rejoint les résultats obtenus par Bessam (2008) sur l'alfa et par Lamara (2011) ainsi que Nedjimi *et al.* (2014) sur le sparte.

L'étude comparative du comportement germinatif des caryopses des deux provenances montre que les caryopses de la région littoral sont particulièrement tolérantes et qu'ils sont capable de germer à une concentration de 8g/l de NaCl en enregistrant une capacité de germination moyenne de 3.33 ± 1.88 %, alors que la germination des caryopses de la région steppique est inhibée au-delà d'une concentration de 4g/l de NaCl. L'effet inhibiteur du NaCl commence à se manifester au-delà de la concentration de 1g/l et devient de plus en plus accentué à 8g/l. La salinité devient très probablement létale où toxique à partir de cette concentration pour les caryopses les plus tolérants, c'est-à-dire les caryopses de la région du littorale.

L'effet toxique du sel se manifeste suite à l'accumulation du Na^+ dans l'embryon installant une inhibition osmotique (Bliss *et al.*, 1986 in Belkhodja, 1996) en agissant sur l'activité hormonale telle que celle de l'acide abscissique particulier, hormone clé dans le passage de la graine de la vie ralentie à la vie active. Cette enzyme inhibe notamment la synthèse d'enzymes spécifiques de la germination, limite l'absorption de l'eau et régule la pression osmotique cellulaire (Luttge *et al.*, 2002 ; Hopkins, 2003).

Lors d'un stress salin, les métabolites issus de la dégradation des réserves et particulièrement les composés glucidiques, constitueraient des régulateurs osmotiques potentiels (Larher *et al.*, 1982 in Belkhodja, 1996), l'embryon peut passer à l'état germinatif si la salinité n'est pas très accentuée. Le ralentissement de la germination est d'autant plus important que la salinité est plus élevée. Pour certains auteurs, cette relation caractérise aussi bien les glycophytes que les halophytes. La tolérance à la salinité change en fonction des espèces et des stades phénologiques (Hopkins, 2003).

Notre investigation a révélé que les caryopses de la région du littoral (Béni-Saf) sont plus tolérants à la salinité que les caryopses de la région steppique (Ras El Ma). Plusieurs auteurs comme Khalid *et al.* (2001), Lamara (2011) ont présenté des résultats similaires concernant la variabilité du seuil de tolérance à la salinité chez différents génotypes. Par exemple Khalid *et al.* (2001) ont montré que, pour deux génotypes de pois chiche soumis sous stress salin, la capacité germinative a diminué par rapport au témoin de plus de 60% chez les graines des deux provenances. Par ailleurs, les travaux de Lamara (2011) sur deux provenances de sparte *Lygeum spartum* L. (littoral et steppe) de l'ouest algérien ont révélé que les caryopses de Ain Skhona et de Maamora (région steppique) tolèrent mieux la salinité que les caryopses de sidi Djeloul (région du littorale).

Le retard de germination engendré par les concentrations croissantes en sels dans l'eau d'arrosage résulterait d'une difficulté d'hydratation des caryopses par suite d'un potentiel osmotique élevé et peut être expliqué par le temps nécessaire aux caryopses pour mettre en place des mécanismes leur permettant d'ajuster sa pression osmotique interne. Cette supposition a été certifiée par plusieurs auteurs notamment Smaoui *et al.* (1986) et Jaoudi *et al.* (2010).

Il a été démontré que la combinaison salinité/température est à prendre en considération dans l'interprétation de l'effet de la salinité sur la germination des graines car l'effet toxique du NaCl est d'autant plus élevé que la température est élevée (Ignaciuk et Lee, 1980).

La tolérance plus ou moins importante des caryopses de la région du Littorale à la salinité peut s'expliquer par le fait que les touffes d'alfa sur lesquelles ont été prélevés ces caryopses, évoluent sur un substrat présentant une conductivité électrique supérieure à celle que nous avons mesurée sur le sol de la région steppique. Dans ce sens, Neffati (1994) signale que la connaissance de la tolérance à la salinité au moment de la germination est une information utile mais non suffisante pour expliquer la distribution des espèces et leur développement dans les milieux salés. Cette différence peut être aussi liée à une variabilité d'ordre génétique comme l'ont démontré les travaux de Boussaid *et al.* (2012).

III.1.3. Effet du stress hydrique sur la germination

III.1.3.1. Effet du stress hydrique sur la cinétique de germination

La figure 32 représente l'effet des différentes concentrations de PEG testés sur la cinétique de germination des caryopses des deux provenances.

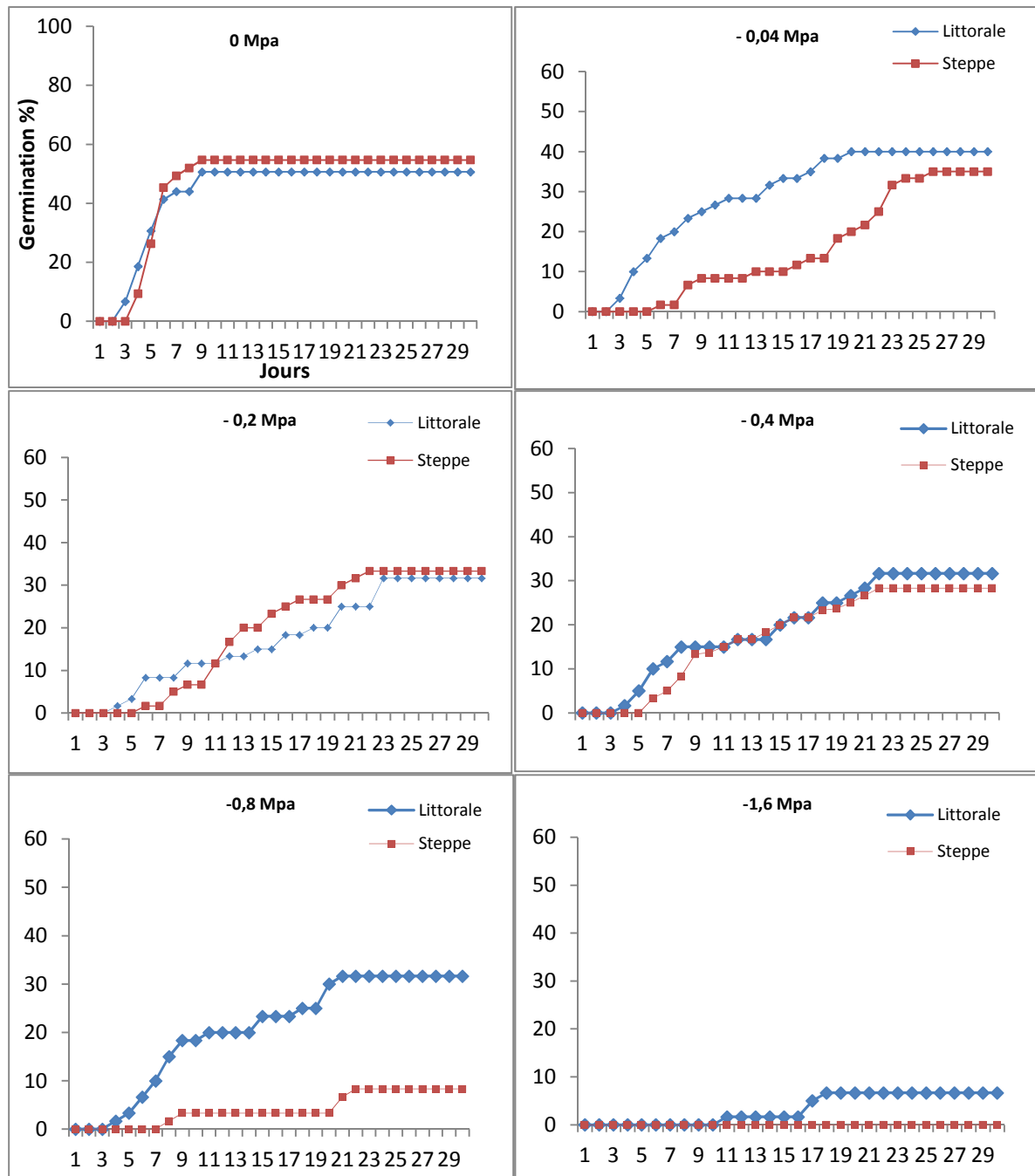


Figure 32: Effet du stress hydrique sur la cinétique de germination des caryopses d'alfa des deux provenances.

III.1.3.2. Effet du stress hydrique sur la capacité et la vitesse de germination

La capacité de germination est considérablement affectée et réduite par le stress hydrique chez les caryopses des deux provenances ($P < 0.001$). Le potentiel osmotique de -1.6 Mpa correspond au point au-delà duquel les caryopses de la steppe ne germent plus, alors que ceux du littoral présentent un faible pourcentage de 6.66 ± 0.36 % (Fig. 41). L'analyse de la variance a démontré une différence hautement significative entre les capacités de germination moyennes des caryopses des deux provenances ($P < 0.001$) sauf pour les potentiels osmotique de -0.2 et -0.4 Mpa où cette différence est non significative ($P > 0.05$).

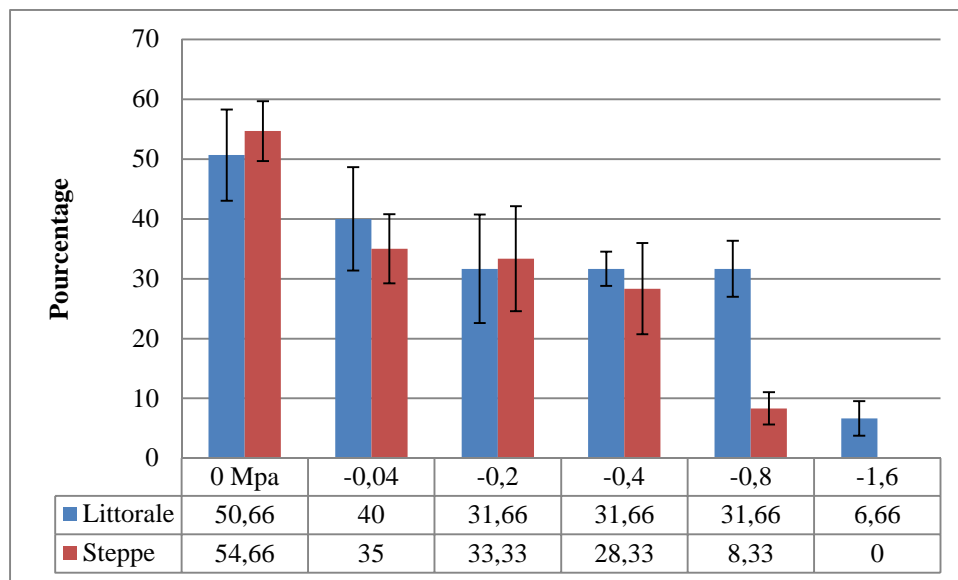


Figure 33: Effet du stress hydrique sur la capacité de germination des caryopses des deux provenances.

L'analyse statistique a démontré une variabilité de la vitesse de germination des caryopses de chaque provenance ($P > 0.05$). Conformément aux résultats illustrés par la figure 34, il ressort que la vitesse de germination des caryopses de la steppe sont beaucoup plus affectées par le stress hydrique.

Pour les différents potentiels osmotiques testés, l'analyse de la variance a démontrée des différences hautement significatives entre les caryopses des deux provenances ($P < 0.001$) sauf pour les potentiels -0.2 et -0.4 Mpa.

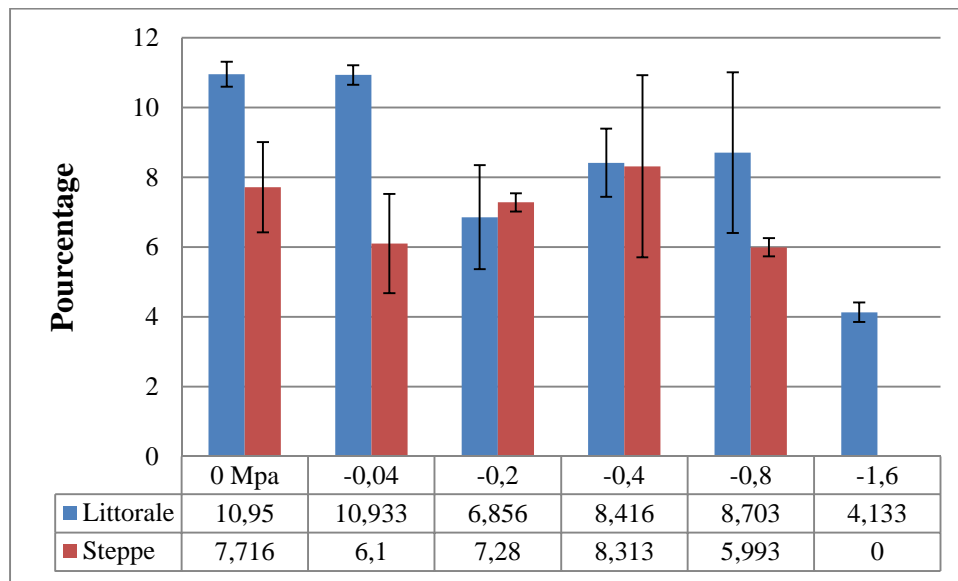


Figure 34: Effet du stress hydrique sur la vitesse de germination des caryopses des deux provenances.

III.1.3.3. Effet du stress hydrique sur les temps de latence

L'analyse de la variance a fait ressortir une variabilité significative du temps de latence moyen caractérisant les caryopses de chaque provenance en fonction des potentiels osmotiques testés ($P < 0.05$).

La comparaison deux à deux (test de Tuckey) des temps moyens de latence des caryopses des deux provenances a fait ressortir une différence significative qu'au niveau du potentiel hydrique de -0.04 Mpa ($P < 0.01$). D'une manière générale, les caryopses de la steppe mettent beaucoup plus de temps pour amorcer leur germination et ce quel que soit le potentiel hydrique (Fig. 35).

Pour le potentiel osmotique de -1.6 Mpa, le temps de latence des caryopses qui ont pu germer, en l'occurrence ceux du littoral est relativement long (de l'ordre de 13 ± 4.24 jours).

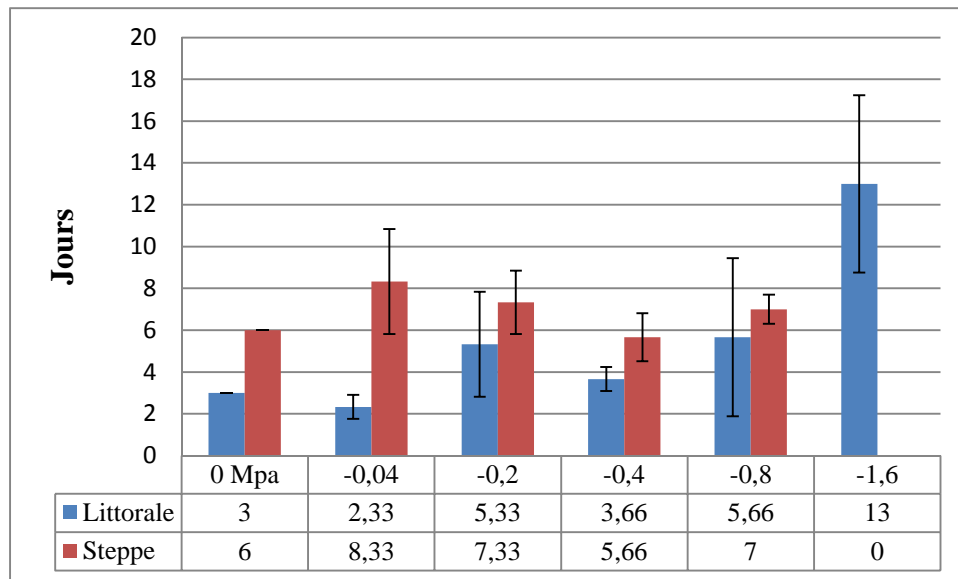


Figure 35: Effet du stress hydrique sur le temps de latence.

En plus de la température et de la salinité, le stress hydrique affecte la germination des caryopses d'alfa des deux provenances. Pour cette espèce, l'eau du sol affecte la germination plus que n'importe quel autre paramètre. En effet, l'eau représente le facteur initial pour l'imbibition des caryopses et leur germination, en particulier dans les régions arides et semi-arides (Cavalcante and Perez, 1995).

Les résultats obtenus dans cette étude ont démontré que plus la pression osmotique augmente, plus le taux de germination diminue. La réponse des caryopses des deux provenances au stress est différente dans la mesure où les seuils de tolérance diffèrent. En effet, à $-0,8$ MPa la germination est fortement réduite pour ensuite être complètement inhibée à $-1,6$ MPa chez les caryopses de la région steppique. Alors que pour le même potentiel hydrique, la germination est toujours possible mais très réduite chez les caryopses de la région littoral.

Les mêmes résultats ont été révélés par les travaux de Krichen *et al.* (2014) concernant l'effet du stress hydrique sur la germination des caryopses de *Stipa tenacissima* L. de cinq provenances dans l'ouest tunisien. Plusieurs autres travaux sur le genre *stipa* confirment nos résultats, par exemple ceux de Bonvissuto et Busso (2007) sur *Stipa neaei* ; Neffati et Akrimi (1997) sur *Stipa lagascae* et Hu *et al.* (2013) sur *Stipa bungeana*, ont tous enregistré une forte réduction du taux de la germination au fur et à mesure que le potentiel osmotique augmente dans le milieu.

Aussi, les mêmes résultats ont été enregistrés dans les travaux de Zemour (2014) sur huit géotypes différents de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et Oukarroum (2007) sur la vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique. Les différentes études portant sur l'effet du stress hydrique sur la germination chez d'autres espèces telle que *Acacia tortilis* L. (Jaouadi *et al.*, 2010) et *Marrubium vulgare* L. (Dadache *et al.*, 2015) ont aussi révélé des résultats similaires dans la mesure où le taux de germination est réduit dans un milieu à potentiel osmotique élevé.

La germination des graines constitue l'une des étapes fondamentales dans le cycle biologique des plantes. Elle représente l'une des phases critiques, dont le mode de réalisation conditionne la productivité des espèces cultivées (Alei *et al.*, 2010). C'est une phase physiologique qui correspond à la transition de la phase de vie latente de la graine sèche à la phase de développement de la plantule. Le processus de germination débute par l'imbibition de la graine et s'achève par la percée de la radicule des téguments (Anzala, 2006).

La première étape de la germination est l'absorption d'eau et la réhydratation des tissus de la graine par un processus appelé imbibition (Hopkins, 2003 ; Alei *et al.*, 2010). Selon Almansouri *et al.* (2001), la prise d'eau par la graine dépend du potentiel hydrique de la solution de germination. L'absorption d'eau n'a lieu que si la valeur du potentiel hydrique des tissus constituant la graine, est inférieure à celle exprimée par le milieu de germination.

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques ainsi que par les conditions environnementales (Ndaur et Danthu, 1998). Parmi les facteurs de l'environnement, la quantité et la qualité de l'eau du milieu de germination constituent des paramètres déterminants, sur lesquels repose la réalisation des différentes étapes de la germination.

L'abaissement du potentiel hydrique du milieu de germination a induit un ralentissement très prononcé de la vitesse de germination chez les caryopses des deux provenances. Le retard enregistré dans la déclaration de la germination et la réduction de son taux résulteraient d'une réduction dans l'acuité de prise d'eau et qui serait compensée par un ajustement osmotique résultant de la libération des sucres réducteurs issus de la dégradation d'amidon. Ces résultats confirment de nombreux travaux (Hardegre et Emmerich, 1994 ; Gill *et al.*, 2003) qui démontrent que l'inhibition de la germination des graines résulterait en particulier d'une difficulté d'hydratation des tissus, qui se répercute sur le processus d'élongation de la radicule et d'une difficulté de la pénétration de la molécule d'eau dans la graine, de sorte que l'ajustement osmotique ne soit pas réalisé d'une façon favorable.

La différence entre les caryopses des deux provenances concernant les seuils de tolérance au stress hydrique peut être attribuée à la différence dans le pouvoir d'accumulation des métabolites et de l'ajustement osmotique pour le maintien de la turgescence cellulaire et les activités physiologiques. Une augmentation des cellules par le maintien de l'équilibre de la force osmotique en gardant la turgescence et le volume cytosolique aussi élevé que possible et par une préservation de l'intégrité membranaire dans les organes desséchés (Darbyshire, 1974).

Donc cette capacité à germer en condition salines et cette tolérance à la sécheresse représentent des caractéristiques très importantes pour la réhabilitation et la régénération de notre espèce à savoir celle provenant de la région littorale, qui est aussi intéressante à exploiter éventuellement pour valoriser les sols marginalisés et concernés par la salinisation.

III.2. Dosage de la proline et des sucres solubles

III.2.1. Teneur en eau

Les pourcentages moyens d'eau contenue dans les trois organes d'alfa, évalués saisonnièrement sont représentés sur le tableau 37.

Tableau 37: Teneur moyenne saisonnière en eau (%) au niveau des trois organes chez les deux provenances.

Stations	Organes	Été	Automne	Hiver	Printemps
Steppe	Feuilles	16,61	49,54	58,79	30,73
	Rhizomes	29,96	47,55	52,26	32,25
	Racines	46,78	35,29	54,28	44,25
Littoral	Feuilles	14,55	45,29	59,11	28,25
	Rhizomes	25,36	42,15	60,15	34,74
	Racines	41,22	44,25	59,47	47,26

Les résultats obtenus montrent qu'au niveau de chaque station de prélèvement, une variabilité saisonnière (confirmée par l'analyse de la variance) dans les teneurs moyennes en eau contenue dans les trois organes analysés.

III.2.2. Teneur en proline et sucres solubles

Les teneurs moyennes en proline et en sucres solubles évaluées saisonnièrement dans les organes analysés des deux stations de prélèvement ainsi que leur traitement statistique sont récapitulées sur le tableau 38.

III.2.2.1. La proline

La figure 36 représente les teneurs moyennes en proline évaluées dans les trois organes de l'alfa des deux stations de prélèvement.

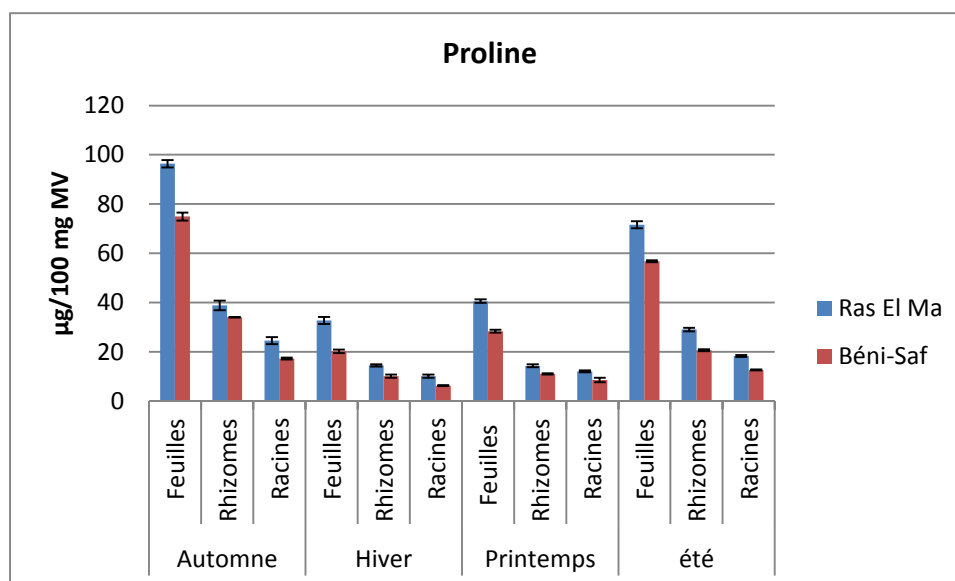


Figure 36: Teneurs moyennes saisonnières en proline évaluées au niveau des trois organes des deux provenances.

L'analyse de la variance à deux critères de classification (organes et saisons) pour chacune des stations étudiées, démontre une variabilité ($P < 0.05$) dans les teneurs en proline enregistrées au niveau des trois organes. Ceci reflète l'effet saison et organe sur la biosynthèse de ces composés.

Quel que soit l'organe analysé, la teneur moyenne en proline est importante au niveau de la saison d'automne et d'été. Par contre, des teneurs faibles caractérisent la saison d'hiver et de printemps. Il est à noter également que quelle que soit la saison, la teneur en proline croît progressivement des racines vers les rhizomes pour enfin s'accumuler au niveau foliaire.

Les teneurs maximales sont enregistrées au niveau des feuilles chez les deux provenances d'alfa pour la saison d'automne (steppe : 96.38 ± 1.47 ; littoral : 74.90 ± 1.60) et celle de l'été (steppe : 71.59 ± 1.39 ; littoral : 56.79 ± 0.39 µg/100mg MV). Les plus faibles teneurs caractérisent les racines pour les saisons d'hiver (steppe : $10,12 \pm 0,64$; littoral : $6,22 \pm 0,20$) et de printemps (steppe : $12,04 \pm 0,38$; littoral : $8,54 \pm 0,89$ µg/100 mg MV).

L'alfa de steppe présente des teneurs plus importantes en proline au niveau des trois organes analysés et cela pour toutes les saisons.

II.2.2.2. Sucres solubles

La figure 37 représente les teneurs moyennes en proline évaluée dans les trois organes de l'alfa des deux stations de prélèvement.

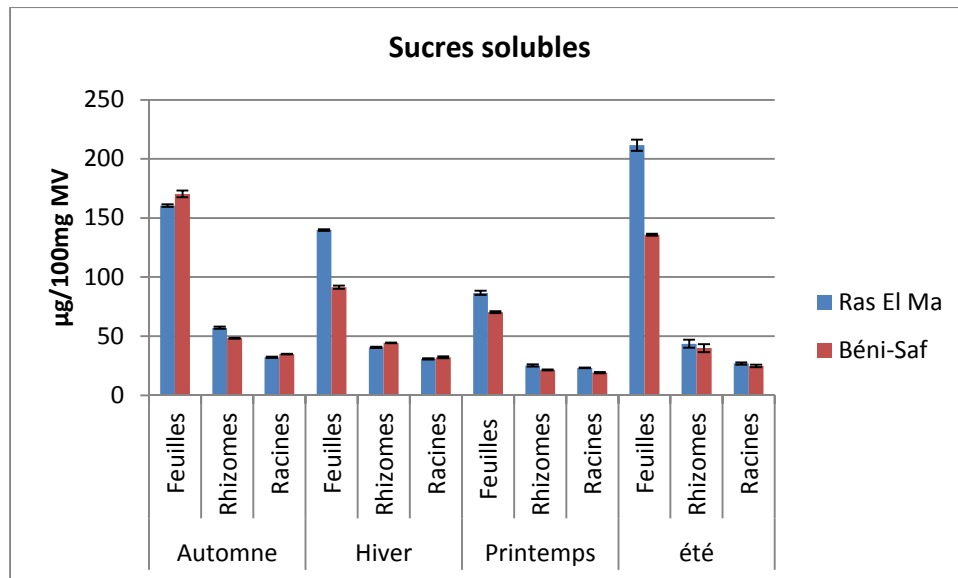


Figure 37: Teneurs moyennes saisonnières en sucres solubles évaluées au niveau des trois organes des deux provenances.

L'analyse statistique a révélé l'existence d'interactions entre les organes analysés et les saisons pour chaque station ($P < 0.05$).

Quel que soit l'organe analysé, la teneur moyenne en sucres solubles est importante au niveau de la saison d'automne et d'été. Tandis que, des teneurs plus faibles caractérisent les saisons d'hiver et de printemps. Nous notons également que quelle que soit la saison, la teneur en sucres solubles croît progressivement des racines vers les rhizomes pour ensuite s'accumuler au niveau des feuilles.

Les plus grandes teneurs en sucres solubles sont enregistrées au niveau des feuilles chez les deux provenances étudiées, et cela pour les deux saisons : l'automne : steppe = 160.56 ± 1 ; littoral = 170.39 ± 2.87 µg/100mg MV et l'été : steppe = 211.57 ± 1.39 ; littoral = 135.82 ± 0.72 µg/100mg MV. Les plus faibles teneurs caractérisent les racines pour les saisons de printemps : steppe = $23,22 \pm 0.36$; littoral = $19,24 \pm 0.51$ et d'été : steppe = $26,87 \pm 1.05$; littoral = $24,87 \pm 1.05$ µg/100mg MV.

L'alfa de steppe présente des teneurs plus importantes en sucres solubles au niveau des trois organes analysés pour les saisons d'été et de printemps. Par contre les saisons d'hiver et d'automne sont caractérisées par des teneurs intermédiaires au niveau des trois organes étudiés.

III.2.2.3. Comparaison globale

D'après l'étude statistique réalisée, il est très clair qu'il existe des interactions fortement significatives entre tous les facteurs (organes, saisons et stations) (tab. 38).

Tableau 38: Effets des stations, saisons et organes sur les teneurs moyennes en sucres solubles et proline.

Source	Composés	SC	ddl	CM	F	p	ECP	R ² _{adj}
Modèle	Sucres solubles	196906,182	23	8561,138	726,189	<0,001	0,997	^a 0,996
	Proline	36362,875	23	1580,995	2034,112	<0,001	0,999	^a 0,999
Constante	Sucres solubles	309927,821	1	309927,821	26289,274	<0,001	0,998	
	Proline	59408,410	1	59408,410	76435,027	<0,001	0,999	
Zones (1)	Sucres solubles	2306,737	1	2306,737	195,666	<0,001	0,810	
	Proline	1278,578	1	1278,578	1645,022	<0,001	0,973	
Saisons (2)	Sucres solubles	19765,819	3	6588,606	558,871	<0,001	0,973	
	Proline	10942,202	3	3647,401	4692,756	<0,001	0,997	
Organes (3)	Sucres solubles	150875,991	2	75437,995	6398,942	<0,001	0,996	
	Proline	19461,614	2	9730,807	12519,683	<0,001	0,998	
(1) * (2)	Sucres solubles	1632,921	3	544,307	46,170	<0,001	0,751	
	Proline	72,516	3	24,172	31,100	<0,001	0,670	
(1) * (3)	Sucres solubles	3292,043	2	1646,021	139,622	<0,001	0,859	
	Proline	392,908	2	196,454	252,758	<0,001	0,917	
(2) * (3)	Sucres solubles	17288,361	6	2881,393	244,411	<0,001	0,970	
	Proline	4226,456	6	704,409	906,295	<0,001	0,992	
(1) * (2) * (3)	Sucres solubles	3825,821	6	637,637	54,087	<0,001	0,876	
	Proline	41,859	6	6,976	8,976	<0,001	0,539	
Erreur	Sucres solubles	542,300	46	11,789				
	Proline	35,753	46	0,777				

^a : R deux; R²_{adj}: R deux ajusté ; **SC**: Somme des carrés; **ddl**: Degré de liberté; **CM**: carré moyen; **F**: Valeur de Fisher ; **p**: Signification; **ECP**: éta carré partiel,

Concernant les teneurs en proline, une différence significative est enregistrée au niveau de toutes les saisons ($p < 0.001$) et entre tous les organes ($p < 0.001$) (tab. 39). Pour les sucres solubles, nous avons enregistré une différence fortement significative entre toutes les saisons ($p < 0,001$), excepté entre l'automne et l'été ($p = 0,937$) (tab. 39). Une différence fortement significative est notée également entre tous les organes analysés ($p < 0,001$) (tab. 40).

Tableau 39: Comparaison entre les saisons (Automne, Hiver, printemps et été)

Composés	(I)	(J)	DM (I-J)	ES	p		IC 95%	IC 95%
Sucres solubles	Automne	Hiver	17,119	1,179	<0,001	***	13,975	20,264
	Automne	Printemps	39,303	1,179	<0,001	***	36,158	42,447
	Automne	Été	0,685	1,179	0,937	^{NS}	-2,458	3,830
	Hiver	Printemps	22,183	1,144	<0,001	***	19,132	25,233
	Été	Hiver	16,434	1,144	<0,001	***	13,383	19,484
	Été	Printemps	38,617	1,144	<0,001	***	35,566	41,667
Proline	Automne	Hiver	30,867	0,302	<0,001	***	30,060	31,675
	Automne	Printemps	27,376	0,302	<0,001	***	26,569	28,184
	Automne	Été	11,677	0,302	<0,001	***	10,869	12,484
	Hiver	Printemps	3,490	0,293	<0,001	***	2,707	4,274
	Été	Hiver	19,190	0,293	<0,001	***	18,406	19,973
	Été	Printemps	15,699	0,293	<0,001	***	14,915	16,482

I : Saison comparable ; J : Saisons comparés ; DM : Différence en moyenne ; SE : Erreur standard ; p : Signification ; ^{NS} : Non Significative ; * : Significative ; ** : Hautement significative ; *** : Fortement significative ; IC : Intervalle de confiance.

Tableau 40: Comparaison entre les organes (Feuilles, rhizomes et racines)

Composés	(I)	(J)	DM (I-J)	ES	p		IC 95%	IC 95%
Sucres solubles	Feuilles	Rhizomes	91,897	1,012	<0,001	***	89,445	94,350
	Feuilles	Racines	103,173	1,001	<0,001	***	100,746	105,599
	Rhizomes	Racines	11,275	1,001	<0,001	***	8,848	13,701
Proline	Feuilles	Rhizomes	30,836	0,259	<0,001	***	30,207	31,466
	Feuilles	Racines	37,980	0,257	<0,001	***	37,357	38,603
	Rhizomes	Racines	7,143	0,257	<0,001	***	6,520	7,766

I : Organe comparable ; J : Organes comparés ; DM : Différence en moyenne ; SE : Erreur standard ; p : Signification ; ^{NS} : Non Significative ; * : Significative ; ** : Hautement significative ; *** : Fortement significative ; IC : Intervalle de confiance.

De nombreux travaux confirment que la proline, acide aminé osmotiquement actif, est un marqueur de stress. Ainsi, la relation entre les stress abiotiques et l'accumulation de cet acide aminé est établie depuis longtemps (Delauney et Verma, 1993 ; Hare et Cress, 1997). La connaissance de la cinétique d'accumulation de la proline permet la caractérisation de la résistance des plantes à la sécheresse, à la salinité (Belkhodja, 1996) et celle des plantes des régions désertiques (Pourrat et Hubac, 1974).

La capacité des plantes à la synthèse et à l'accumulation de proline est spécifique pour de nombreuses halophytes (Hu *et al.*, 1992) ainsi que pour les glycophytes (Hernandez *et al.*, 2000 ; Hassani, 2008).

D'autres auteurs avaient remarqué que cette accumulation se faisait chez les espèces les plus tolérantes alors que Chandler et Thorpe (1987) signalèrent une corrélation négative entre l'enrichissement en proline dans la plante et la tolérance aux stress hydrique et salin. Mais plus récemment, de nombreux travaux ont montré que l'accumulation de la proline dans les cellules de plantes en présence de stress hydrique, de stress salin (Benhassaini *et al.*, 2012 ; Mouri *et al.*, 2014 ; Bacha *et al.*, 2015) ou en présence de métaux lourds (Ramel, 2009), est liée à son rôle protecteur de soluté compatible impliqué dans la stabilisation des membranes et des protéines (Delauney et Verma, 1993 ; Hoeskstra *et al.*, 2001).

Les composés carbonés tels que les sucres solubles jouent un rôle crucial dans le développement et le fonctionnement des cellules vivantes. Chez les plantes, ils sont

synthétisés de façon endogène au niveau des cellules foliaires photosynthétiques via la fixation et la réduction du CO_2 atmosphérique constituent une source glucidique rapidement métabolisable et couvrent les besoins immédiats de la plante. Représentés par le glucose, fructose, maltose et saccharose, ces sucres solubles sont des intermédiaires métaboliques et aussi une forme de transport et dans certains cas ils étaient considérés comme une forme de stockage (Hopkins, 2003 ; Ramel, 2009). Ils sont impliqués dans la régulation de processus de développement dont celui de l'embryon et de la graine ; l'organogenèse post-embryonnaire ainsi que les réponses aux fluctuations environnementales (Ramel, 2009).

Conformément à nos résultats, la teneur en proline et en sucres solubles s'est montrée globalement plus importante au niveau des feuilles par rapport aux autres organes pour les quatre saisons chez les deux stations. Cette teneur décroît depuis l'été jusqu'en hiver et ceci concernant les trois organes étudiés.

Les résultats obtenus mettent également en évidence une variabilité saisonnière de la teneur moyenne de la proline et des sucres solubles quantifiées dans les trois organes de *Stipa tenacissima* L. évoluant en steppe (Ras El Ma) et au littoral (Béni-Saf). Cette variabilité est confirmée par l'analyse de la variance, ce qui reflète l'effet saison sur la biosynthèse et donc l'existence d'interaction entre la physiologie de l'alfa et son milieu.

Cette variabilité dans l'accumulation des composés biochimiques dans les différents organes de l'alfa est donc une réponse d'adaptation aux variations climatiques saisonnières, notamment des températures et des précipitations. La variabilité saisonnière est mise en évidence entre les trois organes pour une même saison, ce qui indique l'effet de l'organe sur la synthèse des deux paramètres biochimiques dosés et ce, pour l'alfa des deux provenances.

La teneur moyenne saisonnière en proline est importante au niveau des trois organes chez l'alfa de la steppe par rapport à l'alfa du littoral avec un pic enregistré chez les feuilles au niveau de l'été steppe : 71.59 ± 1.39 ; littoral : 56.79 ± 0.39 $\mu\text{g}/100\text{mg MV}$) et de l'automne (steppe : 96.38 ± 1.47 ; littoral : 74.90 ± 1.60 $\mu\text{g}/100\text{mg MV}$). Les mêmes constatations concernent les teneurs moyennes saisonnières en sucres solubles sauf au niveau de la saison d'automne où la tendance s'inverse seulement pour les feuilles (steppe : 160.56 ± 1 ; littoral : 170.39 ± 2.87 $\mu\text{g}/100\text{mg MV}$), mais toujours avec un pic au niveau des deux stations en été et en automne. De ces comparaisons, il ressort quelques différences entre l'alfa de steppe et l'alfa du littoral se rapportant notamment aux quantités de proline et de sucres solubles synthétisés. Ceci est en rapport avec les conditions climatiques de chaque station, mais aussi

cela laisse penser à l'existence de deux écotypes présentant des comportements physiologiques différents.

Nos résultats rejoignent ceux de Mouri *et al.* (2014) et de Bendimered (2014) sur l'oyat *Ammophila arenaria* L. où les valeurs obtenues en proline et en sucres solubles sont très importantes durant les saisons d'automne et d'été. Paquin (1986) et Mekhaldi (2007) signalent que la proline serait synthétisée dans les feuilles puis transportée vers d'autres sites, tandis que les travaux de Boutelier (1986) sur le coton, de Weimberg (1987) sur le sorgho, de Belkhodja et Baidai (2004) sur l'*Atriplex halimus* L. et de Bacha *et al.* (2015) sur la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ont rapportés que l'acide aminé migre chez diverses plantes glycophytes vers les feuilles et s'y localise, ce qui rejoint nos résultats.

Les résultats dégagés des travaux de Adda (2005) démontrent que chez les génotypes de blé testés, l'installation du déficit hydrique s'accompagne d'une importante accumulation de sucres. D'autres travaux chez le blé, notamment ceux de Blum *et al.* (1999) et Moinuddin *et al.* (2005) ont démontré que le déficit hydrique permet un ajustement osmotique qui constitue un paramètre de variabilité intra-spécifique impliqué dans l'adaptation à la sécheresse.

Pour les deux stations de prélèvement, il est à noter que l'évolution saisonnière des teneurs moyennes de la proline et des sucres solubles suit l'évolution saisonnière des températures. Alors que cette évolution est inversement proportionnelle aux précipitations saisonnières. Ce ceci, il en découle que les précipitations et les températures moyennes saisonnières représentent des paramètres essentiels dans la distribution, le fonctionnement et l'évolution de l'alfa. En effet dans les hautes plaines steppiques, la longue période sèche semble imposer à l'alfa une croissance saisonnière (Aidoud, 1989 ; Munoz *et al.*, 1994 ; Rognon, 1996), ce qui explique probablement les variations dans les distributions saisonnières quantitatives des paramètres biochimiques étudiés.

L'accumulation de la proline et des sucres solubles en quantités importantes, notamment en automne et en été dans les trois organes de l'alfa analysés, constitue chez cette espèce une stratégie d'adaptation biochimique et physiologique pour surmonter les conditions climatiques défavorables caractérisant ces deux saisons, à savoir l'importance de la période sèche qui s'étale sur environ 8 mois dans la région steppique et plus de 6 mois dans la région du littoral se traduisant par un stress thermique et un déficit hydrique. En effet, de nombreux travaux rapportent que la proline s'accumule dans la plante lorsqu'elle se trouve en conditions défavorables ce qui traduit le caractère de la résistance aux stress (Greenway et Munns, 1980 ;

Sivaramakrishnan *et al.*, 1988). L'arrêt du stress permet un retour progressif aux teneurs initiales.

Conclusion

Conclusion et perspectives

Le présent travail a porté sur une étude comparative de l'alfa (*stipa tenacissima* L.) de quatre écosystèmes différents (écotypes) : alfa de montagne (mont de Tessala), de forêt (forêt de Messer), de steppe (Ras El Ma) et du littoral (Béni-Saf).

Il s'agit d'une part de caractériser le cortège floristique et la nature du substrat de l'alfa des quatre écosystèmes et d'autre part, la morphométrie des touffes, des pièces florales et l'histologie foliaire. Par ailleurs, nous nous sommes intéressés à la comparaison de la physiologie de l'alfa de steppe (Ras El Ma) et du littoral (Béni-Saf), en particulier la germination des caryopses et la quantification de la proline et des sucres solubles au niveau des organes végétatifs pour mettre en évidence le comportement et la réponse biochimique de ces deux d'écotypes d'alfa vis-à-vis des conditions environnementales.

Les résultats obtenus ont permis de caractériser les espèces végétales accompagnatrices de l'alfa dans chaque site d'étude et de mettre en évidence les caractères édaphiques distinctifs du substrat sur lequel évolue chaque écotype, à savoir le faible taux de matière organique (1,24 %) de la station de Ras El Ma par rapport à celui de la station de Béni-Saf (11,68 %) ; ainsi que des pourcentages intermédiaires de 7.06 % pour la station de Tessala et de 5.22 % pour la forêt de Messer, la texture sablo-limoneuse de la station de Ras El Ma, sableuse de la station de Béni-Saf et équilibrée des deux stations restantes (forêt de Messer et mont de Tessala).

Les résultats auxquels nous avons aboutis ont fait ressortir l'existence d'une variabilité morphométrique très hautement significative ($p < 0.001$) entre les quatre écotypes: hauteur, diamètre et circonférence moyens des touffes. Sur l'ensemble des touffes étudiées, celles de la forêt de Messer sont les plus développées.

Les mesures de la longueur des différentes pièces florales et leur traitement statistique par l'analyse de la variance ont révèlé des différences non significatives ($p > 0,05$) entre les touffes de chaque écotype. Ce qui indique l'inexistence de variabilité à l'intérieur de chacune des populations d'alfa étudiées. Cependant, quelques différences ont été notées entre les touffes des quatre écotypes. C'est ce qui a été démontré par l'analyse en composantes principales (ACP) effectuée sur les mesures des pièces florales et qui a fait ressortir deux groupes statistiquement homogènes : le groupe 1 comportant la glume inférieure (gi), la glume supérieure (gs) et le rapport séta/columna (s/c), corrélé aux touffes d'alfa de la station 2 "Forêt de Messer" et la station 4 "Béni-Saf" ; le groupe 2 constitué par la glumelle supérieure

Conclusion et perspectives

(lm) et la glumelle inférieure (p), corrélé aux touffes d'alfa des stations 1 "Tessala" et 3 "Ras El Ma".

L'étude histologique a permis d'identifier et de caractériser les tissus des feuilles en mettant en évidence la majeure différence relevée entre les quatre écotypes, résidant au niveau du développement du tissu fibreux lignifié et cellulosique. La station steppique de Ras El Ma présente des tissus à parois cellulosiques plus développés par rapport aux autres stations étudiées, ce développement du tissu à parois cellulosiques dans la feuille est une forme d'adaptation anatomique à la sécheresse.

L'étude physiologique comparative réalisée sur l'alfa de steppe et l'alfa du littoral a permis de caractériser le comportement germinatif des caryopses de l'alfa de chacun de ces deux écotypes en y mettant en évidence l'effet de la température, de la salinité et du stress hydrique. Elle a fait ressortir que :

- l'optimum thermique de germination est compris entre 20 et 25 °C pour les caryopses des deux provenances avec toutefois, des capacités de germination plus importantes caractérisent les caryopses de la région steppique.
- les caryopses du littoral sont plus tolérants à la salinité que les caryopses de la steppe dans la mesure où le seuil de tolérance pour les caryopses du littoral correspond à 8g/l de NaCl alors celui des caryopses de la steppe est de l'ordre de 4 g/l.
- comparativement aux caryopses d'alfa du littoral, ceux de la steppe résistent beaucoup plus au déficit hydrique étant donné qu'ils sont aptes à germer à un faible potentiel hydrique de l'ordre de - 1.6 Mpa. Le seuil de tolérance concernant les caryopses du littoral est de l'ordre de - 0.8 Mpa.

Concernant le dosage saisonnier de la proline et des sucres solubles, les résultats obtenus ont révélé que quelle que soit la saison, la teneur en proline croît progressivement des racines vers les rhizomes pour enfin s'accumuler au niveau foliaire dans ces deux écotypes avec un pic enregistré en automne et en été. Ce qui laisse penser que chez l'alfa, les feuilles sont considérées comme sites de résistance aux conditions de stress de ces deux saisons, à savoir le déficit hydrique et les températures élevées.

L'étude statistique a démontré l'existence d'interactions fortement significatives entre tous les facteurs pris en compte (organes, saisons et stations) dans le dosage de ces deux marqueurs de stress ($P < 0.001$). Globalement, il ressort que ces marqueurs de stress sont beaucoup plus

Conclusion et perspectives

synthétisés, en automne et en été, chez l'alfa de steppe par rapport à l'alfa du littoral. Ceci est en relation avec les conditions climatiques plus contraignantes de la steppe.

La synthèse accrue de la proline et des sucres solubles chez les deux écotypes (alfa de steppe et alfa du littoral), notamment en été, constitue une stratégie d'adaptation biochimique aux conditions climatiques de cette saison.

En épilogue, l'ensemble des résultats obtenus ont permis de compléter le corpus des données édifiées relativement à l'alfa et surtout de dégager quelques points de différence entre les écotypes étudiés notamment pour ce qui est de la physionomie des touffes et leurs panicules, l'histologie foliaire, la physiologie de la germination et l'adaptation biochimique aux conditions climatiques saisonnières.

Sur la base de ces données préliminaires, il serait souhaitable d'approfondir et de compléter ce travail, par des techniques de pointe comme les analyses moléculaires (PCR), en vue de mieux cerner l'origine de la variabilité morphologique enregistrée entre les quatre stations. Des études anatomique et biochimique plus poussées pourraient également contribuer dans la confirmation d'écotypes chez l'alfa.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdelguerfi A., 2003** - Rapport de synthèse sur les risques menaçant la biodiversité en Algérie. MATE-GEF/PNUD : projet ALG/97/G31. Tome V. 92p.
- Adda A., 1996** – Etude des paramètres morpho-pjysiologiques et anatomique du blé dur dans une zone semi-aride. Thèse de magister, INA-El Harrache, 120p
- Adda A., 1996**- Etude des paramètres morpho-pjysiologiques et anatomique du blé dur dans une zone semi-aride. Thèse de magister, INA-El Harrache, 120p.
- Afnor, 1987** - Qualité des sols. Méthodes d'analyses. Recueil des normes françaises. Paris. 135p.
- Agoussine A., 2003** – Hydrologie en région aride et semi-aride ; cas du Sud Est Marocain. Terre et vie, 69, juin 2003.
- Agoussine A., 2003**- Hydrologie en région aride et semi-aride ; cas du Sud Est Marocain. Terre et vie, 69, juin 2003.
- Aidoud A. et Aidoud F., 1988** - Les parcours du bassin versant du Chott chergui (Sud Oranais) : groupements et ressources pastorales. In : phytosociologie et pastoralisme. Coll. Phytosociol. XVI. Paris. 232p.
- Aidoud A. et Lounis F., 1997** - Le complexe à alfa-arquoise-sparte (*Stipa tenacissima* L., *Artemisia herba alba* Asso., *Lygeum spartum* L.) des steppes arides d'Algérie. Structure et dynamique des communautés végétales. Thèse de doctorat. Unis. Aix-Marseille III, 198p.
- Aidoud A. et Touffet J., 1996** - La régression de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) : graminée pérenne, indicateur de désertification des steppes Algérienne. Sécheresse, 7, 187-93.
- Aidoud A., 1983** - Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud oranais : phytomasse, productivité primaire et applications pastorales. Thèse de doctorat. USTHB. Alger, 180p.
- Aidoud A., 1989** - Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques pâturés des hautes-plaines Algéro-Oranaise (Algérie) : Fonctionnement, évaluation et évolution des ressources végétales. Doct. ès. Sci, USTHB, Alger, 240p.
- Alem C., Amri A., 2005**- Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. Reviews in Biology and Biotechnology, Vol4, Nol, January 2005.
- Aragues R., Ameshta E., 1991**- Dispersion de argillas y conductividad hidraulicade cinco horizontes de un suelo salimo-sedico. Investigacion Agraria. Produccion vegetales. 6, 2, 147-159p.
- Aubert G., 1989** - La classification des sols. Document de travail n 02. Fac. Saint-Jérôme. Marseille. 6p.

Références bibliographiques

- Baskin, C.C., Baskin, J.M., 1998** - Seeds Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press, San Diego, CA, p. 666.
- Belhassen E., This D., Monneveux P., 1995-** L'adaptation génétique face aux contraintes de la sécheresse. Cahier Agriculture, 4, 251-261p.
- Belkhodja M., Bidai Y., 2004** – Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. Sécheresse, 4, vol. 15, décembre 2004.
- Belkhodja M., Bidai Y., 2010-** Analyse de la proline pour l'étude de la résistance d'une halophyte *Atriplex halimus* L. à la salinité. Laboratoire de physiologie végétale, faculté des sciences, Université d'Oran.
- Bendimred F-Z., 1997** - Contribution à l'étude de L'oyat (*Ammophila arenaria* L.). Approche écologique. Germination des caryopses, croissance, anatomie et histochimie des feuilles. Mémoire de Magister, Univ. Tlemcen, 110p.
- Bendjafar A., 2009** - Evaluation de la végétation naturelle au niveau de la steppe à alfa (*Stipa tenacissima* L.) de la région de Ras El Ma (Algérie occidentale). Mémoire de Magister, Univ. Sidi Bel Abbès, 96p.
- Besnier, F., 1989** - Semillas: Biologia Technologia. In: Mundiprensa (Ed.), (Madrid. 524 pp.).
- Bessam F-Z., 2008** - Contribution à l'étude de *Stipa tenacissima* L. Germination, caractérisation de certains polyphénols et essais d'obtention de caryotype. Mémoire de Magister, Univ. Sidi Bel Abbès, 96p.
- Bessam, F.Z., Mehdadi, Z., Bessam, H.M., Marouf, A., 2010** - Effets de quelques prétraitements physiques sur l'amélioration des performances germinatives de *Stipa tenacissima* L. et caractérisation des substances inhibitrices. In Acta Bot. Gallica, 157 (2), 349-360, 2010.
- Bewley, J.D., Black, M., 1994** - Seeds: Physiology of Development and Germination. Plenum Press, London, p. 445.
- Binet P., 1958** - Etude sur quelques aspects morphologiques anatomiques et physiologiques de la germination de *Zilla macroptera* Coss. Rev. Gén. Bot., 65, 129-181.
- Bischoff, A., Vonlanthen, B., Steinger, T., 2006** - Seed provenance matters-effects on germination of four plant species used for ecological restoration. Basic Applied Ecology Journal 7, 347-359.
- Bogges S.F., Stewart C.R., 1976-** Stress metabolism. IX. The significance of end product inhibition of proline biosynthesis and of compartementation in relation to stress-induced proline accumulation. Aust J. Plant physiol., 3 : 513-525p.

Références bibliographiques

Bonneau M., Souchier B., 1994- Constituants et propriétés du sol. Pédologie, 2^{ème} ED. 385-391p.

Bouabdellah H., 1992 - Dégradation du couvert végétal steppique de la zone Sud-Ouest Oranais. Cas d'El Aricha, Ins, Géog. Aménag. Territ, Oran, 222p.

Bouchetata T., 2002 - diagnostique écologique et désertification, analyse des stratégies du milieu steppique. Magister écobiologie, C.U.Mascara. 152p.

Boudy., 1950 - Economie forestière Nord Africaine Tome II. Paris, 177p.

Bourahla A. et Guittonneau G., 1978 - Nouvelles possibilités de régénération des nappes alfatières en liaison avec la lutte contre la désertification. Bull. Inst. Ecol. Appl. d'Orleans, 1-17.

Bourreil P., Benichou A., 1962 - Etude anatomique du limbe des innovations des "Aristida" de l'Afrique du Nord et du Sahara. Imprimerie la typo-litho, 203p.

Boussaid M., Benito C., Harche M., Naranjo T., and Zedek M., 2012 - Genetic Variation in Natural Populations of *Stipa tenacissima* from Algeria. Génétique et biochimie. Volume 1/1967 - Volume 50/2012. (2) 10: 75-96.

Bouterfas K., 2011 - Etude de *Marrubium vulgare* L. du Mont de Tessala (Algérie occidentale), autoécologie, histologie, quantification de quelques polyphénols et évaluation du pouvoir antimicrobien des flavonoides. Mémoire magister, Univ Sidi Bel Abbès. 244p.

Bouton S., Leboeuf E., Mouille G., Leydecker M., Talbotec J., Granier F., Lahaye M., Hofte H., and Truong H., 2002 - *QUASIMODO1* encodes a putative membranebound glycosyltransferase required for normal pectin synthesis and cell adhesion in Arabidopsis. Plant Cell 14: 2577-2590.

Braun-blanquet J., 1952 - Phytosociologie appliquée. Comm. S.I.G.M.A. 116 : 156-161p.

Bullock V., Fedoroff N., Jongerius A., Stoops G., Tursina T. et Babel U., 1985 - Handbook for soil thin section thin section. Waine research Publications, Wolverhampton. 152p.

Burt R.L., 1966- Some effects of temperature on carbohydrate utilisation and plant growth. Austr. J. Biol. Sci. 19 : 711-714p.

C.N.E.S., 2003- Les conséquences de la sécheresse vue de l'espace. Centre national d'étude spatiale. 2001-2005 futura-Science.com.

Camelfort H., 1972 - Morphologie des végétaux vasculaires. Cytologie - Anatomie - Adaptations. 2ème édition, Collection Biologie. Doin, Paris, 55, 185-202.

Cardoso S. M., Ferreira J. A., Mafra I., Silva., AMS., and Coimbra M. A., 2007 - Structural ripeningrelated changes of the arabinanrich pectic polysaccharides from olive pulp cell walls. J Agric Food Chem 55: 7124-7130.

Références bibliographiques

- Carpita N., 1996** - Structure and biogenesis of the cell walls of grasses. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 47: 445-476.
- Cartier N., 1986** - Les polysaccharides de la paroi primaire des cellules de *Rubus fruticosus* Mill. Cultivées en suspension : intervention des polysidases endogènes dans leur réarrangement au cours de la croissance. Thèse Doc. Univ. Grenoble. 466p.
- Chadli R., 1990** - Contribution à l'étude du sparte (*Lygeum spartum* L.): germination, croissance des feuilles, structure pariétale, essai d'obtention de pâte papetière à partir des fibres foliaires. Thèse de Magister, Université Es-Sénia, Oran. 96p + planches.
- Chaïb G., 1998**- Teneur en proline dans les différents organes du blé dur (*Triticum durum* Desf.), essai d'explication de condition d'accumulation de la proline sous le stress hydrique. Thèse de magister. Univ. Constantine, 84p.
- Chamley H., 2002** - Environnement biologiques et activités humaines. Edition: Vuibert. Paris. 551p.
- Chen Z., Hong X., Zhang H., Wang Y., Li X., Zhu J., and Gong Z., 2005** - Disruption of the cellulose synthase gene, *atcesa8/irx1*, enhances drought and osmotic stress tolerance in *Arabidopsis*. *Plant J* 43: 273-283.
- Chenais F., Legarto J., Brunschwing P., Haurez P., 2003**- Valorisation des maïs « sécheresse ». CNES ; communiqué de presse ; Les conséquences de la sécheresse vues de l'espace. Toulouse.
- Cheverry C., Robert M., 1993**- Salure des sols Magrébins : Influence sur les propriétés physiques et physico-chimiques des sols. Répercussion des modifications de ces dernières sur les fertilités, notamment azotées. Rapport final du contrat CEE STD TS2-108-F, 34p.
- Cochard H., 1991**- Stress hydrique, *Revue Green Keeper*, 15 Juillet-Aout-Septembre, 7p.
- Cosgrove D. J., 2000** - Expansive growth of plant cell walls. *Plant Physiol Biochem* 38: 109-124.
- Cosgrove D. J., 2005** - Growth of the plant cell wall. *Nat Rev Mol Cell Biol* 6: 850-861.
- Côté W. A., 1977** - Wood ultrastructure in relation to chemical composition. Ed. Plenum Press. New York. 250p.
- Crété P., 1965** - Précis de botanique Tome II. systématique des angiospermes, édition 2. Masson. Paris. 425p.
- Dadache, M., Mehdadi, Z., Latreche, A., 2015** - Germination Responses of *Marrubium Vulgare* L. under Various Water stress Conditions. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 5 (9). 28-33.

Références bibliographiques

- Daoud Y., 1993-** Contribution à l'étude des sols des plaines du Chellif. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doct. Es.Science. Agronomiques. INA. Alger, 277p.
- De Jong E., Ballantyne A.K., Cameron D.R. et Read D.W.L., 1979 -** Measurements of apparent electrical conductivity of soils by an electromagnetic induction probe to aid salinity survey. Soil Sci. Soc. Am. J? 43 : 810-812p.
- Delauney A.J and Verma D.P.S., 1993-** Proline biosynthesis and osmoregulation in plant. 4 : 215-223p.
- Deysson G., Mascré M., 1961 -** Physiologie et biologie des plantes vasculaires (Tome 111 du Cours de Botanique Générale), Sedes, pp. 1-273.
- Djè Y., Myraim H., Ater M., Claude L., Xavier V., 2007 -** Evaluation de la diversité morphologique des variétés traditionnelles de sorgho du Nord-ouest du Maroc. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. Volume 11 (1), 39-46.
- Djebaili S., 1984 -** Steppe Algérienne, phytosociologie et écologie sur la végétation des hautes plaines stepiques de l'atlas saharien. Off. Pub. Univ. Alger, 177p.
- Driouich A., Gaouar A., Benouali E., 2001-** Variabilité temporelle de la salinité dans le périmètre Hmadna (Relizane) Congrès Scientifique Arabe El-Ouad. 224-233p.
- Duchaufour P., 2001 -** Introduction à la sécheresse du sol : sol, végétation, environnement. Edition 6. Ed. Dunod. Paris. 331p.
- Duval-Jouve J., 1875 -** Histotaxie des feuilles de Graminées. Ann. Sci. Nat., Série 6., Bot., 1, 294-371.
- Eagles C.F., Treharne K.J., 1969-** Photosynthetic activity of dactylis glomerata L.in different light regimes. Photosynthetic, 3 : 29-38p.
- Egelund J., Skjot M., Geshi N., Ulvskov P., and Petersen B. L., 2004 -** A complementary bioinformatics approach to identify potential plant cell wall glycosyltransferaseencoding genes. Plant Physiol 136: 2609-2620.
- EL-Jaafri S., Paul R., 1993-** Accumulation foliaire de la proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum*), physiol. Biochim. Biophys. 101-138p.
- Fenner, M., Thompson, K., 2005 -** The Ecology of seeds. Cambridge University Press, Cambridge.
- Francis, C. F., Thornes, J. B., 1990 -** Vegetation and erosion. Processes and environments. 1990 pp. 363-384.

Références bibliographiques

- Gagnard J., Huguet C. et Ryser J.P., 1988** - L'analyse du sol et du végétal dans la conduite de ma fertilisation, le contrôle de la qualité des fruits. Secrétariat générale OILB/SROP, Edition : Diffusion ACTA. 87p.
- Gasque, M., Gacia-Fayos, P., 2003** - Seed dormancy and longevity in *Stipa tenacissima* L. (Poaceae). Plant Ecology 168, 279-190.
- Gayral P., Auro R., 1958** - Observation sur les variations morphologiques d'une zone cotière adjacente à l'estuaire de Bourrelée (Rive gauche). Bull. Soc. Mat. et Phy. du maroc. 38 (2) : 59-70.
- Guemou L., 2010** - Contribution à l'évaluation de la diversité génétique de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) dans la région de Tiaret. Mémoire de Magister, Univ. Sidi Bel Abbès, 94p.
- Guignard J. L., 2000** - Biochimie végétale, Edition II de l'abrégé. Dunod. Masson. Paris, 247p.
- Guillaume C., 2007**- Les transporteurs du saccharose chez les végétaux. Spectroscience.
- Halitim A., Robert M., Tessier D., Prost R., 1984**- Influence des cations échangeables (Na^+ , Ca^+ , Mg^+) et de la concentration saline sur le comportement physique (relation en eau, conductivité hydraulique) de la montmorillonite agronomique, 4(5), 452-459p.
- Hamasha, H.R., Hensen, I., 2009** - Seed germination of four Jordanian *Stipa* spp.: difference in temperature regimes and seed provenances. Plant Species Biology 24, 127-132.
- Harche M., 1978** - Contribution à l'étude de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) : germination; croissance des feuilles, différenciation des fibres. Thèse 3ème cycle; Univ. P. et M. Curie, Paris. 88p.
- Harche M., 1984** - Origine et différenciation des fibres sous-épidermiques de la feuille d'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Ann. Sci. Nat. Bot., 13ème série., 6 : 207-226.
- Harche M., 1986** - Un type original d'architecture pariétale : L'épiderme foliaire de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.). C.R.Acad.Sc., Paris, t.303, sér. III, 4 : 131-134.
- Harche M., Darenz D., Catesson A. M., 1989** - Etude expérimentale de la délignification des fibres foliaire de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.). Ann. Sci. Nat. Bot., 13ème série, 10 : 27-34.
- Harche M., Megdad N et Thollier M.T., 1992** - Etude histochimique et biochimique des tissus foliaires de *Stipa barbata*. XVI Journées Internationales du groupe polyphénols. Lisbonne (Portugal), 13-16.
- Harche M., Megdad N., 1989** - Valorisation des graminées vivaces à fibres : cas des graminées à usage papetier. Séminaire international de Biologie et de développement, Constantine 27 et 28 mai.

Références bibliographiques

- Harholt J., Jensen J. K., Sorensen S. O., Orfila C., Pauly M., and Scheller H. V., 2006** - ARABINAN DEFICIENT 1 is a putative arabinosyltransferase involved in biosynthesis of pectic arabinan in Arabidopsis. *Plant Physiol* 140: 49-58.
- Hellal, B., Ayad, N., Maatoug, M., Boularas, M., 2007** - Influence du « fatras » sur la biomasse foliaire de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) de la steppe du Sud oranais (Algérie occidentale) Volume 18, numéro 1, 65-71.
- Heller R., 2000 - *Physiologie végétale Tome 2 : Développement*. Ed. Dunod. 366p.
- Hoch G., 2007** - Cell wall hemicelluloses as mobile carbon stores in nonreproductive plant tissues. *Functional Ecology* 21: 823–834.
- Hoffmann L., 2003** - Etude du métabolisme des phénylpropanoïdes, analyse de l'interaction de la caféoyl-coenzyme A 3- méthyltransférase avec son substrat. Thèse de doctorat. Univ. strasbourg. 166p.
- Hopkins W.G., 2003**- *Physiologie végétale*. Traduction de la 2^{ème} édition américaine par Serge.R.ED.de Boeck, 66-68p.
- Hsiao T.C., Acevedo E., 1976**- Stress metabolism : water stress growth and osmotic adjustment. *Phil. Trans. Roy. Soc. London B*, 273 : 479-500p.
- Hu, X.W., Zhou, Z.Q., Li, T.S., Wu, Y.P., Wang, Y.R., 2013** - Environmental factors controlling seed germination and seedling recruitment of *Stipa bungeana* on the loess Plateau of northwestern China. *Ecological Research* 28, 801-809.
- Hurd E.A., 1974**- Phenotype and drought tolerance in wheat. *Agric. Meteo*, 14, 39-55p.
- Jamagne M., 1967** - Bases et techniques d'une cartographie des sols. Edition : Yvette Dewolf. *Annales de géographie*. Volume 78. 478p.
- Joseleau J.P., Barnoud F., 1975** - Hemicelluloses of *Arundo donax* at different stages of maturity. *Phytochem.*, 14 : 71-75.
- Kadi-Hanifi A. H., 1998** - Syntaxonomie, relation milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Thèse de doctorat, université Houari Boumediene, Alger, 270p.
- Kaiser W. M., 1987**- Effect of water deficit on photosynthetic capacity, *Physio. Plaut* 71 : 142-149p.
- Khalidi A. & Khouja M.K., 1996** - Atlas pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) in North Africa: Taxonomy, geographical distribution, utilization and conservation. Repport of a workshop: Taxonomy, distribution, conservation and uses of *Pistacia* genetic resources Report of a workshop, Palermo, Italy. 57- 62.
- Khalidoun A., 1995** - Les mutations récentes de la région steppique d'El Aricha. Réseau parcours, pp. 59-54.

Références bibliographiques

- Khedr A.A., Abbas M.A., Abdel Wahid A.A., Quick W.P. & Abogadallah G.M., 2003** - Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancratium maritimum* L. to salt stress. *J. Exp. Bot.*, 54 : 2553-2562.
- Khelil M. A., 1995** - Le peuplement entomologie dans les steppes à alfa. Univ. Tlemcen, 76p.
- Khelladi M., 1994** - Contribution à l'étude du sparte (*Lygeum spartum* L.) poussant en zone semi-aride et en zone littorale : mise en place di tissus fibreux dans une feuille et analyse biochimique des composés pariétaux. Thèse de magister. Inst. Sci. Nat., Univ. Oran. 119p.
- Kihal et Harche., 1989** - Contribution à l'étude des composés azotés de la feuille d'alfa (*Stipa Tenacissima* L.). *Bull. Ecol. Terr.* Tome 4, numéro 12.
- Kiyosue T., Yoshiba Y., Yamaguchi-Shinozaki K., 1996**- Anuclear gene encoding mitochondrial proline dehydrogenase, an enzyme involved proline metabolism is upregulated by proline but down regulated by dehydration in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 8 : 1323-1335p.
- Kohorn B. D., 2001** - **WAKs; cell wall associated kinases.** *Curr Opin Cell Biol* **13: 529-533.** **Bacic A., 2006** - Breaking an impasse in pectin biosynthesis. *Proc Natl Acad Sci U S A* 103: 5639-5640.
- Kramer P.J., 1980**- Drought stress and the origin of adaptation of plants. To water and high temperature stress. ED. Wiley Inter Science. New York, 7-20p.
- Krichen, K., Ben Mariem, H., Chaieb, M., 2014** - Ecophysiological requirements on seed germination of a Mediterranean perennial grass (*Stipa tenacissima* L.) under controlled temperatures and water stress. *South African Journal of Botany* 94, 210-217.
- Latreche A et Mehdadi Z., 2006** - Aridification et évolution de la végétation steppique de la région de Ras El Ma et El-Aricha. Wilaya de Sidi Bel Abbès. *Revue d'écologie-environnement.* Numéro 2.
- Le Houerou H. N., 1997** - Biodiversité végétale et ressources génétiques en Afrique. *Cahier sécheresse*, 8 (2) : 117-122.
- Le Houerou H. N., 2000** - Biogeography of the arid stepplad north of the Sahara. *Internation Consultant : Ecology, Management and Development of arid Lands*, Montpellier, 103-128.
- Lee S., Lee E.J., Yange E.J and Park O.K., 2008**- Proteomic identification of annexins, calcium-dependent membrane binding proteins that mediate osmotic stress and abscisic acid signal transduction in *Arabidopsis*. *The plan cell*, 16 : 1378-1391p.
- Lelevière F., 1999**- « L'eau et les plantes ». Tome 1 (milieu naturel et maîtrise), INRA-Ed. Montpellier, 137-158p.
- Lesaint A.M., 1969**- Variations comparative des teneurs en proline libre et en glucides soluble en relation avec l'inégale sensibilité au gel des organes plants de chou de Lilan. *Culture CR. Sci. Paris*, 26831 : 0-313p.

Références bibliographiques

- Liepman A. H., Wilkerson C. G., and Keegstra K., 2005** - Expression of cellulose synthaselike (Csl) genes in insect cells reveals that CslA family members encode mannan synthases. *Proc Natl Acad Sci U S A* 102: 2221-2226.
- Lopez, G.A., Potts, B.M, Vaillancourt, R.E., Apiolaza, A., 2003** - Material and carryover effects on early growth of *Eucalyptus globules*. *Canadian Journal of Forest Research* 33, 2108-2115.
- M. Denden M., Bettaieb T., Salhi A., Mathlouthi M., 2005** - Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *Tropicultura*, 23, 4, 220-225.
- Maatougui M.E.H., 2001**- Social : un acide organique pour la correction des problèmes de salinité des sols et des eaux salées. Actes du séminaire national sur la problématique et reconversion. Sidi Bel Abbès. 22 au 24 janvier 2001.372-373p.
- Mascre M., Deysson G., 1967** - Nouvelle édition. Physiologie et biologie des plantes vasculaires. 2e partie. Croissance, reproduction, écologie, phytopathologie, par Guy Desson et Marcel Mascre. Volume 3. Société d'édition d'enseignement supérieur. 336p.
- Mazoyer G., 1936** - Morphologie et anatomie foliaire des *Stipa* de l'Afrique du Nord - Bail. Soc., His., Nat. Afr. Nord, 27-28p.
- Megdard N., 1988** - Initiation à la microscopie photonique et électronique et leur application sur quelques plantes des Hauts Plateaux algériens : *Lygeum spartum* L., *Stipa tenacissima* L. et *Retama retam*. Mém. de DES. Univ., d'Oran. 175p.
- Mehdadi Z., 1992** - Contribution à l'étude de la régénération de l'alfa (*Stipa Tenacissima* L.) et comportement du méristème végétatif. Mémoire de Magister. Univ de Tlemcen, 122p.
- Mehdadi Z., 2003** - Etude écobiochimique de *Stipa Tenacissima* L. : Apport de la cytofluorométrie dans l'étude du comportement du méristème végétatif et évolution saisonnière de la composition foliaire en fibres pariétales, éléments minéraux et lipides. Thèse de doctorat d'état. Univ. Sidi Bel Abbès, 128p.
- Mehdadi Z., Benaouda Z., Bouachour L., Moulesseoul S., Joseph M. et Delcourt A., 2000** - Etude du comportement du méristème végétatif de l'alfa (*Stipa Tenacissima* L.). Approches cytologiques et histologiques. *Journal Soc. Bio.* 194 : 195-204p.
- Mehdadi Z., Benouada Z., Latrech A., Benhassaini H. et Bouachour I., 2004** - Contribution à l'étude de la régénération naturelle de *Stipa tenacissima* L. dans les hautes plaines steppiques de Sidi Bel Abbès (Algérie occidentale), Science et changement planétaire / Sécheresse. Volume 15, Numéro 2, 197-71.
- Mekhaldi A., 1994** - Contribution à l'étude d'*Aristida pungens* L. : germination, structure et ultrasturcture du tissu fibreux, obtention de pâte papetière à partir des tissus fibreux foliaires et caulinaires. Thèse de Magister. Univ., d'Oran. 169p.

Références bibliographiques

Meyer, S.E., Debaene-Gill, S.B., Allen, P.S., 2000 - Using hydrothermal time concept to model seed germination response to temperature, dormancy loss, and priming effect in *Elymus elymoides*. Seed Science Research 10, 213-223.

Moines C., 2005 - Extraction, caractérisation structurale et valorisation d'une famille d'hémicelluloses du bois : obtention de matériaux plastiques par modification des xyloanes. Thèse de doctorat. Univ. Limoge. 171p.

Mouri C., Benhassaini H., Bendimered F.Z., Belkhodja M., 2012 - Variation saisonnière de la teneur en proline et en sucres solubles chez l'oyat (*Ammophila arenaria* (L.) Link) provenant du milieu naturel de la côte ouest de l'Algérie. Acta Botanica Gallica. 20, 5, 150-162.

Mrani Alaoui M., El Jourmi L., Ouarzane A., Lazar S., El Antri S., 2013 - Effet du stress salin sur la germination et la croissance de six variétés marocaines de blé (Effect of salt stress on germination and growth of six Moroccan wheat varieties). J. Mater. Environ. Sci. 4 (6) 997-1004.

Munns M., 2002- Comparative physiology of salts and water stress. Plant cell Environ. 25 : 230-250p.

Munoz F., Andueza D., Delgado I., Ochoa M.J., 1994 - Chemical composition and in vitro digestibility of herbaceous autochthonous plants in semi-arid region of Spain. CIHEAM - Options Méditerranéennes. 75-78.

N.C.F.A.R., 2005- Drought's growing reach : National Center For Atmospheric Research Study Point to Global warming as key Factor.

Nedjraoui D., 1990 – Adaptation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L) aux conditions stationnelles. Thèse Doct. USTHB, Alger, 256p.

Nedjraoui D., 2001 - Country pasture/forage resource profiles. Algérie, 36p.

Nedjraoui D., 2004 - Evaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indications de dégradation. Cahier options, Méditerranéenne. Volume 62 : 239-244p.

Neffati M., 1994 – Caractérisation morpho-biologique de certaines espèces végétales nord africaines : implication pour l'amélioration pastorale. Thèse de doctorat. Université de Grand (Belgique). 170p.

Neffati M., Akrimi M., 1997 – Etude des caractéristiques germinatives des semences de quelques légumineuses spontanées de la Tunisie steppique. Rev.Rég. Arides, NS, 272-287.

OBro J., Harholt J., Scheller H. V., and Orfila C., 2004 - Rhamnogalacturonan I in *Solanum tuberosum* tubers contains complex arabinogalactan structures. Phytochemistry 65 : 1429-1438.

Références bibliographiques

Office national de la Météorologie (ONM). Recueil des données climatiques de la wilaya de sidi Bel Abbès. Alger :ONM, 1998.

O'Neill M.A., Ishii T., Albersheim P., and Darvill A. G., 2004 - Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate crosslinked cell wall pectic polysaccharide. *Annu Rev Plant Biol* 55: 109-139.

Ozenda P., 1958 - Flore du Sahara septentrional et central. CNRS, France, 486p.

Ozenda P., 1983 - Flore du Sahara 2^e édition. Paris : éditions du centre national de la recherche scientifique, 622p.

Ozenda P., 2000 - Les végétaux, organisation et diversité biologique 2^e édition. Paris : Donod. 516p.

Ozenda P., 2000 - Les végétaux, organisation et diversité biologique 2eme édition. Paris : DUNOD. 516p.

Palonen P., 1999- Relation ship of seasonal changes in carbohydrates and cold hardiness in canes and burds of three red raspberry cultivars. *J Am Soc Hort Sci*, 124 : 507-13p.

Parent C., Capelli N. & Dat J., 2008 - Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. *Comptes rendus Biologies*, Vol. 331, N°4 : 255-261. Doi : 10.1016/j.crv.2008.02.001.

Parfitt D. E. & Badenes M. L., 1997 - Phylogeny of the genus Pistacia as determined from analysis of the chloroplast genome. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 94: 7987-7992.

Parfitt D.E. & Badenes M.L., 1997 - Phylogeny of the genus Pistacia as determined from analysis of the chloroplast genome. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 94: 7987-7992.

Pee-Laby M., 1898 - Etude anatomique de la feuille des graminées de la France (*Ann. Sc. Nat., Série. 8., Bot., 1*, 227-346p.

Pico, F.X., Ouborg, N.J., Van Groenendael, J.M., 2003 - Fitness traits and dispersal ability in pression and maternal effects. *Journal of Plant Biology*5, 522-530.

Popa V. I., 1996 - Hémicelluloses. *Polysaccharides in Medical Application*. 107-124.

Purer E.A., 1942 - Plant ecology of the coastal salt marshlands of San Diego Country, California. *Ecol., Monogr.* 12 : 83-11.

Quézel P. et Santa S., 1962-1963 - Nouvelles flores de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, vol 1,2 CNRS, Paris, 1170p.

Raffaelli M., Ricceri C., 1989 - Contribution à la connaissance de la flore de la Tunisie du Centre-Nord. (Contribution to the flora of central-northern Tunisia) *Candollea* 44. (1) : 75-102.

Références bibliographiques

- Raunkiaer C., 1934** - The life from plants and statistical plant geography. Collected papers, clarendon press, oxford, 632p.
- Rejili M., Vadel M.A. & Neffatp M., 2006** - Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. Revue des Régions Arides, Vol. 17, N°1 : 65- 78.
- Rekika, 1997**
- Requier-Desjardins M., Caron P., 2005**- La lutte contre la désertification : Un bien public mondial environnemental ? Des éléments de réponse. Janvier 2005. CSFD/Dossier/1.4p.
- Reynier C., 1954** - Tiout (Sud oranais), étude historique, géographique et médicale, Arch. Inst. Pasteur, Alger, Algérie. 32 (2) : 107-139.
- Rhanem M., 2009** - L'alfa (*Stipa tenacissima* L.) dans la plaine de Midelt (haut bassin versant de la Moulouya, Maroc) éléments de climatologie, géographie physique et environnement. Volume III 2p.
- Rhodes D. & Hanson AD., 1993** - Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol., 44: 357-384.
- Rhodes J.D., 1985**- Salt problems from increased irrigation efficiency. J.Irrig. Drain. Engineering. 218-229p.
- Rieu M. et Chevery C., 1976** - Mise au point bibliographique sur quelques recherches récentes en matière des sols salés. Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. D. 281 : 123-126.
- Roland J. C., Roland F., El Maarouf H., et Boreteau F., 2008** - Atlas: Biodiversité végétale, organisation des plantes à fleurs. Dunod. 9ème édition. 141p.
- Royapati P., Steward C.R., 1991**- Solubilization of a proline dehydrogenase from mais (*Zea mays* L) mitochondria. Plant Physiol, 95, 787-791p.
- Sarni F., 1979** - Contribution à l'étude des polysaccharides des parois de tissus de feuilles d'alfa (*Stipa Tenacissima* L.). D.E.S., ISN. Oran, 99p.
- Seltzer P., 1946** - Le climat d'Alger. Ed. Univ. Alger, 219p.
- Somerville C., 2006** - Cellulose synthesis in higher plants. Annu Rev Cell Dev Biol 22: 53-78.
- Stewart C.R., Boggess F., Aspinall D., Paleg I.G., 1978**- Inhibition of proline oxidation by water stress. Plant Ohysiol., 59, 930-932p.
- Stewart C.R., Larher F., 1980**- Accumulation of amino acids and related compound in relation to environmenal stress. The biochemistry of plants. Vol 5, Academic Press, 609-635p.
- Szalbbocs L., 1986**- Agronomical and ecological of irrigation on soil and water salinity advances in soil Science vol4, 189-218p.

Références bibliographiques

Tarnawski S., 2004 - Réponse des populations de *Pseudomonas* à une augmentation de la concentration en CO₂ atmosphérique dans la rhizosphère de *Lolium perenne* et *Molinia coerulea*. Thèse de doctorat. Univ. Neuchâtel, Suisse. 135 p.

Thompson D. S., 2005 - How do cell walls regulate plant growth? *J Exp Bot* 56: 2275-2285.

Thompson J.E. and Fry S.C., 2000 - Evidence for covalent linkage between xyloglucan and acidic pectins in suspensioncultured rose cells. *Planta* 211: 275-286.

Tirse M. (2010). Etude adaptative des populations de *Pistacia atlantica* Desf. par le biais du complexe stomatique. Mém. Mag., Univ. Sidi Bel Abbès, Algérie. 142p.

Touchard C., 2006 - Recherche de QTLs et choix de cibles stratégiques pour l'amélioration de la tolérance aux basses températures chez le maïs. Thèse de doctorat. Univ. de technologie Compiègne. 246p.

Trabut L., 1889 - Etude sur l'Halfa. Alger : jourdan, 90p.

Tremblin G., 2000- Comportement auto-écologique de *Hallopeplis amplexiaculis* : plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. Sciences et changement planétaires/sécheresse, Vol. 11, N°2, p109-16.

Vance C. P., Kirk T. K. and Sherwood R. T., 1980 - Lignification as a mechanism of disease resistance. *Ann. Rev. Phytopatol.* 18 : 259-288.

Venekamp J.H., Lampe J.E.M., Kool J.T.M., 1989- Organic acids as sources for drought induced proline synthesis in field bean plants (*Vicia faba L.*) *J.Plant Physiol.* 133, 654-659p.

Walter S. J., Christopher S. C., Elizabeth A. K., Peter S., 2002 - Botanique systématique, une perspective phylogénétique. Paris : De Boeck Université. 467p.

Wyn-Jones R.G., Leigh R.A., Ahmed N and Pollard A., 1977- Hypothesis on cytoplasm osmoregulation In 'Regulation of cell membrane activities in plants', (EMMARE, OCIFFERI ed), ELSEVIER, Amsterdam : 121-136p.

Xiong L., Schumaker K.S. & Zhu J.K., 2002 - Cell signaling during cold, drought, and salt stress. *The Plant Cell*, 14 Suppl. S1 : 65-83

Yi T., Wen J., Golan-Goldhirsh A. & Parfitt D.E., 2008 - Phylogenetics and reticulate evolution in *Pistacia* (Anacardiaceae) 1; *American Journal of Botany*, 95(2): 241- 251.

Yokota A., Takahara K & Akashi K., 2006 - Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer, 15-39.

Yousfi M., Djeridane A., Bombarda I., Hamia C. & Duhem B., 2009 - Isolation and characterization of a new hispolone derivative from antioxidant extracts of *Pistacia atlantica*. *Phytotherapy Research*, Volume 23, Issue 9 : 1237-1242.

Références bibliographiques

ZEMOUR K., 2014 - Etude des effets du déficit hydrique sur le processus de germination chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse magister. Département d'agroforesterie. Université de tlemcen. 115p.

Zeriahene N., 1987 - Etude du système racinaire de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) en relation avec l'adaptation xérophytique. Thèse de Magister. Univ., Oran. 113p.

Zid E., Grignon C., 1991- Les tests de selection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. II^{ème} Journées Scientifiques du réseau de Biotechnologie végétales. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. AUPELEF/UREF. J. Libbey ed.Eurotext. Paris et Londres, 91-108p.

Annexes

Annexes

Annexe 2

Les résultats des mesures des touffes des quatre stations

Station 1	Longueur	Diamètre	Circonférence	Station 2	Longueur	Diamètre	Circonférence
touffe 01	78 Cm	77 Cm	81 Cm	touffe 01	1m 61	1m 20	2m 80
touffe 02	71 Cm	56 Cm	80 Cm	touffe 02	89 Cm	1m 10	2m 70
touffe 03	69 Cm	61 Cm	72 Cm	touffe 03	1m 18	1m 30	2m 80
touffe 04	82 Cm	69 Cm	79 Cm	touffe 04	88 Cm	1m 20	2m 53
touffe 05	61 Cm	75 Cm	80 Cm	touffe 05	1m 10	80 Cm	1m 90
touffe 06	78 Cm	70 Cm	82 Cm	touffe 06	98 Cm	1m 10	2m 50
touffe 07	59 Cm	62 Cm	72 Cm	touffe 07	1m 17	1m 20	2m 40
touffe 08	64 Cm	55 Cm	68 Cm	touffe 08	1m 25	1m 40	2m 80
touffe 09	79 Cm	67 Cm	75 Cm	touffe 09	1m 01	1m 40	2m 82
touffe 10	65 Cm	52 Cm	70 Cm	touffe 10	88 Cm	1m 30	2m 77
touffe 11	62 Cm	64 Cm	71 Cm	touffe 11	82 Cm	90 Cm	2m 30
touffe 12	56 Cm	61 Cm	69 Cm	touffe 12	1m 09	1m 20	2m 40
touffe 13	58 Cm	59 Cm	67 Cm	touffe 13	1m 12	1m 20	2m 40
touffe 14	77 Cm	72 Cm	84 Cm	touffe 14	1m 08	1m 40	2m 70
touffe 15	74 Cm	69 Cm	81 Cm	touffe 15	99 Cm	1m 25	2m 50
Station 3	Longueur	Diamètre	Circonférence	Station 4	Longueur	Diamètre	Circonférence
touffe 01	66 Cm	67 Cm	1m 80	touffe 01	91 Cm	1m 11	2m 80
touffe 02	75 Cm	46 Cm	1m 24	touffe 02	88 Cm	95 Cm	2m
touffe 03	76 Cm	94 Cm	2m 38	touffe 03	86 Cm	97 Cm	1m 90
touffe 04	78 Cm	80 Cm	1m 88	touffe 04	95 Cm	1m 09	2m 10
touffe 05	64 Cm	83 Cm	1m 73	touffe 05	78 Cm	89 Cm	1m 25
touffe 06	67 Cm	76 Cm	1m 44	touffe 06	70 Cm	59 Cm	1m 14
touffe 07	68 Cm	99 Cm	2m 89	touffe 07	85 cm	91 Cm	2m 11
touffe 08	74 Cm	95 Cm	2m 15	touffe 08	67 Cm	78 Cm	98 Cm
touffe 09	76 Cm	80 Cm	1m 90	touffe 09	69 Cm	74 Cm	91 Cm
touffe 10	77 Cm	90 Cm	2m 30	touffe 10	74 Cm	88 Cm	1m 42
touffe 11	70 Cm	56 Cm	1m 26	touffe 11	92 Cm	1m 08	2m 23
touffe 12	80 Cm	1m 10	2m 50	touffe 12	80 Cm	89 Cm	1m 68
touffe 13	82 Cm	90 Cm	1m 88	touffe 13	58 Cm	71 Cm	89 Cm
touffe 14	60 Cm	85 Cm	1m 98	touffe 14	56 Cm	75 Cm	91 Cm
touffe 15	86 Cm	89 Cm	2m	touffe 15	72 Cm	87 Cm	1m 45

Annexes

Annexe 1

Tableau global des relevés floristiques.

Date	15-04		22-04		18-04		25-04		F (%)		
Station	St 1		St 2		St 3		St 4				
Recouvrement de la végétation en %	75 %		60 %		35 %		70 %				
Altitude en mètre	787		629		1113		533				
Exposition	N.E		N.E		S.E		N.O				
Pente en %	3-12		0-3		0-3		3-12				
Strate arborescente											
1	<i>Pinus halepensis</i> Mill.		-	-	4.3	2.2	-	-	-	-	25
2	<i>Quercus ilex</i> L.		-	-	1.1	2.1	-	-	2.1	2.2	50
Strate arbustive											
3	<i>Olea europea</i> Var. <i>Oleaster</i> Dc.		1.1	1.1	3.3	2.2	-	-	3.2	1.1	75
4	<i>Pistacia lentiscus</i> L.		-	-	2.2	2.1	-	-	-	-	25
5	<i>Pistacia terenbentus</i> L.		-	-	-	-	-	-	2.2	2.2	25
6	<i>Ziziphus lotus</i> (L.) Lam.		1.1	1.+	-	-	-	-	-	-	25
Strate herbacée											
7	<i>Ampelodesma mauritanicum</i> Bir.		-	-	1.1	1.1	-	-	-	-	25
8	<i>Anagallis arvensis</i> L.		2.2	1.1	-	-	-	-	-	-	25
9	<i>Anagallis monelli</i> L.		2.1	1.2	-	-	-	-	1.1	2.1	50
10	<i>Artemisia herba-alba</i> Asso		-	-	-	-	2.1	1.1	-	-	25
11	<i>Asparagus acutifolius</i> L.		2.2	1.1	-	-	-	-	-	-	25
12	<i>Asphodelus microcarpus</i> Sal & Viv.		1.1	2.2	-	-	-	-	3.2	1.1	50
13	<i>Avena sterilis</i> L.		-	-	4.3	2.1	-	-	-	-	25
14	<i>Bromus rubens</i> L.		2.1	1.1	4.3	3.2	-	-	-	-	50
15	<i>Calendula bicolore</i> L.		1.1	2.1	-	-	-	-	-	-	25
16	<i>Calendula arvensis</i> L.		3.1	2.2	-	-	-	-	2.1	-	37,5
17	<i>Calycotome spinosa</i> Link.		4.3	2.2	-	-	-	-	3.2	2.2	50
18	<i>Carduus pycnocephalus</i> L.		1.1	2.1	-	-	-	-	-	-	25
19	<i>Chamaerops humilis</i> L.		2.1	-	2.2	-	-	-	1.1	1+	50
20	<i>Cistus salvifolius</i> L.		-	-	1.1	-	-	-	-	-	12,5
21	<i>Daphne gnidium</i> L.		1.1	-	-	-	-	-	-	-	12,5
22	<i>Lygeum spartum</i> L.		-	-	-	-	2.1	2.2	-	-	25
23	<i>Lobularia maritima</i> (L.) Desv.		-	-	-	-	-	-	1.1	2.2	25
24	<i>Malva sylvestris</i> L.		1.1	1.1	-	-	-	-	-	-	25
25	<i>Paronychia argentea</i> Pourr.		2.2	1.+	-	-	2.1	2.1	2.1	1.1	75
26	<i>Plantago lagopus</i> L.		-	-	3.2	1.1	-	-	2.1	2.2	50
27	<i>Raphanus raphanistrum</i> L.		2.2	1.2	-	-	-	-	2.2	-	37,5
28	<i>Reseda alba</i> L.		1.1	1.+	-	-	-	-	-	-	25
29	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.		-	-	3.2	2.1	-	-	2.2	1.1	50
30	<i>Ruta chalepensis</i> L.		1.2	2.2	-	-	-	-	-	-	25
31	<i>Ruta montana</i> L.		3.2	2.2	-	-	-	-	-	-	25
32	<i>Scolymus hispanicus</i> L.		2.1	2.2	-	-	-	-	-	-	25
33	<i>Stipa tenassicima</i> L.		3.2	3.2	3.3	4.1	4.3	3.3	4.2	2.2	100
34	<i>Urginea pancration</i> (Steinh.) Phil.		2.2	-	-	-	-	-	2.1	1+	37,5
Nombre d'espèces			22		12		04		15		

Annexes
