

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques
Département de Biologie



THESE

Présentée par :

OUDJIANE Ahmed

En vue de l'obtention du
Diplôme de Doctorat en Biologie
Option : **Ecologie Végétale**

THEME :

Etude de quelques aspects adaptatifs (physiologiques, morphologiques et métaboliques) de l'*Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne var. *raddiana* (savi) Brenan dans le Sahara algérien.

Jury de soutenance:

Nom et Prénom	Grade	Lieu d'exercice	Qualité
Mme SAADOUN N.	Pr	UMM Tizi Ouzou	Présidente
Mr DERRIDJ A.	Pr	UMM Tizi Ouzou	Promoteur
Mr BAALI CHERIF D.	Pr	ENSA	Examineur
Mme BENHOUBOU S.	Pr	ENSA	Examinatrice
Mme ABROUS O.	Pr	USTHB	Examinatrice
Mme HANNACHI L.	MCA	UMM Tizi Ouzou	Examinatrice

Soutenue publiquement le 13/07/2023

A LA MÉMOIRE
DE MA GRAND-MÈRE
DE MON PÈRE

Avant-propos

Au terme de ce travail, il m'est un devoir de remercier toutes celles et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à son accomplissement.

Je tiens à exprimer mon respect et ma gratitude au Professeur Derridj Arezki pour avoir accepté de m'encadrer à une période où les encadreurs étaient rares, pour son soutien, ses encouragements durant tout ce processus.

Que le professeur Saadoun Noria trouve toute ma considération pour l'honneur qu'elle me fait de présider ce jury.

Mes plus vifs remerciements vont à Mr Baali Cherif Djamel, Professeur à l'ENSA, à Madame Benhouhou Salima, Professeur à l'ENSA, à Madame Abrous Ouezna, professeur à l'USTHB, à Mme Hannachi Lynda, Maître de conférences A au sein de notre faculté, pour avoir pris sur leur temps précieux pour examiner ce travail. Merci.

A mes collègues et amis de notre faculté, notamment Noria et Thilleli, pour leurs encouragements, leur soutien. Je remercie particulièrement Mme Amroun pour sa contribution dans la mise en forme du manuscrit. Partie trop tôt, mon amie Boudiaf Malika épouse Nait Kaci aurait été heureuse de me voir soutenir cette thèse. Elle lui est dédiée

Je ne saurais oublier ceux qui m'ont accueilli à Tamanrasset, mes anciens collègues de la station INRF de Tamanrasset. C'est grâce à cette station que j'ai réalisé mon échantillonnage au Hoggar. Une pensée particulière à feu Abdellah Sahki, ancien chef de station ; c'est lui qui m'a fait découvrir le Hoggar. Un grand Merci aussi à la circonscription de In Salah. Mes remerciements vont aussi aux amis de Tamanrasset (Abderhamane, Said, Smail) pour leur accueil lors de mes passages dans cette ville

Je remercie la conservation des forêts de Bechar, notamment Mr Messaoudene Kamel, ingénieur à la conservation pour m'avoir accueilli, hébergé et accompagné lors de mon séjour à Bechar.

Mrs Thierry Gauquelin et Jean Philippe Mevy m'ont accueilli à plusieurs reprises à l'IMEB de Marseille. Qu'ils trouvent ici toute ma gratitude.

A toute ma grande famille : feu ma grand-mère et feu mon père qui ont fait en sorte que ma scolarité ne s'arrête pas à la sixième alors que toutes les conditions étaient réunies pour que cela soit le cas ; à mon grand frère Mohand qui m'a soutenu durant tout mon parcours depuis le Lycée ; à ma petite famille que j'abandonnais à chacune de mes missions.

Merci à tous et à toutes.

Table des matières

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : PRESENTATION DE L'ESPECE

1-Systématique et description botanique	5
2-Symbiose d' <i>Acacia tortilis</i>	10
2-1- Symbiose mycorhizienne	10
2-2-Symbiose fixatrice de N ₂	11
3-Phénologie	11
4-Répartition	13
4-1-En Algérie	15
5-Ecologie et Ecophysiologie.....	15
6-Phytosociologie.....	17
7-Utilisation	17

Chapitre II : Généralités sur la zone d'études

1-Situation géographique et administrative.....	18
2-Géologie, pédologie et hydrologie de la zone d'étude	19
3-Contexte climatique	21
3-1-Précipitations.....	21
3-2-Températures	24
3-3-Synthèse climatique	25
4-Autres paramètres climatiques.....	27
4-1-Le vent.....	27
4-2 -L'humidité atmosphérique.....	28
4-3- L'insolation	28
5- Flore et végétation	29

ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre III : Germination

I-Caractéristiques des graines et tests préliminaires de germination.....	32
1-Matériel et méthodes	32
1-1-Récolte	32

1-2-Conservation	32
2-Etude biométrique des gousses et des graines.....	32
2-1-Gousses.....	32
2-2-Etude biométrique des graines	33
2-2-1-Matériel et méthodes	33
2-2-2-Mesures.....	33
3-Caractéristiques du lot de graines.....	33
3-1-Analyse de pureté.....	33
3-2-Poids de 1000 graines.....	33
3-3-Détermination de la teneur en eau (TE)	34
4-Essais préliminaires de la germination	34
4-1-Test témoin.....	34
4-2>Action de l'eau bouillante	35
4-3>Action de l'acide sulfurique	35
5-Essais de germination.....	35
5-1-Etude de la germination pour les stations 2 et 3 à 30°C à la lumière	35
5-2-Etude de la germination sous l'influence de différentes photopériodes	35
5-3>Action de la température	35
5-4-Etude de la variabilité inter individuelle.....	35
6-Analyse statistique	36
7-Résultats	36
7-1-Dimensions des gousses	36
7-2-Corrélations entre les caractères des gousses	36
7-3-Dimensions des graines	37
7-3-1-Longueur des graines	37
7-3-2-Largeur des graines.....	37
7-3-3-Longueur du funicule	37
7-3-4-Longueur sur largeur des graines	38
8-Tests préliminaires de germination	39
8-1-Test témoin	39
8-2>Action de l'eau bouillante	39
8-3>Action de l'acide sulfurique	39
8-4-La température optimale.....	39
8-5-Effet de la lumière sur la germination.....	40

8-6-Effet de la photopériode.....	40
8-7- Variabilité inter individuelle.....	41
9-La corrélation entre les différents paramètres	41
10-Discussion des résultats	42
II-Action d'un stress thermique, salin et hydrique sur la germination des graines d'<i>A. tortilis</i>.....	43
1-Matériel et méthodes	43
1-1-Matériel végétal.....	43
1-2-Caractéristiques des graines	43
2-Méthodes d'études	44
2-1-Les prétraitements avec l'acide sulfurique (H ₂ SO ₄)	44
2-2-Tests de germination.....	44
2-Analyse statistique	45
3-Résultats.....	45
3-1-Caractéristiques des graines.....	45
3-2-Effet de la température sur la germination	45
3-3-Effet du stress salin sur la germination	46
3-4-Action du stress hydrique sur la germination	46
4-Discussion	47
4-1-Cinétique de la germination	47
4-2-Action de la température.....	47
4-3-Action de la salinité	48
4-4-Action du stress hydrique	48
Chapitre IV : BIOMETRIE FOLIAIRE ET STOMATIQUE	
1-Matériel et méthodes.....	50
1-1-Description des stations.....	50
1-2-Choix des arbres et l'échantillonnage	55
1-3- Biométrie foliaire.....	55
1-3-1-Choix des caractères.....	56
1-3-2- Mesures.....	56
1-4- Densité et biométrie stomatique	56
1-4-1-Biométrie des stomates	56
1-4-1-1-Prélèvement de l'épiderme	56
1-5- Analyses statistiques	57

2-Résultats	57
2-1- Biométrie foliaire	57
2-2- Paramètres stomatiques	60
2-3-Corrélations entre les caractères foliaires et les caractères stomatiques	63
2-4-Analyse en composantes principales entre les différents caractères foliaires pour les deux régions.....	69
3-Discussion des résultats	71
3-1-Les caractères foliaires	71
3-2-Les caractères stomatiques	72
Chapitre V : ETUDE METABOLIQUE	
1-Stations d'études et matériel végétal	74
2-Méthodes.....	75
2-1-Extraction des flavonoïdes.....	75
2-1-1-Principe d'extraction.....	75
2-1-2-Protocole expérimentale	76
2-1-3-Dosage des aglycones flavoniques	76
2-1-4-Dosage des anthocyanes	77
2-1-5-Dosage des C-glycosylflavones	78
2-2-Extraction et dosage des sucres solubles.....	78
2-2-1-Principe.....	78
2-3-Analyse statistique.....	79
3-Résultats	79
3-1-Teneurs en sucres solubles des individus des différentes stations	79
3-1-1-Analyse de la variance	80
3-1-2-Test de Newman et Keuls	80
3-1-3-Corrélations avec l'altitude	81
3-2-Teneurs en aglycones flavones, Anthocyanes et C-glycosylflavones des individus des différentes stations.....	82
3-2-1-Aglyconflavones.....	82
3-2-2-Anthocyanes.....	82
3-2-3- C-glycosylflavones	83
3-3-Analyse de la variance (ANOVA)	83
3-3-1-Anthocyanes.....	83
3-3-2-Test de NEWMAN-KEULS -seuil = 5% de la teneur en Anthocyanes.....	83
3-3-3- Aglycones flavones.....	84

3-3-4-Test de NEWMAN-KEULS -seuil = 5% de la teneur en Aglycones flavones (mg/g) de M.V.S.....	84
3-3-3-C-lycosylflavones.....	85
3-4-Test de corrélation entre les trois classes des flavonoïdes et entre celles-ci et l'altitude.....	86
3-5-Corrélation entre les classes de flavonoïdes avec la concentration de sucre.....	87
4-Discussion des résultats.....	87
4-1 -Les sucres solubles.....	87
4-2- Classes des flavonoïdes.....	89
DISCUSSION GENERALE.....	95
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	99
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	101
ANNEXES	110
RESUMES	116

Liste des abréviations

- Alti : Altitude
- -Agl : Aglycones flavones
- Ant: Anthocyanes
- C-glyco : C-Glycosides flavone
- Co-suc: Concentration en sucres solubles
- Ce Ep : Cellules épidermiques
- Dens Stom : Densité stomatique
- Larg Gsse : Largeur gousses
- Long Gsse : Longueur gousses
- Nbre de grn : Nombre de graines
- NbrFol : Nombre de folioles
- T°, Temp : Température

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Photo d'un peuplement d' <i>Acacia tortilis</i> à Tafoudet (1195 m d'altitude) (Oudjiane, 2011).....	5
Figure 2 : Quelques aspects des peuplements et des organes d' <i>A. tortilis</i> var <i>raddiana</i> .	10
Figure 3 : Stades phénologiques d' <i>Acacia tortilis</i> var <i>raddiana</i> dans le parc national de Bou Hedma (2007) (Jouadi et al., 2008).....	12
Figure 4 : Phénologie comparée des populations nord- et sud-sahariennes d' <i>Acacia tortilis</i> var <i>raddiana</i> (Haddej et Belkheir : Parc national de Bouhedma, Tunisie ; Suilene et Dahra : Senegal) (Diouf et Zaafouri, 2003). Haddej et Belkheir, correspondent aux stations tunisiennes, Souilene et Dahra aux stations sénégalaises.....	13
Figure 5 : Aire de répartition de l' <i>Acacia tortilis</i> var <i>raddiana</i> dans le massif central saharien (Grouzis et LeFloc'h, 2003).....	14
Figure 6 : Aire de répartition d' <i>A. tortilis</i> var <i>raddiana</i> (Quezel et Medail, 2018, modifié).....	14
Figure 7 : Situation géographique des deux régions d'études.....	18
Figure 8 : Evolution de la pluviosité annuelle à Bechar pour la période 1967-1993 (Ait Slimane, 2004)....	22
Figure 9 : Evolution de la pluviosité annuelle à Tamanrasset pendant la période (1930-1996) (Chennoun, 1996).....	22
Figure 10 : Précipitations annuelles moyennes au Sahara, période, 1950-2000 (Quezel et Médail, 2018, modifié).....	23
Figure 11 : Etagement de la végétation au sein du massif du Hoggar (Médail et Quézel, 2018, modifié)....	31
Figure 12 : Localisation géographique de la zone d'étude.....	43
Figure 13 : Photos de graines d' <i>A. tortilis</i> récoltées dans la région d'étude.....	43
Figure 14 : Photos illustrant certaines de nos stations d'études.....	55
Figure 15 : Analyse en Composantes Principales des différents caractères foliaires.....	69
Figure 16 : Analyse en Composantes Principales des différents caractères stomatiques.....	70
Figure 17 : Analyse en Composantes principales des caractères foliaires et stomatiques.....	70
Figure 18 : Protocole d'extraction des flavonoïdes (Lebreton et al., 1967).....	77
Figure 19 : Photos illustrant le biotope de nos stations d'études.....	93

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Equivalences entre la classification de Bentham (1842) et de Vassal (1972 (Vassal, 1998).....	5
Tableau 2 : Nomenclatures issues des phylogénies moléculaires et nomenclature classique (Medail et Quezel, 2018).....	8
Tableau 3 : Caractéristiques thermiques de nos stations d'étude (Barry et Cells, 1973).....	25
Tableau 4 : Caractéristiques bioclimatiques de nos stations d'études (Barry et Cells, 1973).....	25
Tableau 5 : Moyenne des températures et de la pluviométrie annuelle, étages bioclimatiques, de Bechar et Beni Abbes sur deux périodes différentes (196-1950 ; 1967-2007) (Benghanem, 2018).....	26
Tableau 6 : Etages bioclimatiques de certaines stations d'études, établis sur deux périodes différentes (1926-1950, 1993-2017) (Benghanem, 2018).....	26
Tableau 7 : Données météorologiques de la station de Tamanrasset (Dubief, 1963 ; ONM).....	27
Tableau 8 : Fréquence de vent du Bechar dans la période (1992-1998) et Tamanrasset dans la période (1992-2011).....	28
Tableau 9 : Richesse floristique et endémisme des principales Familles (Quezel, 1978 in Boucheneb, 2000).....	29
Tableau 10 : Stations d'échantillonnage.....	32
Tableau 11 : Les dimensions moyennes des caractères morphologiques des gousses (en mm).....	36
Tableau 12 : Matrice de corrélations entre les caractères des gousses.....	36
Tableau 13 : Les dimensions moyennes (en mm) des caractères morphologiques des graines.....	37
Tableau 14 : Matrice de corrélation des caractères des graines.....	38
Tableau 15 : Caractéristiques du lot de graines utilisées.....	38
Tableau 16 : Résultats du prétraitement à l'acide sulfurique.....	39
Tableau 17 : Température optimale de la germination d' <i>A. tortilis</i>	39
Tableau 18 : Effet de la lumière sur la germination d' <i>A. tortilis</i>	39
Tableau 19 : Variabilité inter individuelle de la germination d' <i>A. tortilis</i>	40
Tableau 20 : Corrélations entre les différents paramètres de la germination d' <i>A. tortilis</i>	40
Tableau 21 : Caractéristiques des graines d' <i>A. tortilis</i>	44
Tableau 22 : Action de la température sur la capacité germinative (CG) et le temps moyen de germination (TMG) des graines d' <i>A. tortilis</i>	45
Tableau 23 : Effet du NaCl sur la capacité germinative (CG) et le temps moyen de germination (TMG) d' <i>A. tortilis</i>	45
Tableau 24 : Effet du PEG6000 sur la capacité germinative (GC) et le temps moyen de germination (TMG) d' <i>A. tortilis</i>	46
Tableau 25 : Quelques caractéristiques des stations du Hoggar et de Bechar.....	49
Tableau 26 : Tableau récapitulatif des dimensions et des caractères foliaires (en gras, les stations du Hoggar).....	56
Tableau 27 : Tableau récapitulatif des dimensions et des caractères stomatiques (en gras, les stations du Hoggar).....	59

Tableau 28: Corrélation entre les différents paramètres foliaires pour les stations du Hoggar (En rouge les corrélations significatives).....	63
Tableau 29 : Corrélations entre les différents caractères stomatiques.....	64
Tableau 30 : Corrélations entre les caractères foliaires et stomatiques.....	65
Tableau 31 : Corrélations entre les caractères foliaires, stomatiques et l'altitude pour les deux régions d'étude.....	65
Tableau 32: Corrélations entre les caractères foliaires et l'altitude pour région de Bechar (en rouge les corrélations significatives).....	66
Tableau 33 : Corrélation entre les caractères stomatiques et l'altitude pour la région de Bechar.....	67
Tableau 34: Corrélations entre les caractères foliaires et l'altitude pour la région du Hoggar.....	67
Tableau 35 : Corrélations entre les caractères stomatiques et l'altitude pour la région du Hoggar.....	67
Tableau 36: Caractéristiques des stations d'études (M : Température maximale, m : Température minimale).....	75
Tableau 37 : Concentrations moyennes des sucres solubles ($\mu\text{g/g}$) des individus échantillonnés dans les différentes stations.....	80
Tableau 38: Analyse de la variance des résultats de la teneur en sucres solubles en fonction de la station.....	80
Tableau 39 : Résultats du test de New Man et Keuls pour les teneurs en sucres solubles avec l'altitude au niveau des stations du Hoggar.....	81
Tableau 40: Corrélations des concentrations en sucres solubles avec l'Altitude.....	81
Tableau 41 : Corrélations des concentrations en sucres soluble.....	81
Tableau 42: Corrélations des concentrations moyennes en sucres soluble au niveau des stations de Bechar avec l'Altitude.....	81
Tableau 43: Les teneurs en Aglycones flavones, Anthocyanes et C-glycosylflavones (en mg/g de MVS) des extraits des feuilles d' <i>Acacia tortilis</i> au niveau des 09 stations étudiées.....	82
Tableau 44: Résultats de l'analyse de la variance de la teneur en Anthocyanes en fonction de la station.....	83
Tableau 45: Résultat de test de NEWMAN-KEULS -seuil = 5% de la teneur en (mg/g) de M.V.S des feuilles d' <i>Acacia tortilis</i> (Les Stations du Hoggar sont en gras).....	83
Tableau 46: Résultats de l'analyse de la variance de la teneur en aglyconflavones en fonction de la station.....	84
Tableau 47: Résultats du test de NEWMAN-KEULS -seuil = 5% de la teneur en Aglyconflavones	84
Tableau 48: Résultats de l'analyse de la variance de la teneur en C-glycosylflavones en fonction de la station.....	85
Tableau 49: Résultats de test de NEWMAN-KEULS -seuil = 5% de la teneur de C-glycosylflavones.....	85
Tableau 50: Corrélation des teneurs des trois classes de flavonoïdes avec l'altitude.....	86
Tableau 51 : Tableau des corrélations pour les stations du Hoggar.....	86
Tableau 52 : Tableau des corrélations pour les stations de Bechar.....	87
Tableau 53 : Corrélation entre les teneurs en sucres solubles et les classes de flavonoïdes.	87

INTRODUCTION

De toutes les espèces du genre *Acacia* recensées en Algérie, l'*Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne var. *raddiana* (Savi) Brenan est l'espèce la plus répandue (Quezel et Simoneau, 1963, Grouzis et Le Floch, 2003). Cette légumineuse arborée, procure aux populations autochtones des services innombrables (fourrage, bois de chauffage, pharmacopée traditionnelle essentiellement) (Grouzis et Le Floch, 2003 ; Sahki et Sahki, 2004 ; C.S.F.D, 2004). Elle a été proposée pour être utilisée dans la grande muraille verte africaine (Ba, 2010). C'est une espèce clé de voûte contribuant au maintien d'écosystèmes et d'une biodiversité particulière (Nouami, 2012, Quezel et Médail, 2018).

Les sécheresses récurrentes et l'action anthropique rétrécissent son habitat (Quezel et Simoneau, 1963; Ozenda, 1991; Bensaid et al., 1996; Chenoune, 2005; Benghanem et al., 2016, Benghanem, 2018). Les changements climatiques en œuvre et à venir pourraient amplifier ce phénomène de désertification (IPCC, S. P. , 2019).

Cette espèce présente une aire plurirégionale. Au Maghreb, elle est soumise à deux types de régimes climatiques : Méditerranéen dans sa variante aride et à la limite Nord de son aire de répartition (Béni-Ounif à Béchar, Parc National de Bouhedma en Tunisie) et saharien dans le reste de son aire (Grouzis et le LeFloch, 2003 ; Benghanem, 2018). Fortement présente dans l'espace sahélien, elle s'adapte aussi à différents régimes climatiques et édaphique : aride saharien et semi-aride au Nord, tropical au Sud comme dans le cas du Sénégal (Grouzis et le Le Floch, 2003).

Son aire bioclimatique très vaste, cache des situations stationnelles très diversifiées.

La moyenne pluviométrique annuelle n'est pas le facteur déterminant l'absence ou la présence de cette espèce puisqu'on la retrouve aussi bien à Béni-Ounif, sa limite Nord (120 mm de pluviométrie annuelle) qu'à In Salah (pluviométrie moyenne annuelles de 15 mm) (Barry et Cells, 1973).

De la capacité de cette espèce à s'adapter aux conditions extrêmes du Sahara (Forte températures, précipitations faibles et irrégulières), dépendra sa survie, son développement et sa dynamique. Les espèces déploient des stratégies diverses et variées pour faire face aux contraintes du milieu : morphologiques, anatomiques, physiologiques et biochimique, cela au niveau de tous ses stades de développement.

L'*A. tortilis* n'a pas fait l'objet d'études approfondies au Maghreb et en Algérie malgré son importance écologique et en termes de services écosystémiques, contrairement à l'Afrique subsaharienne. Dans l'ouvrage de synthèse, un arbre au désert, l'*Acacia raddiana*, réalisé par Grouzis et Le Floch (2003), l'écrasante majorité des études étaient consacrées à l'*A. tortilis* au Sénégal. En Algérie, depuis les premières études de Killian (1922), et de Maire (1928) (Quezel

et Médail 2018), le potentiel adaptatif de cette espèce a été surtout mise en évidence par son habitat et des descriptions morphologiques. C'est l'aspect phytosociologique qui a été le plus étudié (Maire, 1928, 1940 in Quezél et Médail, 2018 ; Quezél et Simonneau, 1963, Barkoudah et Van Der Sar, 1982 ; Benhouhou, 1991 ; Boucheneb, 2000 ; Boucheneb et Benhouhou, 2012, Benghanem et al., 2016, ; Benghanem, 2018 ; Mensous, 2018).

C'est pour combler cette lacune que nous nous sommes proposés d'étudier les capacités adaptatives de cette espèce sous trois aspects : la germination, la variabilité des caractères foliaires et stomatiques, le métabolisme primaire (par l'évaluation de la production de sucres solubles) et le métabolisme secondaire (par l'évaluation de trois classes de flavonoïdes).

L'objectif principal de cette étude est la mise en relation des facteurs stationnels avec la capacité de cette espèce à germer, à s'adapter en faisant varier ses caractéristiques foliaires et en régulant son métabolisme primaire et secondaire :

-La germination : c'est le stade de développement le plus critique comme l'ont montré Baskin et Baskin (1998) sur d'autres espèces désertiques. Flores et al (2017), Li et al., (2019) ont indiqué que dans ce type d'écosystème, les espèces qui montrent une réponse germinative optimale seraient appelées à devenir dominantes. Une meilleure connaissance des contraintes abiotiques à la germination est donc nécessaire, que ce soit pour comprendre la dynamique d'*A. tortilis* var *raddiana* ou bien dans le cadre d'une restauration écologiques des espaces à climat aride ou saharien. En Afrique du Nord, la germination de cette espèce a été peu étudiée contrairement à l'Afrique sub-saharienne (Danthu et al 1992; Teketay, 1996; Ndour, 1997; Ndour et Danthu, 1998; Argaw et al 1999; Sy et al., 2001; Danthu et al 2003).

C'est en Tunisie (Parc National de Bouhedma à climat aride) que les contraintes abiotiques à la germination d'*A. tortilis* ont été le mieux étudiées (Jaouadi et al 2010; Jaouadi et al 2013).

En Algérie, les études consacrées à cette espèce sont fragmentaires. Bensaid (1985) s'est intéressé à l'effet de la lumière et de la température sur la germination d'*A. tortilis* dans la région de Béchar, Kebbas et al., (2013) ont étudié l'action du stress hydrique sur la même espèce ainsi que les prétraitements de levée de l'inhibition tégumentaire (Kebbas et al., 2013). . C'est pour compléter ces travaux que la présente étude a été initiée. Après une étude préliminaire ayant permis de préciser les caractéristiques des graines de cette espèce et les conditions à sa germination, celle-ci a été étudiée face à trois contraintes majeures habituellement rencontrées dans son habitat : le stress thermique, salin et hydrique.

-La variabilité morphométrique des feuilles et une étude stomatique en fonction des stations qu'occupe cette espèce :

L'organe aérien qu'est la feuille est le siège de tous les échanges gazeux. Les caractéristiques biométriques des feuilles sont un caractère adaptatif au milieu. Les dimensions foliaires peuvent être impactées par les différentes contraintes du milieu. Il est largement démontré que la diminution de la surface foliaire contribue à la lutte contre le dessèchement de la plante par la diminution de la surface transpiratoire (Konaté, 2009 ; Casson, 2009 ; Ait Said, 2011, Bresson, 2011). La variation de la densité et des dimensions stomatiques peuvent être dues à des facteurs génétiques et/ou environnementaux, en fonction des facteurs stationnels. La combinaison de petits stomates avec de grandes densités est souvent corrélée avec des conductances stomatiques et une efficacité de l'utilisation de l'eau élevées. Cela peut agir sur le processus adaptatif de la plante à la sécheresse édaphique (Roussel et al, 2009 ; Bertolini et al, 2019). En Algérie et même ailleurs en Afrique cet aspect a été peu étudié à notre connaissance. On citera le travail de Konaté (2009) au Sénégal, celui de Mensous (2018) sur les espèces d'*Acacia* du Hoggar mais selon une optique de variabilité génétique.

Nous avons étudié cette variabilité sur des populations de la région de Béchar et du Hoggar, deux régions représentatives de la distribution de cette espèce dans le Sahara algérien. Trois populations du Hoggar ont été choisies selon un gradient altitudinal, et quatre populations de la région de Béchar selon un gradient altitudinal et latitudinal.

-Quantification des sucres solubles et de trois classes de flavonoïdes :

Le rôle du métabolisme primaire dans les stratégies adaptatives est connu depuis longtemps (Levitt, 1980). La synthèse des sucres solubles et leur accumulation comme osmoticum permet à la plante de réduire ses pertes en eau par transpiration (Levitt, 1980 ; Guerriri, 2020). Le métabolisme secondaire, notamment la production de flavonoïdes permet à la plante de lutter contre le stress oxydatif, le stress hydrique et thermique (Agati et al 2006, Tatini et al., 2004, Pourcel, 2007). Ces molécules luttent contre le stress oxydatif induit par ces différents stress (Falcone et al, 2012 ; Laoué et al., 2022). Ces auteurs signalent que les flavonoïdes interviennent aussi dans la communication avec les insectes et les espèces microbiennes, ils agissent contre l'herbivorie et les attaques pathogènes (Pourcel, 2007). Shrama et al. (2019) indiquent qu'en plus des fonctions précédemment citées, les flavonoïdes régulent les interactions symbiotiques avec les bactéries et les champignons tels les rhizobiums et les mycorhizes, neutralisent les métaux lourds, agissent sur le développement de la plante par le biais de la balance hormonale cytokinines/Auxines, régulent l'ouverture stomatique en agissant sur le transport d'auxines.

Evaluer cette production permettra de comprendre les capacités adaptatives de cette espèce qui subit simultanément les stress thermique, hydrique et par les rayonnements ultraviolets. Cet aspect a été très peu exploré sur cette espèce. On peut citer l'étude de Kebbas et al (2015) sur l'accumulation des sucres solubles chez les jeunes plants d'*A. tortilis* sous un stress hydrique. Choinski et Tuohy (1991) se sont limités à analyser les flavonoïdes présents dans les feuilles d'*Acacia tortilis* sans mettre ces résultats en relation avec les facteurs environnementaux.

La problématique posée est la suivante : les quantités de flavonoïdes et de sucres solubles varient-elles en fonctions des stations que cette espèce occupe ? La méthodologie suivie consiste à choisir des stations dans le Hoggar (avec une station à In Salah) et la région de Béchar, de réaliser un échantillonnage foliaire sur les individus de ces stations. Le rajout de In Saleh se justifie par les faibles précipitations et les hautes températures qui caractérisent cette station comparativement aux autres.

En plus des sucres solubles, trois classes de flavonoïdes ont été quantifiées dans la présente étude : les aglycones flavones, les C-glycosylflavones et les anthocyanes.

Le rapport de cette thèse est partagé en quatre parties :

- La première et la deuxième partie sont consacrées aux généralités sur l'espèce et sur la zone d'étude.
- La deuxième partie présente les résultats de l'étude sur la germination de cette espèce, leur interprétation et leur discussion.
- La troisième expose les résultats de la variabilité des caractères foliaires et stomatiques en fonction de stations ainsi que leur discussion.
- La quatrième partie est consacrée aux résultats obtenus sur les teneurs en sucres solubles et des différentes classes de flavonoïdes en fonction des différentes stations et leur discussion.

Ce rapport se termine par une discussion et une conclusion générale.

ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

Présentation de l'espèce

Arbre mythique du Sahara, l'*Acacia tortilis* var *raddiana* couvrait jadis, de vastes superficies qui se sont fragmentées et réduites sous l'effet du dessèchement du Sahara (Nongonierma, 1977). Sa silhouette singulière, avec sa cime en parasol se détache d'une façon particulière dans le paysage désertique (Figure 1).



Figure 1 : Photo d'un peuplement d'*Acacia tortilis* à Tafoudet (1195 m d'altitude) (Oudjiane, 2011).

1-Systématique et description botanique

L'*Acacia tortilis* a été décrit en 1753, d'une façon sommaire par Linné (Roberty, 1948).

Hayne en 1825 donne une description complète d'un *Acacia tortilis* et Savi (1830) publie une description d'un *A. raddiana* qui s'identifie exactement à l'*A. tortilis* de Hayne (Roberty, 1948).

La première classification importante du genre *Acacia* a été établie par Bentham (1842-1875).

Le genre *Acacia* a été subdivisé en six séries (Roberty, 1948, Vassal, 1972).

Dans la synthèse qu'il réalise en 1948 et en se basant sur la collection des acacia ouest africains de l'herbier de Genève, Roberty donne la description suivante :

L'*A. tortilis* se reconnaît aisément à son port généralement élevé, sans ramifications sauf à grande hauteur, à son écorce d'un noir terne, à ses inflorescences en boules d'un blanc verdâtre dont le diamètre excède rarement 10 mm, groupées par 2 à 6, dans l'aisselle des feuilles, supportées par de très grêles pédoncules, dont la longueur peut excéder 40 mm, enfin à ses fruits très caractéristiquement enroulés, annelés ou spiralés, parallèlement à leur plan de suture.

Brenan (1957) en réalisant une révision détaillée du complexe *Acacia*, reconnaît une seule espèce, d'aire étendue, *Acacia tortilis*, avec quatre sous-espèces plus ou moins délimitées géographiquement, à savoir : *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne subsp. *heteracantha* (Burch) Brenan, *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne subsp. *tortilis* Brenan, *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne subsp. *Spirocarpa* (Hochst.) Brenan, *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne subsp. *raddiana* (Savi.) Brenan (Benghanem, 2018).

Vassal (1972) a réévalué les séries de Bentham (1852) et créé 3 sous-genres (subdivisés en sections). Les équivalences entre les deux classifications sont montrées dans le tableau suivant (Vassal, 1998) (Tableau 1).

Tableau 1 : Equivalences entre la classification de Bentham (1842) et de Vassal (1972) (Vassal, 1998).

BENTHAM (1842)	VASSAL (1972)	
Séries	Sous - genres	Sections
<i>Gummiferae</i> ¹	<i>Acacia</i>	<i>Acacia</i>
<i>Vulgares</i> ¹	<i>Aculeiferum</i>	<i>Aculeiferum</i>
<i>Filicinae</i> ²		<i>Monacantha</i> <i>filicinae</i>
<i>Phyllodineae</i>	<i>Heterophyllum</i> ³	<i>Uninervea</i>
<i>Pulchellae</i>		<i>Pulchelloidea</i>
<i>Botrycephalae</i>		<i>Heterophyllum</i>

¹Cosmopolite ; ²Amérique Centrale et du Sud ; ³ Australie et îles Océan Indien et Pacifique.

Vassal (2003) en se rapportant à l'étude de Ross (1979) donne la description la plus complète de l'espèce *A. tortilis*. La sous espèce *raddiana* présente les caractéristiques suivantes :

-Arbre, arbuste ou buisson de 1,5 à 18 m de hauteur avec port fréquent en parasol.

-Cime généralement aplatie et étalée, irrégulièrement arrondie dans la variété *raddiana*.

-Écorce le plus souvent rugueuse fissurée, grise, brun rougeâtre à noirâtre.

Jeunes rameaux gris à brun rougeâtre ou pourpre foncé.

-Épines stipulées par paires, de forme et longueur variables sur la même branche, courtes et crochues, atteignant 5 mm de long, élancées et blanches de 1,2 à 8 cm de long.

- Feuilles bipennées, glabres ou pubescentes.
- Pétiole : 0,2-0,8 cm de long portant généralement une glande adaxiale.
- Rachis : court, de 0,2-2 cm de long, souvent muni de glandes au niveau des jonctions des pennes proximales et distales.
- Pennes : 2 à 10 paires.
- Folioles : 6-20 paires par penne, de 0,5 à 4 (6) mm de longueur.
- Inflorescences : en glomérules solitaires (axillaires) ou fasciculés, de 0,5 à 1,1 cm de diamètre, portés par un pédoncule de 0,4 à 2,5 cm de long muni d'un involucre dans le tiers inférieur.
- Fleurs : de couleur blanche à jaunâtre pâle.
- Calice : de 1 à 2 mm.
- Corolle : de 1,5 à 2,6 mm.
- Gousses : contournées à spiralées, de 0,6 à 1,3 cm de large, tardivement déhiscentes ou indéhiscentes, non glanduleuses, glabres ou presque dans la variété *raddiana*, tomenteuses à pubérulentes dans la variété *tomentosa*.
- Graines : de 0,4 à 0,8 cm de long sur 0,3 à 0,6 cm de large.
- Épaisseur de 0,2 à 0,3 cm – aréole de 0,3 à 0,6 cm de long.
- Germination : phanérocotylaire.
- Plantule : hypocotyle de 1,0 à 2,2 cm de longueur.
- Cotylédons : auricules pétiolés à nervation flabellée, de 0,9 à 1,2 cm de long sur 0,7 à 1,0 cm de large, persistant jusqu'au stade 3e ou 4e feuille.
- Feuilles primordiales : 1re feuille pennée à 5-7 paires de folioles.
- Feuilles 2 à 5 : bipennées à I paire de pennes et 5 à 7 paires de folioles.
- Gousses densément tomenteuses ou pubescentes.
- Poils surtout courts, inférieurs à 1 mm.

La délimitation taxonomique du genre *Acacia* a encore connu des changements majeurs depuis une vingtaine d'années suite aux travaux de Meslin (2003, in Mensous, 2018).

Les analyses phylogénétiques ont montré qu'il était polyphylétique et que les cinq sous-genres jusqu'alors distingués correspondaient à divers clades qui méritaient d'être chacun érigé en genre indépendant (Kyalangalilwa et al., 2013 in Médail et Quezél, 2018) (Tableau 2).

Dès lors, le genre *Acacia* au sens strict ne concerne plus que les 1 020 espèces environ d'Australie, alors que celles d'Afrique devraient être incluses dans les genres *Vachellia* et *Senegalia*.

Ce changement taxonomique majeur a entraîné diverses recombinaisons nomenclaturales synthétisées dans le tableau ci-dessous. Mais, pour des questions de clarté, nous préférons continuer à utiliser la nomenclature classique. La nomenclature issue de la phylogénie n'est pas encore assez répandue.

Tableau 2 : Nomenclatures issues des phylogénies moléculaires et nomenclature classique (Médail et Quezél, 2018).

Nomenclature basée sur la conception « classique »	Nomenclature issue des phylogénies moléculaires
<i>Acacia erhenbergiana</i> Hayne	<i>Vachellia flava</i> (Forssk.) Kyal. et Boatwr.
<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex Delile subsp. <i>adstringens</i> (Schumach. et Thonn.) Roberty	<i>Vachellia nilotica</i> (L.) P. J. H. Hurter et Mabb. subsp. <i>adstringens</i> (Schumach. et Thonn.) Kyal. et Boatwr.
<i>Acacia seyal</i> Delile (= <i>A. stenocarpa</i> Hochst.)	<i>Vachellia seyal</i> (Del.) P. J. H. Hurter
<i>Acacia tortilis</i> (Forssk.) Hayne subsp. <i>raddiana</i> (Savi) Brenan	<i>Vachellia tortilis</i> (Forssk.) Galasso et Banfi subsp. <i>raddiana</i> (Savi) Kyal. et Boatwr.
<i>Acacia tortilis</i> (Forssk.) Hayne subsp. <i>tortilis</i>	<i>Vachellia tortilis</i> (Forssk.) Galasso et Banfi subsp. <i>tortilis</i>
<i>Faidherbia albida</i> (Delile) A. Chevalier (= <i>A. albida</i> Delile)	<i>Faidherbia albida</i> (Delile) A. Chevalier

Ci-dessous (Figure 2) sont présentées des photos d'*A. tortilis* var *raddiana* prises lors de nos différentes sorties à l'exception de l'inflorescence.



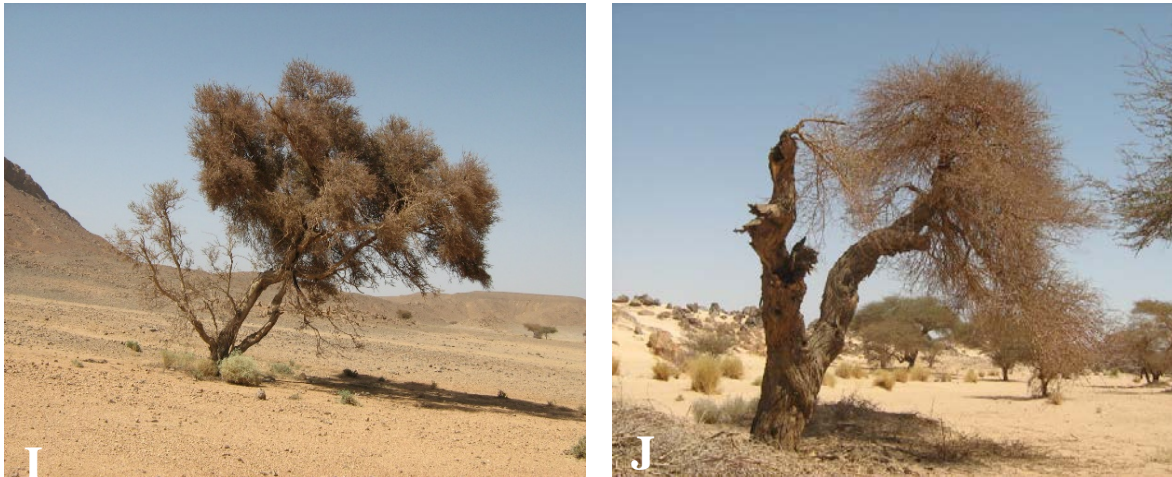


Figure 2: Quelques aspects des peuplements et des organes d'*A. tortilis* var *raddiana*.

A : Peuplement d'*A. tortilis* à 1550 mètres d'altitude au Hoggar (Station d'Imlawlawen)

B : Un individu d'*A. tortilis* sur une dalle rocheuse (sur la route d'Igli)

C : Rameau d'*Acacia tortilis*

D : Graines d'*A. tortilis*

E : Gousses d'*A. tortilis*

F : Inflorescence d'*A. tortilis* (crédit photo, Benghanem, 2018)

G : Tronc d'*A. tortilis*

H : Système racinaire d'*A. tortilis*

I : Un individu d'*A. tortilis* (à 1680 mètres d'Altitude au Hoggar) impacté aussi bien par la sécheresse que par l'action anthropique.

J : Un individu d'*A. tortilis* à Infeg dans un très mauvais état.

2-Symbiose d'*Acacia tortilis*

2-1- Symbiose mycorhizienne

Les mycorhizes résultent de l'association symbiotique d'un champignon avec le système racinaire des végétaux supérieurs. L'*Acacia tortilis* présente des endomycorhizes (Duccouso et Thoen, 1991) ; ce qui permet l'amélioration de la croissance par l'augmentation de la nutrition minérale, notamment phosphatée mais aussi d'accroître sa tolérance à la sécheresse. Ils permettent aux arbres de lutter contre certains facteurs adverses de l'environnement tel que les sols très acides et très alcalins, la salinité et la présence d'agents pathogènes.

L'infection mycorhizienne ne dépend ni du climat, ni des formations végétales accompagnant l'*A. tortilis*. Par contre, elle diminue avec la perturbation du sol (Ingleby et al., 1997 ; Dlagne et Ingebly, 2003). Ces études ont été réalisées au Sénégal où la pratique de l'agroforesterie est très répandue.

2-2-Symbiose fixatrice de N₂

Comme de nombreuses plantes de la famille des légumineuses, l'*Acacia tortilis* développe des nodules sur ses racines et établit ainsi une relation symbiotique fixatrice d'azote avec les bactéries du sol communément appelées Rhizobium (Domergue et al., 1999). L'*A. tortilis* var *raddiana*, est généralement nodulée et fixatrice d'azote, que ce soit dans son milieu naturel ou dans les pépinières assurant sa production (Nazhat-Ezzaman et al., 2010).

Il peut être classé parmi les arbres à haut potentiel fixateur d'Azote selon Gueye et Ndaye (2003).

De Lajudie et al., (1998, 2003) considèrent au contraire qu'il est à faible potentiel fixateur d'azote.

L'établissement et le fonctionnement de cette symbiose sont le résultat d'une interaction moléculaire entre la plante et la bactérie, contrôlée au niveau génétique par chacun des deux partenaires. Les plantes sécrètent des flavonoïdes qui, lorsqu'ils sont reconnus par le rhizobium, déclenchent la symbiose bactérienne de nodules lipo-oligosaccharidique appelées Nod. Ceux-ci induisent chez la plante la formation d'un organe spécifique, le nodule, à l'intérieur duquel la bactérie se différencie en bactéroïde capable de fixer l'azote atmosphérique (Grouzis et Le Floch, 2003).

Chez l'*A. tortilis*, on observe une grande diversité taxonomique des Rhizobium, sans relation avec les facteurs du milieu (Nazhat-Ezzaman et al., 2010).

Ce sont des Rhizobium à croissance rapide (Lajudie et al., 1998). La densité des nodules est corrélée à la biomasse racinaire et à l'humidité du sol (Diouf et al., 2003). La caractérisation symbiotique de 51 souches de *Rhizobia* associées à l'*A. tortilis* a permis de montrer que celles-ci ne sont pas très spécifiques et qu'elles sont capables, pour la plupart, de former des nodules fixateurs d'azote chez les autres espèces d'*Acacia* des régions désertiques de l'Algérie, en particulier l'*Acacia seyal* Del. et l'*Acacia ehrenbergiana* Hayne. L'*A. tortilis* est nodulée, dans la grande majorité des cas, par des *Rhizobia* du genre *Ensifer* (Nazhat-Ezzaman et al., 2010).

3-Phénologie

La succession des différentes phénophases est illustrée par les figures 3 et 4. Selon les études effectuées au Nord Sénégal et au Parc National de Bouhedma (Diouf et Zaafouri, 2003 ; Jaouadi et al., 2008), les réserves hydriques du sol sont un paramètre déterminant dans le déroulement des différentes phénophases de cette espèce (figure 3).

Au Sénégal, le cycle biologique de cette espèce est centré sur la saison des pluies. Si les réserves hydriques du sol n'apparaissent pas décisives pour le déclenchement de la phase feuillaison (le débourrement débute juste avant la saison de pluie), elle est déterminante à la fois pour sa vitesse d'exécution et sa durée (Diouf et Zaafouri, 2003).

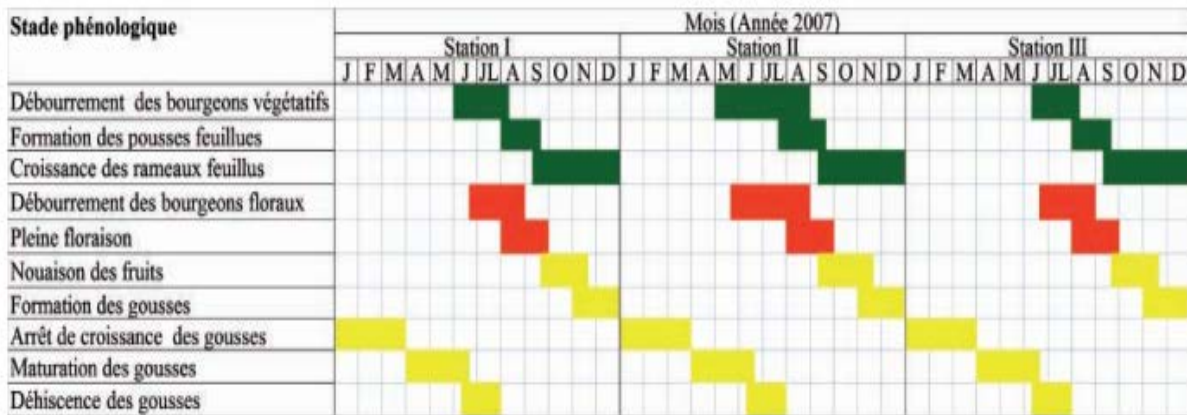


Figure 3 : Stades phénologiques d'*Acacia tortilis* var *raddiana* dans le parc national de Bou Hedma (2007) (Jaouadi et al., 2008).

La phénologie de la feuillaison est fortement reliée aux flux transpiratoire saisonniers (Do et Rocheteau, 2003). Selon Jaouadi et al., (2008), les populations tunisiennes d'*A. tortilis* du Parc National de Bouhedma, paraissent dessaisonnées, ayant gardé un cycle adapté à une configuration tropicale avec un déterminisme thermique. La feuillaison démarre au début de la saison sèche suivie, avec un léger décalage de la floraison et de la fructification (Jaouadi et al., 2008). Cette espèce peut rester verte toute l'année, la défeuillaison est toujours partielle (Jaouadi et al., 2008). Elle est caractérisée par une fructification abondante (observations personnelles) (Figure 4).

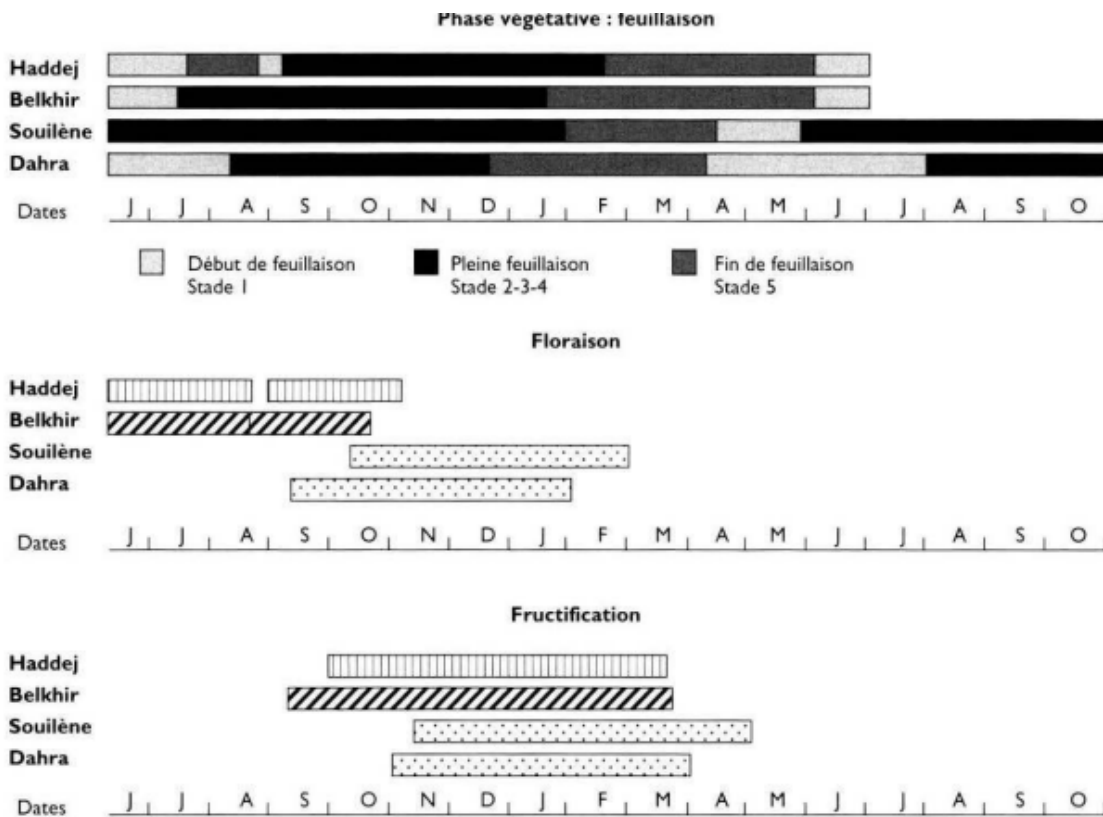


Figure 4 : Phénologie comparée des populations nord- et sud-sahariennes d'*Acacia tortilis* var *raddiana* (Haddej et Belkheir : Parc national de Bouhedma, Tunisie ; Souilène et Dahra : Senegal) (Diouf et Zaafouri, 2003). Haddej et Belkhir, correspondent aux stations tunisiennes, Souilène et Dahra aux stations sénégalaises.

4-Répartition

Ce taxon, de large répartition est présent à la fois sous bioclimat tropical sec et aride du Sahel et du Sahara mais aussi sous bioclimat méditerranéen aride et semi-aride. Sa limite sud coïncide avec les isohyètes 700 mm à 900mm. La limite septentrionale d'*A. tortilis* se superpose avec les isothermes coïncidant avec les minimas du mois le plus froid compris entre 3 et 4 degrés. Cette espèce est absente de façon quasi absolue de la zone extrêmement aride du Sahara où elle n'occupe que les lits d'oued et quelques dépressions. Elle est présente dans les massifs montagneux, y compris ceux de la zone saharienne (le Hoggar, le Tassili n'Ajjer, le Tibesti ainsi que les massifs de l'Air et de l'Ennedi).

L'A. tortilis apparaît le plus souvent comme étant distribué en rubans étroits le long des oueds asséchés qui descendent des massifs sahariens (Quezél et Santa, 1963 ; Sahki et Sahki, 2004 ; Médail et Quezél, 2018 ; Benghanem, 2018).

Ce taxon existe depuis le niveau de la mer jusqu'à des altitudes très élevées (1800 m) et par pieds isolés jusqu'à plus de 2000 mètres d'altitudes au Hoggar (Médail et Quezél, 2018).

Cette espèce appartient au groupe de taxons présents sur une large aire péri-saharienne et moyen-orientale (Figures 5 et 6).

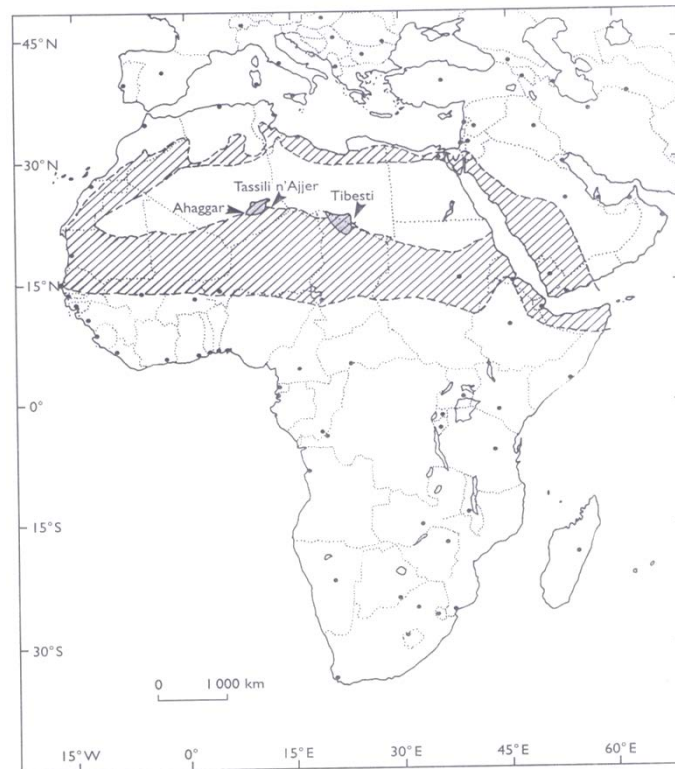


Figure 5: Aire de répartition de l'*Acacia tortilis* var *raddiana* dans le massif central saharien (Grouzis et Le Floc'h, 2003).

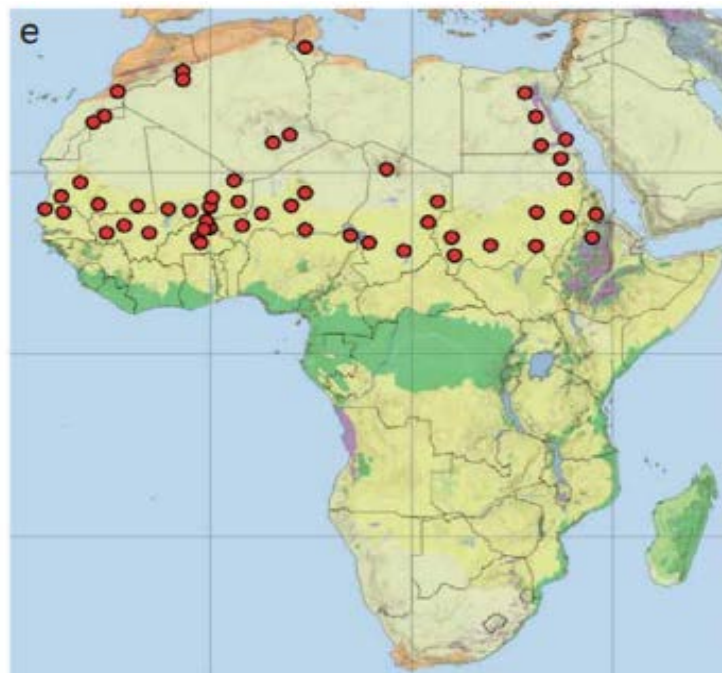


Figure 6 : Aire de répartition d'*A. tortilis* var *raddiana* (Médail et Quezél, 2018, modifié)

4-1-En Algérie

Sa répartition dans le Sahara algérien manque encore de précision. Le parallèle de Bechar (31°30 de latitude Nord) constitue sa limite Nord. D'importants peuplements d'*Acacia tortilis* var *raddiana* ont été signalés dans la Saoura par différents auteurs (Barkoudah et Van Der Sar, 1982 ; Bensaid, 1985).

Certains peuplements sont aussi localisés sur le revers septentrional de Tademaït (Nord de In Salah) et de la Hammada de Tihert (Grouzis et Le Floch, 2003).

Il existe des populations importantes au Sahara Central (Hoggar et Tassili), essentiellement dans les lits d'oueds (Quezél et Simonneau, 1963).

L'*Acacia tortilis* remonte dans le massif du Hoggar jusqu'à 1900m d'altitude et par pieds isolés jusqu'à 2100m (Sahki-Boutamine, 2012).

5-Ecologie et Ecophysiologie

L'*Acacia tortilis* présente une très grande plasticité édapho-climatique. Au Sénégal, selon Grouzis et Le Floch (2003), l'espèce est soumise à deux types de bioclimat : aride saharien et semi -aride au Nord, tropical au Sud.

L'*Acacia tortilis* est soumis à deux régimes pluviométriques distincts selon sa situation géographique : des pluies en saison chaude au Sud (bioclimat tropical) ; en saison froide au Nord (bioclimat méditerranéen) (Grouzis & Le Floch (2003). Ce dernier cas de figure est observable à Beni-Ounif qui est sa limite Nord en Algérie et au Parc National de Bouhedma en Tunisie.

L'*Acacia tortilis* supporte des températures très élevées (jusqu'à 50°C) (Nongonierma, 1977).

Beaucoup d'auteurs ont signalé l'adaptation exceptionnelle de cette espèce à l'extrême xéricité du Sahara. Nongonierma (1977) la considère comme la plus xérique des Angiospermes arborescentes. Elle peut survivre avec seulement 100 mm de précipitations annuelles dans le Sahel. Cette moyenne peut descendre au-dessous de 40 mm dans le Sahara algérien (Barry et Cells, 1973). Il s'installe dans des sites où l'eau s'accumule : lits d'oued ; fentes de roches ; dépression (Grouzis et Le Floch, 2003 ; Médail et Quezél, 2018).

Dommergue et al (1999), considèrent que l'*Acacia tortilis* est un phréatophyte typique ; c'est-à-dire qu'il est capable d'exploiter l'eau de la nappe phréatique, même si celle-ci est très profonde. L'expérimentation menée par Stave et al., (2005) sur de jeunes plants d'*A. tortilis* et de *Fadherbia albida* conforte cette constatation.

Du point de vue édaphique, il est généralement reconnu que l'*Acacia tortilis* prospère bien sur les sols légers et bien drainés (Grouzis et Le Floch, 2003). L'*Acacia tortilis* préfère les sols

alcalins. Pour Le Houerou (1990), cette espèce se retrouverait préférentiellement dans les bas-fonds alluviaux.

Dans les zones recevant en moyenne 400mm de précipitation annuelle, les individus atteignant 30cm de diamètres, peuvent produire 1600kg de matière sèche de feuilles par hectare de surface, et une production de 600kg de matière sèche pour le fruit (Grouzis et Le Floch, 2003).

La croissance radiale est généralement très faible (Andersen et Krzywinski, 2007a; Argaw et al., 1999 ; Gebrekirstos et al., 2009). La croissance moyenne radiale est de 2,4 mm mais varie en fonction du temps et de l'espace ; elle est de 7cm lors des saisons favorables (Gebrekirstos et al., 2009). En Egypte dans des sites où la pluviométrie annuelle est inférieure à 30 mm, des longévités allant de 200 à 650 ans avec une croissance radiale de 0,2 à 2,4 mm par an ont été mesurés par Andersen et Krzywinski (2007 a). Les caractères morphologiques (hauteur, forme arbustive ou arborescente, le nombre de tiges) sont corrélés aux conditions stationnelles comme l'altitude et la réserve hydrique (Andersen et Krzywinski, 2007b). Dans les savanes kenyanes à climat semi-aride, la distribution racinaire détermine la croissance aérienne, la phénologie et la distribution de cette espèce (Otieno et al., 2005).

Sous réserve de la levée de l'inhibition tégumentaire par des traitements appropriés, la germination est optimale à une température comprise entre 20 et 35°C. Elle est peu perturbée par les contraintes hydriques ou salines fortes. Elle germe à des concentrations de sel équivalentes à 21g/L et des potentiels hydriques de -9 bars. Elle est indifférente à la photopériode (Dhantu et al., 1996 ; Jaouadi, 2010). Ces graines semblent donc bien adaptées aux conditions d'aridité dans lesquelles l'espèce se développe (Grouzis et Le Floch, 2003 ; Jaouadi et al., 2010 ; Oudjiane et al., 2022).

Une bonne régénération d'*Acacia tortilis* var *raddiana* est observée, notamment lors des années à pluviométrie favorable (Bensaid, 1996, Jaouadi, 2012). Elle se fait essentiellement par rejet, mais aussi par semis lorsque les conditions du milieu le permettent.

6-Phytosociologie

Sur le plan phytosociologique, dix-huit associations végétales à *A. tortilis* ont été décrites par Quezél et Simonneau (1963) qui les a réparties en deux grands groupes :

- Un groupe constitué de treize associations régies par les facteurs climatiques.
- Un groupe composé de cinq associations étroitement liées à la présence de l'eau en surface tout au long de l'année.

Ces travaux ont été complétés par ceux de Benhouhou depuis 1991, de Boucheneb (2000), pour le Hoggar, Boucheneb et Benhouhou (2012) et Benghanem (2018) sur pratiquement toute l'aire de répartition de cette espèce au Sahara algérien. Ces auteurs ont apporté des éléments nouveaux à l'édifice phytosociologique établi par Quezél et Simonneau en 1963.

7-Utilisation

Selon Grouzis et Le Floch (2003) et les résultats de l'enquête effectuée dans le cadre du projet CSFD (2004) au Hoggar et au Burkina Faso, cette espèce est principalement utilisée comme bois de feu ou comme charbon de bois et comme arbre fourrager. Elle est très peu exploitée pour les toitures ou la fabrication de mobilier à l'exception des selles de dromadaires. *A. tortilis* var *raddiana* est appréciée pour la fabrication des ustensiles de cuisine et quelque fois d'outils de travail.

C'est une espèce également très appréciée, les éleveurs émondent et gaulent les arbres pendant la saison sèche froide mais ne les coupent jamais. Les caprins, ovins et dromadaires mangent les fruits et les feuilles, alors que les ânes apprécient également l'écorce et les tiges des arbres. Différentes parties de l'arbre sont employées dans l'alimentation humaine ou en médecine traditionnelle humaine: La gomme jaune (Tainoust) est utilisée comme friandise. Les feuilles peuvent être mangées en cas de disette. Les gousses sont consommées sèches, fraîches ou rôties. Les gousses sous forme de farine ou les graines pilées sont mélangées aux dattes et servent de friandises. La gomme noire est utilisée par voie orale contre les ulcères et en cataplasme contre les blessures et les brûlures. Les feuilles pilées et macérées sont administrées par voie orale ou en bain comme vermifuge et fébrifuge. L'*A. tortilis* n'a pas d'usage médical vétérinaire connu (Grouzis et Le Floch, 2003, CSFD, 2004).

Cette espèce est aussi utilisée dans la fixation des dunes, la reforestation et la lutte contre la désertification (Dommergues et al, 1999) ainsi que dans le cadre de l'édification de la muraille verte africaine (Ba et al., 2010).

Chapitre II :
Généralités sur la zone
d'études

1-Situation géographique et administrative

L'étude a été menée dans deux régions du Sahara (Figure 7):

La première se trouve au Sud-ouest de l'Algérie ; la wilaya de Béchar. Elle occupe une superficie de 305242 Km² (Ait Slimane ,2004). La ville de Béchar est à 807m d'altitude, 02⁰,13w et 31⁰,38 latitude Nord.

Elle est limitée au Nord par la wilaya de Naama et le Maroc, à l'Est et Sud-Est par la wilaya d'Adrar, au Sud par la wilaya de Tindouf et à l'Ouest par le Maroc (Figure 7).

La deuxième est située à 2000 km au Sud d'Alger: le massif du Hoggar. C'est la région la plus méridionale et plus élevée du Sahara Algérien, appartenant à la subdivision Sahara central, dont le chef-lieu administratif est Tamanrasset. Son altitude est d'environ 1400 m.

Le Hoggar couvre une superficie de 450 000 km² environ. Cet ensemble montagneux est compris entre 21 et 25 degré de latitude Nord et entre 2 et 6 degré de longitude Est (Boucheneb,1999).

Selon Girod (1971), le massif du Hoggar est limité :

- Au Nord, par l'erg oriental et l'erg occidental, au Nord.
- Au Sud, par deux prolongements : l'Adrar des Iforas au Sud Ouest et l'air au Sud – Est, il est encadré par deux régions, relativement planes : le Fezzan à l'Est et Tanezrouft à l'Ouest.



Figure 7 : Situation géographique des deux régions d'études.

2-Géologie, pédologie et hydrologie de la zone d'étude

Ce que nous présentons dans ce paragraphe est juste un survol de ces aspects. Pour une compréhension approfondie nous renvoyons aux travaux de Jean Fabre sur la géologie du Sahara ainsi que d'autres auteurs comme Girod (1971) et Rognon (1967).

Le Sahara est un massif bouclier continental relativement stable qui a persisté durant l'ensemble des époques géologiques (Fabre, 2005). Il répond dans sa grande majorité, à des zones peu accidentées, situées entre 200 et 500 m d'altitude. Dans sa zone centrale, s'élèvent de puissants massifs volcaniques culminant à 3 445 m sur l'Emi Koussi (Tibesti), le point le plus élevé du Sahara, alors que le Hoggar n'atteint pas tout à fait les 3 000 m à l'Ilamane (Médail et Quézel, 2018).

Le paysage le plus fréquent n'est pas constitué, par des sables (les ergs) mais par des hamadas ; zones plus ou moins planes, formées de calcaires ou de grès souvent ruiniformes sur les plateaux appelés tassili (Médail et Quézel, 2018).

Le Hoggar est un massif pré cambrien, présentant des formations métamorphiques variées, recoupées par des granites d'âge différents formés de roches sédimentaires paléozoïques (Boucheneb, 1999).

Le relief du Hoggar s'abaisse vers l'est et plus rapidement vers le sud, Tamanrasset étant à 1400m d'altitude environ. La constitution géologique résulterait d'une juxtaposition de massifs précambriens suivie d'intrusions volcaniques tertio-quaternaires.

Leurs altérations ont donné des structures géomorphologiques et / ou pédologiques diverses, sous l'action des facteurs essentiels tels que : le vent, l'ampleur des variations thermiques ainsi que l'eau par les phénomènes de ruissellement et d'évaporation (Dutil, 1971). Les différentes formations de sol sont :

- Sols d'ablation (exemple : hamada ; reg)
- Sols éoliens d'accumulation (exemple : les dunes).
- Sols alluviaux
- Sols d'évaporation

Les sols salés sont peu importants au Sahara, exceptionnellement dans des terrains à nappe phréatique salée, comme dans des oueds entre le Hoggar et le tassili N' Ajjer.

Dutil, (1971), différencie les faciès des sols sahariens comme suit :

- Les regs (désert de pierres)
- Les sols sableux (erg et dunes)
- Les sols plus ou moins argileux (daya).

Selon Benghanem (2018), en s'appuyant sur la classification française, les différents sols du Sahara peuvent être classés comme suit :

- Les sols halomorphes : Ils se rencontrent surtout dans les terrains sédimentaires riches en sels, en particulier ceux du Trias et du Crétacé qui sont salins et gypseux.
- Les sols minéraux bruts xériques : Ils sont représentés majoritairement par les sols minéraux bruts d'érosion ou d'ablation sur roche dure et correspondent à la majorité des formations superficielles du Sahara.
- Les sols minéraux bruts d'érosion ou d'ablation meuble et les sols minéraux bruts xériques constitués d'apport (sols de dépressions), sont formés sur des marnes et des argiles salées et ou gypseuses, à horizons de surfaces compactes ou pulvérentes.
- Les sols peu évolués : Ils sont moins répandus et se situent sur les terrasses alluviales des vallées, des zones d'épandages des oueds quaternaires et des dépressions. Le milieu édaphique de prédilection des formations à *Acacia tortilis* var. *raddiana* est constitué surtout par les sols peu évolués et les sols minéraux bruts xériques.

La région de Béchar est formée, sur le plan physique par les reliefs dominants suivants : Montagnes 13%, collines et piémonts 7%, les plaines 16%, plateaux 20%, non différenciées 44 % (Ait Slimane, 2004).

La majorité des sols sont caractérisés par un taux de matière organique faible, présente des concrétions de calcaire d'où un taux élevé de calcaire, et caractérisés par un pH alcalin qui est supérieur à 8 (Ait Slimane, 2004).

Il existe de grands systèmes hydrographiques qui ne peuvent avoir correspondu qu'à des fleuves importants. Des lits d'oueds généralement asséchés sont encore reconnaissables, et longs parfois de plusieurs centaines de kilomètres. Ces oueds se sont développés au cours de phases humides anciennes, dès le Pliocène, mais aussi plus proches de nous, durant le Pléistocène et même l'Holocène. Ainsi, se sont déposés de vastes systèmes de terrasses alluvionnaires et de sédiments encore présents dans ces anciens systèmes lacustres asséchés (Médail et Quézel, 2018). Ces terrasses constituent souvent l'habitat des communautés à *A. tortilis*.

3-Contexte climatique

Le Sahara se caractérise par une hyper aridité, avec de fortes températures (pouvant atteindre par endroits 50°C) et de faibles et aléatoires précipitations (15 à 120 mm selon nos données). L'irrégularité des précipitations est une autre caractéristique du climat Saharien (voir Figures 8 et 9).

Ces deux paramètres, particulièrement les précipitations configurent la végétation du Sahara. Les espèces se maintiennent face à cette xéricité extrême par un ensemble d'adaptations d'ordre morphologiques, physiologiques et métaboliques.

La région de Béchar est sous l'influence du front méditerranéen, alors que le Hoggar unit deux influences : celle du front tropical et du front méditerranéen (voir plus bas).

Dans notre étude, nous nous sommes basées sur plusieurs sources :

- Karzika (2012) qui a repris les données de l'Office National de Météorologie (ONM) pour la période 1962-2011 pour Tamanrasset)
- Les données de Ait Slimane qui a repris les données de l'ONM de Béchar pour la période 1990-2002
- Les données de Barry et Cells (1974) issues probablement des travaux de Dubief
- Les données fournies par Benghanem et al (2016) et par Benghanem (2018)
- Les données de Mensous (2018) pour Tamanrasset.

Tous ces auteurs ont utilisé les données des travaux de Dubief et de l'Office National de Météorologie (ONM) ou celles de l'ONM seul pour la période post indépendance.

3-1-Précipitations

C'est le paramètre le plus instable du climat saharien. Les moyennes annuelles cachent un caractère aléatoire affirmé. L'analyse des précipitations (Figures 8 et 9) montre qu'il y'a une variation inter annuelle considérable :

Pour la wilaya de Tamanrasset, la plus petite quantité tombée en 1974 est évaluée à 0mm, la maximale a été observée en 1933 avec 170,5 mm. En 1980, il a plu 151mm.

Pour la wilaya de Béchar, la plus petite quantité, tombée en 1970 est évaluée à 0,9 mm ; la maximale a été observée en 1979 avec 157,5 mm. En 1991, il a plu 153,4mm. Une crue s'est alors formée avec une hauteur atteinte par l'eau de 400 cm et un débit instantané d'environ 150 m³/s.

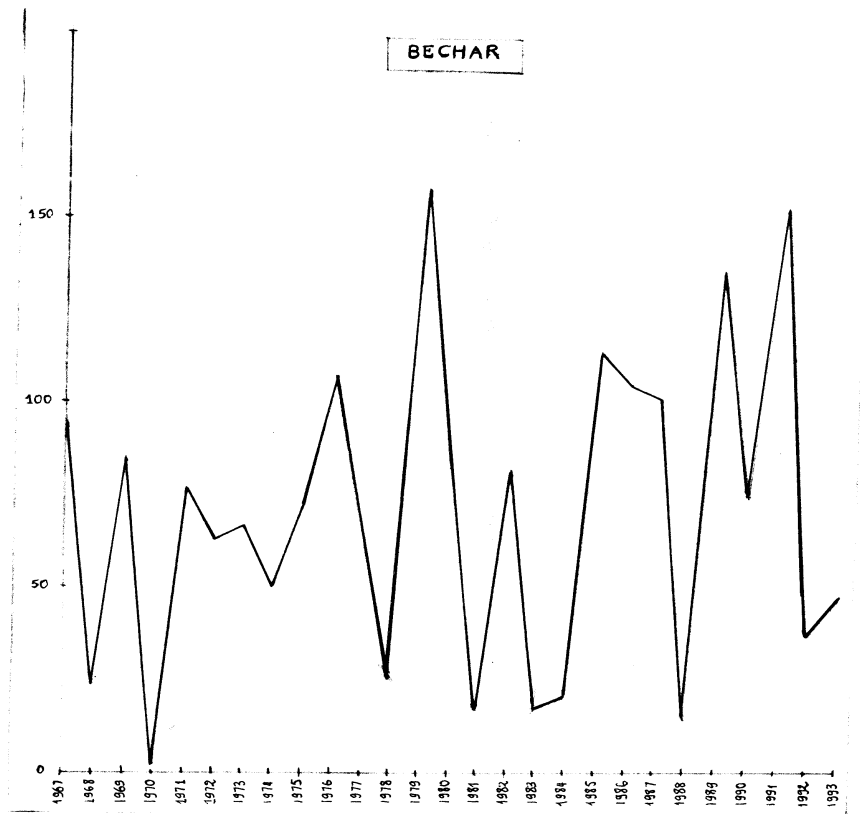


Figure 8 : Evolution de la pluviosité annuelle à Béchar pour la période 1967-1993 (Ait Slimane, 2004).

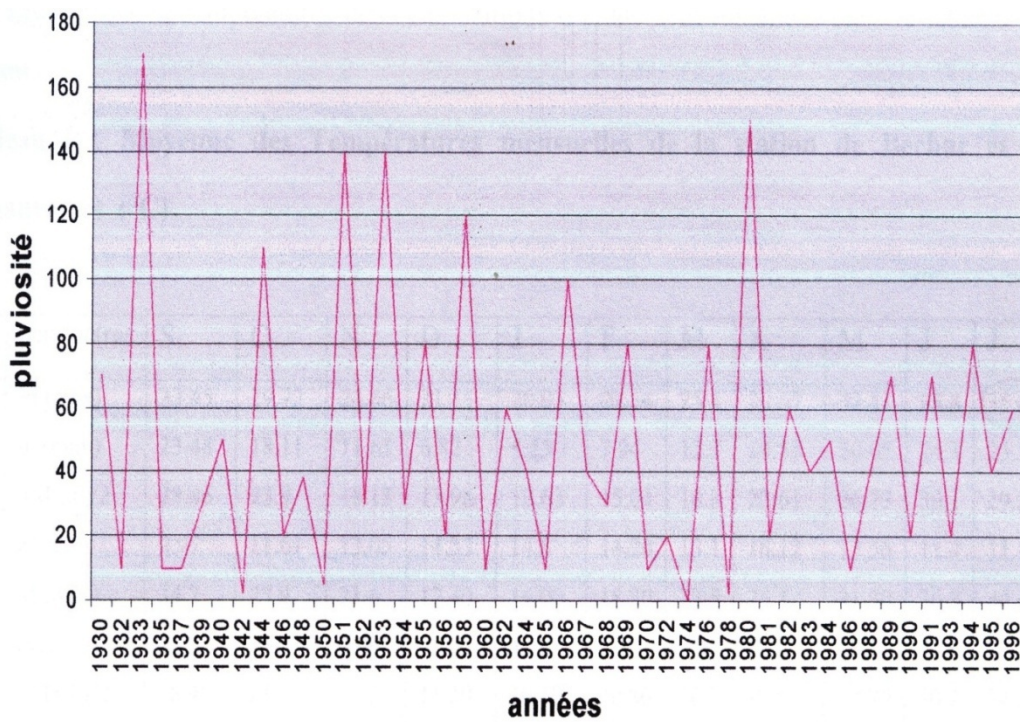


Figure 9 : Evolution de la pluviosité annuelle à Tamanrasset pendant la période (1930-1996) (Chennoun, 1996).

La faiblesse des précipitations associée à leur irrégularité distingue le désert d'une façon générale. Leur répartition au Sahara distingue des régions éco climatiques (Figure 10).

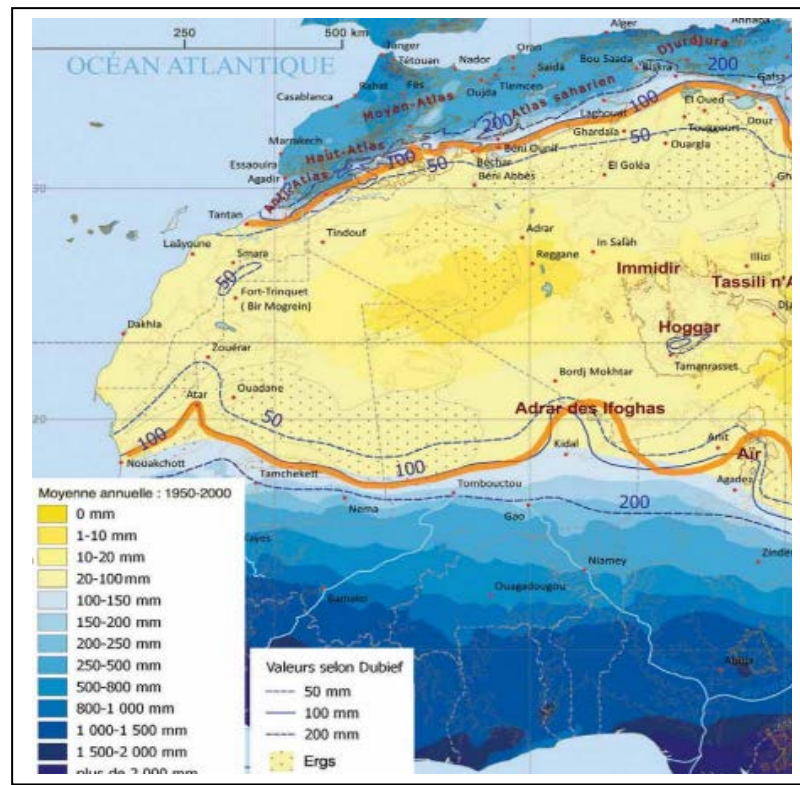


Figure 10 : Précipitations annuelles moyennes au Sahara, période, 1950-2000 (Médail et Quézel, 2018, modifié).

Le Hoggar, en tant que massif montagneux imposant, atténue l'aridité du Sahara par un effet compensatoire de l'altitude. Il pleut 50 mm en moyenne à Tamanrasset (1400 m d'altitude environ), 100 mm à l'Assekrem à 2919 m d'altitude, et seulement 15 mm à In Salah (300 mètres d'altitude environ). Cette dernière station combine aussi l'effet négatif d'une forte continentalité à cette faible altitude.

Les précipitations de Béchar présentent des fluctuations selon la période considérée (57 mm pour la période 1990-2002 selon Ait Slimane (2004), 85,2 mm selon Barry et Cells (1973) pour la période 1924-1960 et 70 mm selon Benghanem et al (2016) pour la période 1993-2017 ; les précipitations à Tamanrasset sont stables (autour de 50 mm) quelle que soit la période ou l'auteur considéré. Cette fluctuation s'observe aussi selon la continentalité des stations : les précipitations annuelles sont de 120 mm en moyenne à Béni-Ounnif, la station la plus septentrionale et seulement de 29 mm à Beni Abbès, la station la plus méridionale. Il faut

préciser que nous avons intégré cette station parce que c'est la plus proche d'Igli, l'une de nos stations d'étude.

Selon nos données et celles des auteurs précédemment cités, l'indice saisonnier de Béchar est de type Automne, Hiver, Printemps et Eté (AHPE) par contre celui de Tamanrasset est de Type Eté Automne Printemps Hiver (AEPH).

Une région (Béchar) est sous l'influence du front méditerranéen alors que l'autre région (Hoggar) est aussi sous l'influence du front tropical.

Il s'agit d'une différence fondamentale puisque l'essentiel des précipitations arrivent en saison chaude pour le Hoggar et en saison froide pour Béchar. Cela peut avoir une influence sur les mécanismes adaptatifs (morphologiques, physiologiques et métaboliques) que déploie cette espèce face à l'extrême aridité de son milieu ; à cela s'ajoute l'effet des températures maximales, plus élevées à Béchar qu'à Tamanrasset.

3-2-Températures

La température est un paramètre climatique agissant aussi bien sur le métabolisme primaire que secondaire chez les plantes. Ce sont les températures extrêmes (négatives ou positives) qui peuvent s'avérer limitantes pour le développement des plantes.

Selon nos données, la moyenne de la température maximale du mois le plus chaud (Juillet pour les deux villes) sont les suivantes :40,6 °C pour Béchar et 35,9 °C pour Tamanrasset.

La moyenne de la température minimale du mois le plus froid (Janvier pour les deux villes) est de 4,2°C pour Béchar et 4,9 °C pour Tamanrasset.

Le tableau 3, repris des travaux de Barry et Cells (1973), montre que la station de Tamanrasset présente le maximum thermique le plus faible (35°C) et In Salah le maximum le plus élevé (44,7), Béchar est à 40,1°C. C'est aussi la station qui présente la température minimale la plus faible (2,5 °C).

A l'examen de ce tableau, on peut en déduire que la température ne peut pas être considérée comme facteur limitant mais elle peut aggraver le stress hydrique intense exercé sur la végétation par l'hyperaridité du milieu.

Tableau 3: Caractéristiques thermiques de nos stations d'étude (Barry et Cells, 1973).

Stations	Alt.	T° Moy. annuelle	T°. mini du mois le plus froid	T° max du mois le plus chaud	Amplitude thermique
Beni Ounnif	828	20,1	2,6	39 ,7	37,1
Béchar	769	20,7	2,5	40,1	37,6
Beni Abbes	498	22,8	3,5	42,5	39,4
Abadla	584	21,10	3,2	42,8	39,6
Tamnarasset	1376	21,2	4,2	35	31
In Salah	294	25,4	5,7	44,7	39

3-4-Synthèse climatique

Deux indices sont usuellement utilisés pour caractériser le climat méditerranéen :

Le diagramme et le quotient pluviométriques (Q₂) d'Emberger et la courbe ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.

Le tableau 4, tiré des travaux de Barry et Cells (1973), donne en plus des paramètres température et pluviométrie, les étages climatiques de certaines de nos stations. On remarque que le quotient pluviométrique d'Emberger varie de 1 pour In Salah (la station la plus aride) à 11 pour Béni-Ounif, la limite Nord de la distribution de l'*A. tortilis*. Béni-Ounif et Béchar, se caractérisent par des hivers frais par rapport aux autres stations.

Tableau 4: Caractéristiques bioclimatiques de nos stations d'études (Barry et Cells, 1973).

Stations	Alt	Pluviométrie Annuelle	Temp moye annuelle	Temp. mini du mois le plus froid	Temp.max du mois le plus chaud	Amplitude Thermique	Etage Bioclim Saharien à hiver	Quotient pluviométrique d'Emberger
Beni Ounnif	828	120,8	20,1	2,6	39 ,7	37,1	Frais	11
Béchar	769	85,2	20,7	2,5	40,1	37,6	Frais	10
Beni Abbes	498	40,7	22,8	3,5	42,5	39,4	Tempéré	3
Abadla	584	31,9	21,10	3,2	42,8	39,6	Tempéré	2
Tamnarasset	1376	51	21,2	4,2	35	31	tempéré	5
In Salah	294	15,6	25,4	5,7	44,7	39	Chaud tempéré	1

Pour Béchar et Beni Abbès, Benghanem et al., (2016), relèvent des pluviométries et des températures annuelles légèrement différentes sur deux périodes différentes (l'une ancienne, l'autre plus récente) avec deux sources différentes : Dubief pour la période 1926-1950 et

l'ONM pour la période 1967-2007 (Tableau 5). On remarque aussi que les Q2 sont différents de ceux donnés par Barry et Cells (1974), notamment pour Béchar.

Tableau 5 : Moyenne des températures et de la pluviométrie annuelle, étages bioclimatiques, de Béchar et Beni Abbès sur deux périodes différentes (196-1950 ; 1967-2007) (Benghanem, 2018).

Station	T°C	P(mm)	Etage saharien à hiver :	Q2
1926-1950				
Béchar	20,7	80	frais	7,13
Beni Abbès	22,8	32,1	tempéré	2,75
1967-2007				
Béchar	21,3	69,5	tempéré	6,45
Beni Abbès	23,5	29,9	tempéré	2,70

Cette tendance est relevée aussi pour les stations de Tamanrasset et de In Salah (Benghanem, 2018) en se basant toujours sur les données anciennes de Dubief (1926-1950) et plus récentes de l'ONM (1993-2017). Il a été constaté une baisse légère des précipitations de l'ordre de 1 mm et une élévation légère des températures. Cela est suffisant pour faire glisser l'étage bioclimatique des stations étudiées à l'exception de In Salah (Tableau 6).

Tableau 6 : Etages bioclimatiques de certaines stations d'études, établis sur deux périodes différentes (1926-1950, 1993-2017) (Benghanem (2018).

Station	1926-1950	1993-2017
Béchar	Saharien supérieur à hiver frais	Saharien supérieur à hiver tempéré
Beni Abbès	Saharien inférieur à hiver tempéré	Saharien inférieur à hiver tempéré doux
Tamanrasset	Saharien supérieur à hiver tempéré	Saharien inférieur à hiver tempéré doux
In Salah	Eu saharien à hiver doux	Eu saharien à hiver doux

Le tableau 7 a été repris de Mensous (2018). Il illustre la variabilité des paramètres climatiques (Température en degré Celsius, Précipitations en mm et Humidité relative), avec deux sources ; l'une ancienne (Dubief) et l'autre récente (ONM) pour la station de Tamanrasset.

Il convient de remarquer que les mois les plus pluvieux sont aout et septembre, sous l'influence de la mousson tropicale. On remarque aussi une baisse d'un mm et l'élévation de la température d'un degré en comparant les données anciennes de Dubief (1926-1959) et celles plus récentes de l'ONM (1953-2013).

Tableau 7 : Données météorologiques de la station de Tamanrasset (Dubief, 1963 ; ONM).

		J	F	M	Av	M	J	Ju	A	S	O	N	D	Année
Dubief	T (°C)	12.1	13.8	17.5	21.7	25.2	28.2	28.2	27.7	26.1	22.4	18.0	13.6	Moy : 21.2
1926-1959	P (mm)	3.5	0.9	0.8	2.6	6.4	5.8	2.9	11.9	10.0	2.2	1.8	2.2	Total : 51.0
ONM	T (°C)	12.7	15.0	18.3	22.5	26.3	28.9	29.0	28.4	26.9	22.8	17.7	14.0	Moy : 21.8
1953-2013	P (mm)	1.34	1.09	2.72	2.05	5.08	6.82	5.29	9.26	7.21	5.84	1.8	1.61	Total : 50
	H (%)	25.3	22.5	20.2	17.7	17.9	18.4	18.1	22.4	23.6	25.6	27.2	27.4	Moy : 22.2

(*) : Office National de la Météorologie

T = Température ; P = Pluviométrie ; HR = Humidité relative

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen donne une saison sèche tout le long de l'année, selon les auteurs précédemment cités et par nos propres analyses, et ce pour toutes les stations.

Par ailleurs, Barry et Cells (1973), considèrent inopérants les indices bioclimatiques d'Emberger, de Bagnouls et Gaussen dans le monde saharien puis qu'ils unissent dans un même étage bioclimatique des régions à végétations différentes. Ils proposent des étages bioclimatiques érémiques, en fonction du type de végétation et de l'humidité (précipitations). A titre d'exemple, ils classent Béni-Ounif et Béchar dans le méditerranéen aride à steppe buissonneuse dense, Abadla dans l'érémique méditerranéen à steppe buissonneuse diffuse et In Salah dans l'érémique saharien à steppe désertique.

Ils considèrent aussi la présence ou l'absence de l'inféroflux comme facteur déterminant la présence ou l'absence d'une végétation pérenne et ligneuse.

4-Autres paramètres climatiques

4-1-Le vent

La répartition fréquentielle des vents selon huit directions de Béchar par la période (1989-1998) et de Tamanrasset pour la période (1992-2011) est présentée par le tableau 8.

Tableau 8 : Fréquence de vent du Béchar dans la période (1992-1998) et Tamanrasset dans la période (1992-2011).

Direction Fréquence de vent	N	NE	E	SE	S	SO	O	N-O
Béchar	10,15	9,44	9,93	5,56	8,92	10,61	7,92	4,56
Tamanrasset	6,1	5	16,9	14	10,9	4,9	6,8	12,3

Source : O.N.M de Wilaya de Béchar 2006 ,O.N.M de Wilaya de Tamanrasset 2012

Le vent dans la région de Béchar et Tamanrasset est divisé en 2 types :

◆ Fréquence inférieure à 6% avec directions (NO et SE) pour Béchar et (SO-NE) pour Tamanrasset. Ce type de vent a un caractère violent à une vitesse supérieure à 72 km/h.

◆ Fréquence limitée entre 6% et 21% avec des directions : O, S, E, N, NE et SO pour Béchar et N, E, SE, S, O, NO pour Tamanrasset, ces vents ont un caractère peu violent à une vitesse limitée entre 10 et 72 km/h.

4-2 -L'humidité atmosphérique

L'humidité relative de l'air ou degré hydrométrique, reste très faible au Sahara central, comprise entre 15% et 50% (OZENDA, 1977 in Boucheneb, 2000). Cette dernière est la conséquence des moyennes et des amplitudes thermiques élevées. En raison de cette humidité relative très faible, l'air n'atteint presque jamais la saturation.

1-3- L'insolation

Elle représente la durée totale mensuelle d'ensoleillement. Ce dernier définit la durée journalière moyenne annuelle de la radiation solaire. D'après Dubief (1959 in BOUCHENEB 2000), le Hoggar pourrait être en hiver une région du globe où doivent pouvoir s'observer les plus fortes intensités de la radiation solaire directe.

Le nombre d'heures d'insolation dans cette région varie entre 3000 et 3500 heures par année (Boucheneb, 1999).

Ce maximum d'ensoleillement dans la wilaya de Béchar est atteint le 21 juin avec une durée de 14h 04 mn. Le minimum qui n'est que de 09h56 mn se produit en hiver entre le 17 et le 26 décembre.

A Tamanrasset l'insolation annuelle enregistrée est de 3312 heures. Elle est maximale au mois d'avril et juillet (292 heures) et minimale au mois de Septembre 243 heures. L'insolation est forte au Hoggar suite à la faible nébulosité (Nébulosité : la fraction du ciel en discieme qui est couverte par les nuages. Elle est de toute évidence très faible au Sahara.)

5- Flore et végétation

De nombreux travaux cités par Benghanem (2018), Médail et Quézel (2018) ont été consacrés à la flore et à la végétation du Sahara. Les plus importantes sont ceux de Maire (1933-1940), Quézel et al., (1954, 1963; 1965,) Barry et al., (1973, 1976, 1981) et les différents travaux d'Ozenda (1958, 1991). La liste n'est pas exhaustive.

Des études plus récentes ont été réalisées par Benhouhou (1991), Boucheneb (2000), Boucheneb et Benhouhou (2012), Benghanem et al., (2016), Benghanem, 2018, Mensous (2018) pour le Sahara algérien et puis il y a eu la synthèse réalisée par Médail et Quézel (2018) pour tout le Sahara.

Pour une connaissance détaillée, nous renvoyons le lecteur aux travaux de ces auteurs.

Cette flore apparait comme la résultante du passé climatique du Sahara avec des périodes d'humidité et de sécheresse, de sa position géographique entre la Méditerranée et le monde tropical. Au cours du quaternaire, le Sahara a connu des alternances de périodes humides (pluviaux) provoquant la pénétration des flores méditerranéenne et soudanaise, des périodes sèches (inter pluviaux) entraînant le recul massif de ces flores et leurs refuges dans les zones les plus favorables. La flore actuelle est le reflet de ces vicissitudes historiques (Barry et al., 1973).

Le Hoggar présente une flore diversifiée estimée généralement à 350 espèces végétales (Maire, 1940 ; Quézel, 1965 in Boucheneb, 1999). Cette flore compte de nombreuses endémiques (olivier, myrte, lavande...) et reliques (Pistachier de l'Atlas).

Le taux d'endémisme de 25% (Ozenda 1983 in Boucheneb, 2000) est discuté par certains auteurs (Médail et Quézel 2018).

Benghanem (2018) ne signale qu'un taux de 7% dans les formations à *A. tortilis* qu'il a étudiées. Le tableau IX repris de Boucheneb (2000) donne la richesse floristique ainsi que le taux d'endémisme des principales familles au Hoggar (Tableau 9).

Tableau 9: Richesse floristique et endémisme des principales familles (Quézel, 1978 in Boucheneb, 2000).

Familles	Genres	Espèces	Espèces endémiques
Astéracées	80	164	13
Brassicacées	44	73	12
Caryophyllacées	22	73	13
Chenopodiacées	23	64	02
Fabacées	30	154	21
Poacées	74	203	19

La rareté de l'eau limite la végétation à quelques essences adaptées à la sécheresse et à des plantes temporaires dans les lits des cours d'eau, ceux –ci le plus souvent à sec. Benghanem (2018), signale un pourcentage de Thérophytes et de Chaméphytes dans les formations à *A. tortilis var raddianna* qu'il a étudié, de 45% et de 29% respectivement. Dans les oueds larges, la végétation y est caractérisée principalement par deux formations arborés : Formation d'*Acacia tortilis* et formation de *Tamarix articulata*. Dans le Sahara central et particulièrement au Hoggar, co- existent d'autres espèces d'*Acacia* dont l'une est à large répartition (l'*A. eherenbergiana*) alors que d'autres ne sont représentées que par quelques rares peuplements (*A laeta*, *A nilotica*, *A. Seyal*, *Fadherbia albida*) . D'autres espèces ligneuses d'origine tropicale comme *Balanites aegyptiaca*, *Salvadora persica* sont signalées , avec une présence importante (voir à ce sujet Sahki et Sahki, 2004, Sahki-Boutamine , 2012 et Mennous, 2018).

Au Hoggar, Killian (1922, 1925) et à sa suite Maire en 1940 (Médail et Quézel (2018), ont établi un étagement de la végétation en fonction de l'altitude (Figure11).

Maire (1940) distingue l'étage saharo-méditerranéen inférieur qui s'étend approximativement entre 1 700-1 800 m et 2 300 m. Il se caractérise surtout par le remplacement, dans les thalwegs et les lits d'oueds, des formations à *Acacia* et à *Tamarix aphylla*, caractéristiques d'un étage de type saharo-tropical, par des structures à laurier-rose, myrte de Nivelles, et olivier de Laperrine.

L'étage saharo-méditerranéen supérieur, d'allure steppique, est dominé par des formations à armoises et à *Pentzia monodiana*.

Ozenda (1991), adopte une démarche similaire à celle de Maire 1940. Par contre, Quézel (1954 in Médail et Quézel, 2018) avait établi un étagement composé de deux parties : un étage montagnard-inférieur et un autre étage, montagnard-supérieur. Il ne rattache pas ces types de végétation au monde méditerranéen, en raison de la présence d'un lot appréciable de taxons d'origine africaine comme l'avait établi Maire (1940) (Médail et Quézel 2018). Cependant, il faut signaler que les espèces d'origine méditerranéenne (*Olea lapperrini*, *Pistacia atlantica*, *Myrtus nivellus*....) se rencontrent surtout dans l'étage montagnard supérieur et les espèces d'*Acacia* au niveau de l'étage montagnard inférieur comme l'ont signalé les auteurs précédemment cités et par nos propres observation faites lors de nos sorties avec l'équipe de la station INRF de Tamanrasset, en particulier avec feu Abedllah Sahki.

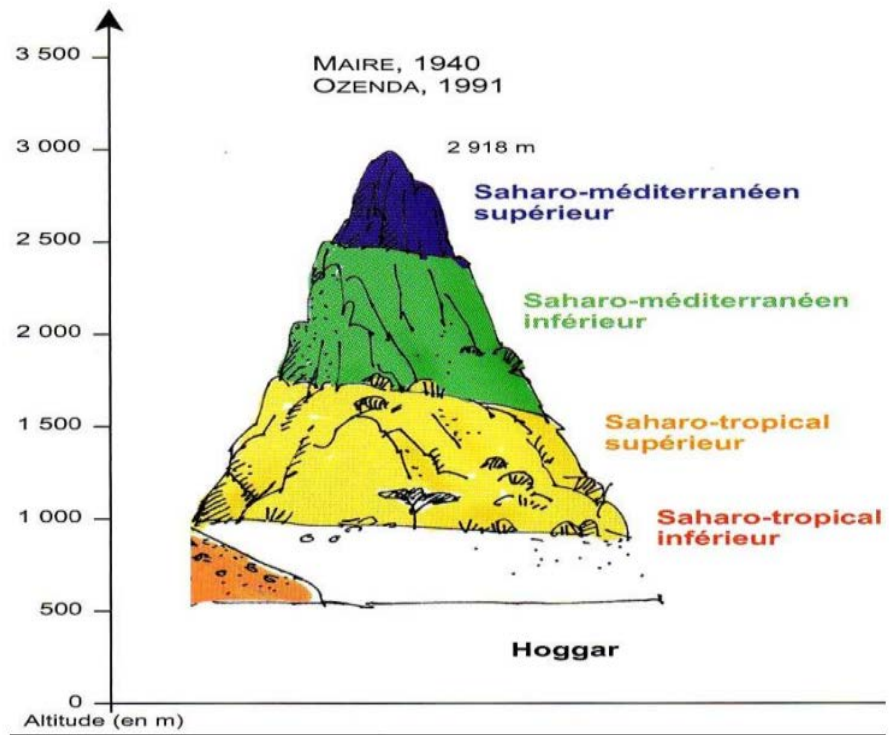


Figure 11 : Etagement de la végétation au sein du massif du Hoggar (Médail et Quézel, 2018, modifié).

ETUDE
EXPERIMENTALE

Chapitre III

Germination

Ce chapitre est subdivisé en deux parties ; la première, dite préliminaire, constitue une étude biométrique des gousses et des graines. Par la suite et sur le même lot de graines, nous avons réalisé des essais de germination (scarification, température optimale de germination, action de la photopériode, influence de l'arbre mère). Cette étude nous a permis de définir avec précision les conditions de réalisation de la deuxième expérimentation (en seconde partie). Celle-ci consiste à étudier l'impact des contraintes abiotiques habituellement présentes dans l'habitat de l'espèce (contrainte thermique, saline et hydrique) sur sa germination. Cette partie a été réalisée sur un autre lot de graines.

I- Caractéristiques des graines et tests préliminaires de germination

1- Matériel et méthodes

1-1- Récolte

La récolte des graines a été effectuée tout autour du tiers supérieur d'arbres adultes dans trois stations proches de Tamanrasset, pendant le mois d'avril de l'année 2002. Le nombre d'arbres échantillonnés est de 14 à 16 par station. Les stations choisies sont regroupées dans le tableau 10:

Tableau 10 : Stations d'échantillonnage.

Stations	Altitude	Nombre d'arbres	Situation
S1	1160 m	14	Oued Tinemzi
S2	1450 m	15	Oued Tamanrasset (Lit d'Oued)
S3	1450 m	16	Plateau de l'oued Tamanrasset

1-2- Conservation

Les graines d'Acacia ont été conservées au congélateur à une température de -4°C pendant une année.

2- Etude biométrique des gousses et des graines

2-1- Gousses

Les caractères suivants ont été mesurés :

- Longueur des gousses
- Largeur des gousses
- Longueur/Largeur des gousses

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un fil et d'un pied à coulisse dont la précision est de 1/10 de mm.

2-2-Etude biométrique des graines

2-2-1-Matériel et méthodes

Les caractères suivants ont été mesurés

- Longueur des graines
- Largeur des graines
- Longueur/Largeur des graines

2-2-2-Mesures

La longueur et la largeur des graines ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse dont la précision est de 1/10 de mm

Les effectifs et les stations sont les mêmes que pour l'étude des gousses (voir Tableau XI).

3-Caractéristiques du lot de graines

Nous avons caractérisé ce lot de graines en nous appuyant sur les critères de l'ISTA (International Seed Testing Association)

3-1-Analyse de pureté

Pour tester la viabilité de chaque graine, le lot de graines à germer est mis dans un récipient rempli d'éthanol. Les graines qui tombent au fonds sont considérées comme mures ; celles qui remontent en surface donc légères sont soit immatures, soit mortes parce qu'un insecte imago a mangé l'albumen.

Toutes les graines percées ou visiblement attaquées par les champignons ou de taille inférieure à la normale ont été préalablement enlevées.

3-2-Poids de 1000 graines

La détermination du poids de 1000 graines est effectuée immédiatement après le test de pureté à partir des graines pures. On dénombre au hasard 8 répétitions de 100 graines que l'on pèse chacune en gramme.

3-3-Détermination de la teneur en eau (TE)

Il suffit de trois répétitions de 30 graines pour effectuer ce test. Les graines prélevées au hasard sont pesées avant et après le séchage ; la différence entre le poids de la matière végétale sèche (MVS) et le poids de la matière végétale fraîche (MVF) correspond à la quantité d'eau évaporée.

Le séchage s'effectue dans une étuve à 105°C pendant 24 heures.

Les résultats calculés suivant la formule ci-dessous sont exprimés en pourcentage d'eau rapporté au poids frais (Mazliak, 1998):

$$TE = \frac{(P \text{ de MVF} - P \text{ de MVS}) \times 100}{P \text{ de MVF}}$$

TE : Teneur en eau

P de MVF: Poids de matière végétale fraîche

P de MVS : Poids de matière végétale sèche.

4-Essais préliminaires de la germination

Pour savoir quel type de pré traitement à utiliser pour lever l'inhibition tégumentaire des graines de cette espèce, des tests préliminaires de germination ont été effectués.

4-1-Test témoin

Les graines sont mises dans des boîtes de pétri de 06 centimètres de diamètres dont le fonds est tapissé d'un papier filtre et placées dans une étuve réglable munie d'un thermostat et d'un indicateur de température. Les graines préalablement traitées par un fongicide (hypochlorite) sont placées à raison de 10 par boîtes de pétri, le tout baignant dans de l'eau distillée (Bensaid, 1985). La percée de l'enveloppe séminale par la radicule est adoptée comme critère de germination (Mazliak, 1998).

Nous avons effectué un comptage quotidien de graines germées pendant 15 jours, car selon Bensaid (1985), il faut deux semaines pour la germination de 100% de graines d'*Acacia tortilis*. Les paramètres retenus sont la capacité germinative (CG) ou le taux de germination final et la vitesse de germination. Celle-ci est exprimée en temps moyen de germination en jours (TMG) qui se calcule selon la formule de (Mazliak, 1998) :

$$TMG = \frac{N_1 T_1 + N_2 T_2 + \dots + N_n T_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$

4-2-Action de l'eau bouillante

Nous avons plongé quatre lots de 120 graines dans de l'eau bouillante pendant 1-5-10-15-15-20-25-30 minutes à températures ambiante

4-3-Action de l'acide sulfurique

Quatre lots de 120 graines sont plongés dans de l'acide sulfurique (H₂SO₄) pur à 98% pendant 5-10-20-25 et 30 minutes à la température ambiante.

5-Essais de germination**5-1-Etude de la germination pour les stations 2 et 3 à 30°C à la lumière**

Les graines des stations 2 et 3 au nombre de 120 par station sont réparties dans quatre boîtes de Petri à raison de 30 graines chacune (par station) et placées dans une étuve réglée à une température de 30 degrés sous l'influence de la lumière pendant toute la période de germination. Le même protocole a été réalisé mais à l'obscurité.

5-2-Action de la température

Les graines au nombre de 30 par boîte de Petri sont soumises à des températures respectives de 25°, 30° et 40° Celsius. Le nombre de répétitions est de trois pour chaque traitement.

5-3-Etude de la variabilité inter individuelle

Pour caractériser la variabilité inter individuelle, nous avons effectué des tests de germination sur les graines issues des arbres de la station 1. Les graines au nombre de 420 sont réparties dans 14 boîtes de Petri ; chaque boîte contient 30 graines représentant un arbre. Les boîtes sont placées dans une étuve à 25 °C.

6-Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été réalisées grâce au logiciel Stat Box. Le test de la variance a été réalisé suivi d'un test Post Hoc (Test de Newman et Keuls) ainsi que d'un test de corrélation quand cela est nécessaire.

7-Résultats

7-1-Dimensions des gousses

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant. L'analyse de la variance entre les trois stations n'a pas montré de différences significatives entre les trois stations (Tableau 11).

Tableau 11: Les dimensions moyennes des caractères morphologiques des gousses (en mm)

Station		Long	Larg	Nbre de graines Par gousse	Long/Larg
S1 1160	M	128,42	6,26	8,66	20,46
	C.V	13,3%	6,86%	6,81%	11,43%
S2 1450	M	124,19	6,27	8,96	19,97
	C.V	13,94%	5,58%	8,70%	20,94
S3 1450	M	127,06	6,09	9,20	20,94
	C.V	12,89%	5,41%	7,93%	14,13%

7-2-Corrélations entre les caractères des gousses

Les corrélations entre les caractères des gousses sont représentées dans le tableau 12.

Tableau 12 : Matrice de corrélations entre les caractères des gousses

Variables	Long Gsse	Larg Gsse	Nbre Grn/gsse	Long/Larg
Long Gsse	1			
Larg Gsse	0,0001	1		
Nbre Grn/gsse	0,44	-0,05	1	
Long/Larg	0,91	-0,4	0,43	1

Le tableau 12 révèle des corrélations significatives entre la longueur de la gousse et le nombre de graines par gousses ($r=0,44$), ce qui indique que les gousses les plus longues portent un nombre élevé de graines. Le rapport Long/Larg présente une corrélation négative avec la largeur ($r=0,4$) et une corrélation positive avec la longueur ($R=0,91$) et Nbr grn/gss ($R=0,43$).

7-3-Dimensions des graines

Les moyennes obtenues sur les différents caractères des graines ainsi que leurs coefficients de variation sont dans le tableau 13 :

Tableau 13: Les dimensions moyennes (en mm) des caractères morphologiques des graines.

Stations	Long grn		Larg grn	Long fun	Long/Larg grn
S1 1160	M	6,22	4,16	3,80	1,50
	CV	8,52%	11,05%	24,21%	8%
S2 1450	M	6,14	4,15	4,16	1,49
	CV	6,18%	9,39%	25,24%	6,71%
S3 1450	M	6,07	3,92	3,56	1,59
	CV	6,09%	8,16	21,62%	10,06%

7-3-1-Longueur des graines

En consultant le tableau, nous constatons que les longueurs moyennes calculées pour les trois stations sont très proches. Elles s'échelonnent de 6,07 pour la S3 à 6,22 mm pour S1.

La classe 6,19-6,71 est la plus représentative pour les trois stations.

Notons que nos résultats sont inférieurs à ceux obtenus par Vassal (1972) (6,7 mm) et par Akbal et Hami (1997) (6,41).

7-3-2-Largeur des graines

Les moyennes de la largeur des graines pour S2 (4,15 mm) et 4,16 pour S1 sont presque identiques par contre celle de S3 (3,92) est légèrement inférieure aux deux précédentes.

Les coefficients de variation sont assez élevés. Ils varient de 8,16 à pour S3 à 11,05 pour S1. La distribution des classes de largeur des graines montre que la classe 3,87-4,07mm est la plus représentative pour les trois stations

Pour cette variable, nos valeurs sont inférieures à celles de Vassal (1971) (4,8mm) et supérieure à celles obtenues par Akbal et Hami (1997) qui est de 2,95 mm.

7-3-4-Longueur sur largeur des graines

Les moyennes de ce rapport sont proches. Elles sont respectivement pour S1, S2, S3 : 1,50 ; 1,49 ; 1,59. Les coefficients de variation sont assez élevés pour les trois stations. Ils varient de 6,71 pour S2 à 10,06 pour S3. Il y a une hétérogénéité dans la distribution des classes de ce paramètre. La classe 1,39-1,53 est la plus représentative pour S1 et la classe 1,53-1,67 pour les deux autres stations.

Nos valeurs sont proches de celles obtenues par Vassal (1972) (1,40) et légèrement inférieurs à celles de Akbal et Hami (1997) (1,82).

Analyse de la variance

L'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative pour l'ensemble des caractères des graines.

7-4-Les corrélations entre les caractères des graines

Elles sont montrées dans le tableau 14:

Tableau 14: Matrice de corrélation des caractères des graines.

Variabes	Long Graine	Larg Graine	Long/Larg
Long Graine	1		
Larg Graine	0,65***	1	
Nbre Grn/gsse	0,46**	0,61***	
Long/Larg	0,14	-0,53***	1

Les caractères Longueur et Largeur sont très fortement corrélés ($r=0,65$). Ce résultat indique que la longueur et la largeur de la graine augmentent en même temps ; ce qui signifie que les graines les plus longues sont les plus larges. Le caractère Nombre de graine par gousse est très fortement corrélé avec la Largeur ($r=0,61$) et avec la Longueur ($r=0,46$).

7-5-Caractéristiques des graines

Le tableau 15 indique les résultats obtenus pour les deux paramètres : Poids de mille graines (en grammes) et teneur en eau (en pourcentage).

Le poids moyen de 1000 graines est donc de 48,62 grammes. L'écart type à la moyenne est de 02,64 grammes. La moyenne de la teneur en eau est de 9,96%. L'écart type est de : 1,52%

Tableau 15 : Caractéristiques du lot de graines utilisées.

Stations	Poids de 1000 graines	Teneur en eau
S1	46,05	8,96%
S2	51,30	11,73%
S3	48,62	9,27%

8-Tests préliminaires de germination

8-1-Test témoin

Ce test a abouti à un taux de germination nul.

8-2-Action de l'eau bouillante

Ce prétraitement a donné des taux de germination nuls dans tous les cas de figure.

8-3-Action de l'acide sulfurique

Ce prétraitement a abouti aux taux de germinations suivants (Tableau 16) :

Tableau 16 : Résultats du prétraitement à l'acide sulfurique.

Temps (en jours)	Capacité germinative (CG)
5	3,73%
10	18,66%
15	46,66%
20	50,00%
25	66,66%
30	96,66%

8-4-La température optimale

La température optimale de germination semble être 30°C même si les différences entre les trois températures ne sont pas significatives (Tableau 17)

Tableau 17 : Température optimale de la germination d'*A. tortilis*.

Température °C	C G
25	83% ± 0,947
30	96% ± 0,04
40	89% ± 0,017

8-5-Effet de la lumière sur la germination

La capacité germinative (CG) ainsi que le temps moyen de germination (TMG) en jours est donnée dans le tableau suivant pour chaque traitement (Tableau 17) :

Tableau 18: Effet de la lumière sur la germination d'*A. tortilis*.

Stations	Traitement	CG	TMG
S2	Lumière	70,00% ± 1,12	10,11 ± 0,39
	Obscurité	80,00% ± 0,87	9,66 ± 0,13
S3	Lumière	70,0083% ± 1,54	9,50 ± 0,66
	Obscurité	76,66% ± 1,9	10,26 ± 2,19

L'analyse de la variance au seuil de 5% montre que :

-Pour la station 2 : $F_c = 0.854$ Sup à $F_t = 0.678$

-Pour la Station 3 : F_c Sup à $F_t = 0.678$

Donc, il y a une différence hautement significative entre les deux traitements.

8-7- Variabilité inter individuelle

Capacité de germination

Le taux final de la germination est supérieur à 80% sauf pour les graines issues des arbres 2, 4, 6, 9 et 10 (Tableau 18).

Temps moyen de germination

Le temps moyen de germination est 9,79 jours. Il oscille entre 8,31 et 10,39 jours avec un écart type de 0,54 jours.

Tableau 19: Variabilité inter individuelle de la germination des graines d'*A.tortilis*.

Arbres	C G	TMG (Jours)	Poids 50 graines
A1	100%	8,96	2,64
A2	76,66%	8,31	3,40
A3	86,66%	9,22	3,91
A4	73,33%	10,23	2,42
A5	93,33%	10,01	1,86
A6	73,33%	10,10	2,84
A7	80,00%	10,39	2,04
A8	86,66%	9,65	1,12
A9	76,66%	9,80	2,37
A10	70,00%	10,17	2,44
A11	90,00%	9,84	2,69
A12	93,33%	9,83	2,54
A13	93,33%	10,10	2,53
A14	93,33%	9,98	2,52

On constate qu'il y a une faible variabilité inter individuelle entre les arbres de la station.

9-La corrélation entre les différents paramètres

L'utilisation du test de corrélation a permis d'obtenir les résultats suivants (Tableau19).

Tableau 20 : Corrélations entre les différents paramètres de la germination d'*A.tortilis*

Variable	CG	TMG	Poids 50 graines
CG	1	0,16	0,9
TMG	0,16	1	0,46
Poids 50 graines	0,9	0,46	1

D'après le test de corrélation, on observe une forte liaison entre le taux de germination et le poids des graines.

10-Discussion des résultats

Les traitements préliminaires ont montré que l'immersion des graines d'*A.tortilis* pendant 30 minutes dans de l'acide sulfurique donne les meilleurs taux de germination. D'autres auteurs préconisent une immersion de 60 minutes ou jusqu'à 120 minutes (Agraw et al., 1999 ; Danthu et al., 2003). Nous même, dans d'autres expérimentations, avons eu des résultats analogues. La scarification mécanique donne aussi de bons résultats (Agraw et al., 1999, Jaouadi, 2010, Benarar, données non publiées).

Les graines d'*A. tortilis* présentent une imperméabilité à l'eau due à leur structure histologique. Les cellules palissadiques deviennent dures et hygrophobes dans les derniers stades de maturation de la graine (Taketay, 1996, Ndour et Danthu, 1998).

Ces résultats montrent qu'après une conservation d'une année à -4 degrés Celsius, les graines gardent leur viabilité. Ndour et Danthu (1998) ont montré que les graines scarifiées peuvent être conservée pendant 2 ans à une température de -18° C sans qu'elles perdent leur viabilité.

Cependant nos résultats montrent une teneur en eau supérieure à la moyenne trouvée dans la littérature et par nous-même sur d'autres lots de graines (voir paragraphe II). Cela peut être dû aux conditions de conservation non optimales et à la pénétration de l'eau dans les graines. Cette conservation peut aussi agir sur la vitesse de germination qui devient plus lente. L'exposition longue à des températures négatives peut induire une dormance secondaire.

Nos résultats montrent une meilleure germination à l'obscurité et aucun effet de la photopériode. La littérature scientifique ne signale pas une photosensibilité des graines d'*Acacia tortilis*.

L'arbre mère a un effet très négligeable sur la germination. Les graines issues des arbres testés présentent une capacité germinative supérieure à 80% et aucun ne présente une capacité germinative inférieure à 70 %. Nous avons affaire à des peuplements homogènes. Le test de corrélation montre que les graines les plus lourdes présentent une meilleure capacité germinative. Cela a été retrouvé par beaucoup d'auteurs sur différentes espèces et l'expliquent par la taille de l'albumen qui fournit les réserves nécessaires au métabolisme germinatif (Komar et al., 2002 ; Norden et al., 2009).

II-Action d'un stress thermique, salin et hydrique sur la germination des graines d'*A. tortilis*

1-Matériel et méthodes

1-1-Matériel végétal

La récolte des graines a été réalisée au niveau du massif du Hoggar sur une station située sur les berges de l'oued Ihenkes (Altitude 1469 m, 22°51'N et 5°35'34"E) à une dizaine de kilomètres au Nord- Est de la ville de Tamanrasset. Dix arbres ont été échantillonnés (Figure 12).

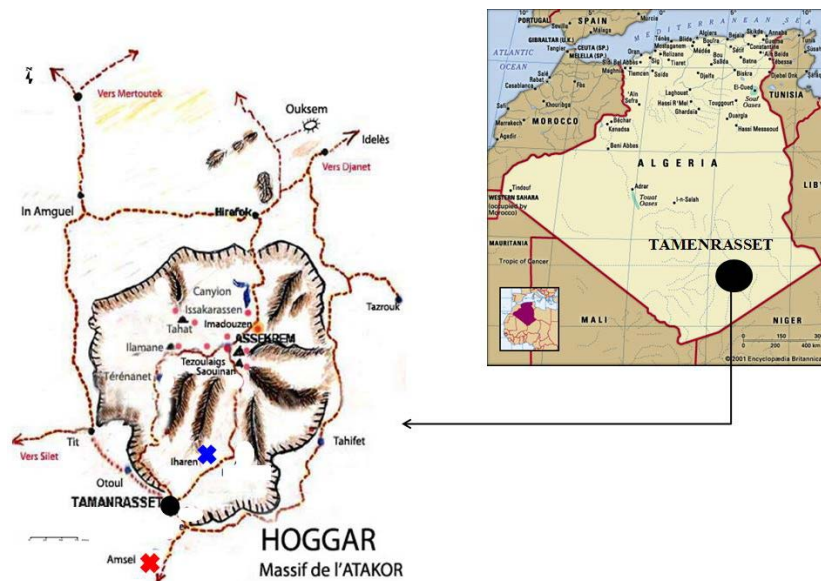


Figure 12 : Localisation géographique de la zone d'étude.

1-2-Caractéristiques des graines

Le poids de 1000 graines et la teneur en eau ont été mesurés pour caractériser ce lot de graines (Figure 13).



Figure 13 : Photos de graines d'*A. tortilis* récoltées dans la station d'étude (Oued Ihenkes).

- **Le poids de 1000 graines**

On dénombre au hasard 03 répétitions de 100 graines que l'on pèse chacune en grammes par une balance de précision. On calcule la moyenne et on extrapole pour 1000 graines.

- **Détermination de la teneur en eau**

On dénombre au hasard trois répétitions de 50 graines. Les graines prélevées sont pesées avant et après séchage pour déterminer le poids frais et le poids sec. Le séchage s'effectue à l'étuve réglée à une température de 105°C, pendant 24 heures selon la formule de Mazliak (1998).

2-Méthodes d'études

2-1-Les prétraitements avec l'acide sulfurique (H₂SO₄)

Avant de procéder aux tests de germination, les graines sont trempées dans l'acide sulfurique pur à 98% pour lever l'inhibition (Danthu et al 1992; Ndour, 1997). Des traitements préliminaires ont montré que l'immersion des graines d'*A.tortilis* pendant 30 minutes donne les meilleurs taux de germination. Ensuite, les graines sont rincées à l'eau distillée.

2-2-Tests de germination

Les graines traitées sont ensuite soumises aux températures suivantes : 15°C, 30°C, 40°C et 45°C. L'action de la salinité a été étudié en arrosant les graines avec des solutions à différentes concentrations de sel (0,50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 mMol).

Le stress hydrique a été simulé par l'utilisation de solutions à concentrations croissantes de polyéthylène glycol (PEG 6000) : 0 g/l, 10 g/l, 20 g/l, 30 g/l et 40 g/l, : 80g/l, 120 g/l, 180 g/l, 240 g/l et 300g/l. Le polyéthylène glycol (PEG) est un composé inerte de haute masse molaire, très avide d'eau, qui ne pénètre pas dans les tissus vivants.

Celui qui est habituellement utilisé pour des essais de germination est le PEG-6000, de masse molaire comprise entre 5400 et 6600g/mol. Il donne des solutions aqueuses visqueuses dont le potentiel hydrique (Ψ_s) varie avec sa concentration et la température selon la formule de Michel et Kaufmann (1973) :

$$\Psi_s = - (1,18 \cdot 10^{-2}) C - (1,18 \cdot 10^{-4}) C^2 + (2,67 \cdot 10^{-4}) CT + (8,39 \cdot 10^{-7}) C^2 T.$$

Ψ_s : Potentiel hydrique en bars.

C : Concentration de PEG en g/l d'eau.

T : Température optimale en °C.

Tous les tests ont été réalisés à l'obscurité et ceux concernant le stress salin et hydrique à 30°C. Le comptage des graines (par la sortie de la radicule) est effectué quotidiennement pendant 15 jours. Les paramètres retenus sont la capacité germinative (CG) ou le taux de germination final et la vitesse de germination.

2-Analyse statistique

Tous nos tests ont été réalisés avec trois répétitions de 30 graines. Après analyse au test de normalité de Shapiro-Wilk, une analyse de la variance a été réalisée, suivie d'un test de comparaison de moyennes (Neumann et Keuls) lorsque la différence est significative au seuil de 5 %.

Quand les résultats ne suivent pas la loi normale, il est fait appel à un test non paramétrique (Kruskal-Wallis) suivi du test de Wilcoxon en cas de significativité des résultats. Le logiciel R (version 3.4.1/2017) est utilisé pour tous les tests.

3-Résultats

3-1-Caractéristiques des graines

La teneur en eau et le poids de 1000 graines sont donnés dans le tableau 20.

Tableau 21: Caractéristiques des graines d' *A.tortilis*

Teneur en eau (%)	Poids de 1000 graines
6,020	46,590 grammes

Leur faible teneur en eau permet de classer ces graines dans la catégorie des graines orthodoxes selon les critères de l'ISTA.

3-2-Effet de la température sur la germination

La capacité germinative est proche pour toutes les températures et ne présente pas de différences significatives. La germination est nulle à 45°C.

Cependant l'augmentation de la température d'incubation à 40° ou son abaissement à 15°C fait diminuer la vitesse de germination d'une façon significative (Tableau 21).

Tableau 22: Action de la température sur la capacité germinative (CG) et le temps moyen de germination (TMG) des graines d'*A. tortilis*.

Température (°C)	CG (%)	Similarité statistique	TMG (Jours)	Similarité statistique
30	93,200 ± 0,093	a	1,880 ± 0,020	a
15	80,000 ± 0,060	a	5,060 ± 0,020	bc
40	92,100 ± 0,013	a	4,700 ± 0,044	c
45	0			

Les chiffres suivis d'indices différents (a, b, c, d) sont différents ($p < 0,05$).

3-3-Effet du stress salin sur la germination

Les résultats obtenus révèlent des différences hautement significatives entre traitements au seuil de probabilité fixé (Tableau 22).

Ces résultats montrent que la capacité germinative chute d'une façon significative pour une concentration de NaCl de 150 mMol (la CG passe de 92, 2 pour le témoin à 76,700% pour cette concentration). Cependant, il faut signaler que l'*A. tortilis* montre une capacité germinative de 21,1% pour une concentration de NaCl dans la solution d'arrosage égale à 350 mMol (l'équivalent de 21g/l).

L'augmentation des concentrations de sel dans la solution d'arrosage ralentit la germination en allongeant le TMG. Ce dernier passe de 1,25 jour pour une concentration de 50 mM à 7,077 jours pour une concentration de 300 mM.

Tableau 23 : Effet du NaCl sur la capacité germinative (CG) et le temps moyen de germination (TMG) d'*A.tortilis*.

Concentration (mMol)	CG (%)	Similarité statistique	TMG (Jours)	Similarité statistique
100	94,400 ± 0,012	a	2,603 ± 0,06	a
50	93,300 ± 0,006	a	1,250 ± 0,039	b
0	92,200 ± 0,019	ab	1,773 ± 0,036	c
150	76,700 ± 0,009	abc	2,614 ± 0,050	d
200	72,700 ± 0,006	bc	3,679 ± 0,032	d
250	65,600 ± 0,014	cd	4,443 ± 0,017	e
300	24,400 ± 0,003	d	7,077 ± 0,112	f
350	21,100 ± 0,006	d	6,010 ± 0,031	f

Les chiffres suivis d'indices différents (a, b,c,d) sont différents ($p < 0,05$).

3-4-Action du stress hydrique sur la germination

Les résultats obtenus révèlent des différences hautement significatives entre les traitements, pour les paramètres de comparaison retenus (CG, TMG) (Tableau 23).

Tableau 24 : Effet du PEG6000 sur la capacité germinative (GC) et le temps moyen de germination (TMG) d'*A.tortilis*.

PEG6000 (g/l)	CG (%)	Similarité statistique	TMG (Jours)	Similarité statistique
0	92,200 ± 0,009	ab	1,730 ± 0,037	a
10	94,300 ± 0,006	a	1,580 ± 0,003	a
20	88,900 ± 0,006	bc	1,609 ± 0,002	a
30	93,330± 0,003	ab	3,100± 0,058	b
40	93,300 ± 0,010	ab	2,560± 0,035	c
80	86,700± 0,006	bc	3,500± 0,030	c
120	92,200± 0,003	ab	2,420± 0,001	c
180	90,000 ± 0,006	b	2,230 ± 0,052	c
240	26,700 ± 0,003	c	3,700 ± 0,14	d
300	00,00			

Les chiffres suivis d'indices différents (a,b ,c, d) sont différents ($p < 0,05$).

L'*A.tortilis* tolère des concentrations élevées de PEG dans la solution d'arrosage. Il continue à germer (CG = 26,7%) à une concentration de PEG de 240 g/l.

La vitesse de germination diminue avec l'augmentation du stress osmotique exercé par le PEG. Le TMG est de 1,727 jours pour le témoin ; il passe à 3,7 jours quand la concentration du PEG est de 240 g/l.

4-Discussion

4-1-Cinétique de la germination

La germination est rapide chez *A. tortilis* dans pratiquement tous les cas de figure. Ce qui constituerait un caractère adaptatif important dans un milieu où les précipitations annuelles peuvent se concentrer sur quelques jours, voire quelques heures. Des résultats analogues ont été retrouvés par Wilson et Witkowski (1998), Jaouadi et al., (2010, 2013).

4-2-Action de la température

Nos résultats montrent que la température optimale est de 30°C. Cela correspond aux températures de l'été qui est aussi la saison pluvieuse au Hoggar. L'espèce ne supporte pas les températures extrêmes de l'ordre de 45°C ; cependant, elle germe facilement mais plus lentement à 40°C. L'*A. tortilis* maintient une capacité germinative égale à 80% sous 15°C.

Les résultats sont en accord avec les études antérieures (Bensaid, 1988; Abulfatih, 1995; Teketay, 1996, 1998; Ndour et Danthu, 1998; Danthu et al., 2003; Jaouadi et al., 2010; Jaouadi et al., 2013).

4-3-Action de la salinité

Le sel a un effet inhibiteur sur la germination. Cependant le seuil de tolérance diffère selon l'espèce. Pour l'*A.tortilis*, il est de 21% pour une concentration de sel de 350 mM équivalente à 21g/l. En plus de la réduction de la capacité germinative, le sel retarde la germination et ralentit sa vitesse (Tableau 25).

Jaouadi et al., (2010,2013) retrouvent le même type de résultats sur *A.tortilis*. Le stress salin fait chuter significativement le taux de germination à partir de 9 g/l. Mais les graines gardent une capacité germinative de 21% à 22g/l de NaCl.

Ndour et Danthu (1998) ont montré dans leur étude sur 9 espèces d'Acacia, qu'*A. nilotica* var *tomentosa* et *A.nilotica* var *adansonii* ont une germination relative qui chute significativement pour des concentrations de sel de 5 à 10g/l. La germination d'*A. eherenbergiana*, une espèce largement distribuée au Hoggar, chute jusqu'à 11% et celle d'*A.seyal* s'annule pour une concentration de NaCl de 350Mm (Ben Zetta et al., 2017). Cette action du sel sur la germination résulterait d'une difficulté des graines à s'hydrater suite à un potentiel osmotique élevé et à l'action négative des ions Na⁺ et Cl⁻ sur les structures et les complexes enzymatiques cellulaires (Manchanda et Garg, 2008).

4-4-Action du stress osmotique

L'*A.tortilis* montre une résistance élevée face au stress osmotique puis qu'il ne baisse significativement sa capacité germinative (26,63 %) qu'à 240 g/l, équivalent à -6,26 bars selon la formule de Michel et Kaufman (1973). Sa germination s'annule pour une concentration de PEG de 300 g/l, équivalent à -9,49 bars.

Ces résultats sont en accord avec ceux de Ndour et Danthu (1998). Cependant, par rapport aux nôtres, leurs résultats montrent une plus grande résistance d'*Acacia tortilis* qui germe à un potentiel hydrique de -21 bars. La valeur limite du potentiel hydrique toléré par l'*A. tortilis* (-8bars) retrouvée par Jaouadi et al (2010),est plus élevée que le nôtre alors que celle retrouvée par Kebbas et al (2013)(-10 bars) est assez proche de la nôtre. L'*A. eherenbergiana* semble mieux tolérer le stress osmotique puis que il présente une germination de 21% pour un potentiel hydrique de -10 bars alors que l'*A. seyal* présente une tolérance beaucoup plus faible (Ben Zetta et al, 2017). Cette dernière étude a été réalisée au Hoggar.

Conclusions

A partir des deux études, on peut établir les conclusions suivantes :

- Les graines d'*A.tortilis* sont de type orthodoxe. Elles présentent une inhibition de type tégumentaire dont la levée nécessite une scarification mécanique ou chimique.
- Même après une conservation de 12 mois à une température de -4°C, les graines d'*A. tortilis* présentent une forte capacité germinative.
- L'*A.tortilis* germe mieux à l'obscurité mais il est indifférent à la photopériode.
- Les graines d'*A. tortilis* présentent une bonne vitesse de germination.
- La température optimale de la germination des graines d'*A. tortilis* est autour de 30 °C.
- L'*A.tortilis* tolère un stress hydrique et salin élevés.

La rapidité de la germination associée à une meilleure adaptation aux contraintes du milieu peut être l'un des facteurs explicatifs de la large répartition de l'*A. tortilis* dans le Sahara algérien. Cependant, la connaissance de son comportement post germinatif face aux mêmes contraintes abiotiques, est indispensable à la réussite des opérations de réhabilitation par cette espèce des écosystèmes désertiques dégradés.

Chapitre IV
Biométrie foliaire et
stomatique

Dans ce chapitre, nous allons comparer la variabilité des caractères foliaires et stomatiques de l'espèce, en fonction des stations qu'elle occupe. C'est l'un des aspects adaptatifs des espèces aux facteurs du milieu, notamment l'aridité édaphique.

1-Matériel et méthodes

1-1-Description des stations

Notre échantillonnage a été réalisé dans les régions du Hoggar et de Béchar. Au niveau du Hoggar, trois stations ont été choisies selon un gradient altitudinal. Au niveau de la région de Béchar, le gradient altitudinal est moins important pour cause de configuration du terrain. Néanmoins, un gradient Nord Sud transparait. La pente est très faible dans toutes les stations. Les caractéristiques de ces stations sont représentées dans le tableau 25 et la figure 14.

Tableau 25 : Quelques caractéristiques des stations du Hoggar et de Béchar.

Hoggar			
Station	Altitude	Localisation	Végétation
Infeg	890m	Nord : 22°10'633'' Est : 005°46'23''	-Population presque pure d' <i>Acacia tortilis</i> -Présence de 5 à 6 pieds d' <i>Acacia eherenbergiana</i> -Présence de <i>Balanites aegyptica</i> (assez rare)
Tafoudet	1185m	Nord : 22°31'729'' Est : 05°35'472''	Mixte : <i>Acacia tortilis</i> , <i>Acacia eherenbergiana</i> . -Présence de <i>Balanites aegyptica</i>
Imlawlawen	1554m	Nord : 22°85'406'' Est : 005°644'34''	- <i>Acacia tortilis</i> . -Présence de <i>Nerium oleander</i>
Béchar			
station	Altitude	Localisation	végétation
Beni -Ounnif	800m.	31° 51 N latitude Nord et le 1°40 longitude West	La zone Nord : <i>Acacia tortilis</i> La zone sud : <i>Pistacia atlantica</i> , <i>Zizyphus lotus</i> .
Abadla	584m	Entre le 31°09 latitude Nord et le 2°48 longitude West	Couverture végétale réduite : <i>Acacia tortilis</i> <i>Atriplex halimus</i> , <i>Suaeda mollis</i>
Oued Aghlel	700m	Entre le 31° 07 Latitude Nord et le 2°03 longitude West.	<i>Rhus tripartitum</i> <i>Limoniastrum sp</i> , <i>Reseda villosa</i> La distance entre les pieds d' <i>Acacia</i> est de 10 à 50 m.
Oued Magsoum	633m	Entre le 30° 54 latitude Nord et le 2° 05 longitude West	

Il faut préciser que la station d'Imlawlawen est située plus haut que la Guelta qui porte le même nom. Certaines stations sont illustrées dans la figure 14.



Station d'Imlawlawen



Présence de *Nerium oleander* à la station d'Imlawlawen



Station de Tafoudet



Station d'Infeg



Arbre déraciné par la crue de l'Oued à Infeg



***Tamarix sp* au milieu de l'oued (Station d'Infeg)**



Station de Oued Aghlal (Au centre de l'Oued, présence d'un peuplement de *Phoenix dactylifera*)



Station de Abadla



Jeune semi d'*A. tortilis* à la station de Abadla

Figure 14 : Photos illustrant certaines de nos stations d'études.

1-2-Choix des arbres et l'échantillonnage

Nous avons travaillé sur des feuilles (mises en herbier) prélevées sur des individus d'*A. tortilis* dans quatre stations de Béchar et trois stations du Hoggar. Dix arbres ont été échantillonnés par station.

Il faut noter que les feuilles récoltées ont pratiquement le même âge (stade adulte). Au niveau de chaque arbre les feuilles ont été prélevées au hasard, à hauteur d'homme tout autour de l'arbre, en fonction de l'accessibilité. Il faut préciser les difficultés d'échantillonner un arbre aussi épineux que l'*A. tortilis*. A cela s'ajoute la fragilité de ces feuilles composées, avec un limbe constitué de plusieurs dizaines folioles. Ces feuilles se fragmentent facilement. Cela est aggravé par l'éloignement des deux zones d'études.

1-3- Biométrie foliaire

La biométrie est un mot d'origine grec, composé de bio qui veut dire vie et de métrie qui signifie mesure (c'est une partie de la biologie qui étudie les mesures prises sur un matériel vivant).

1-3-1-Choix des caractères

Nous avons déterminé sept caractères simples et deux caractères synthétiques.

- **Caractères simples :**

Longueur de la feuille : L

Largeur de la feuille : l

Hauteur du limbe : H lim

Longueur pétiole : L pet

Inter penne : Ipen

Nombre de penes : Npen

Nombre de folioles : Nfol

- **Caractères synthétiques :**

Hauteur de limbe/pétiole :lim/pet

Longueur/largeur : L/l

1-3-2- Mesures

Avant la mesure, les feuilles ont été conservées en herbier, et pour chaque échantillon, nous avons noté l'arbre dont il provient (A1, A2,...A10) ; les mesures portant sur les dimensions ont été effectuées à l'aide d'un pied à coulisse dont la précision est de 1/10mm.

Le dénombrement des folioles et des penes a été fait à l'œil nu. Les effectifs d'individus sont égaux d'une population à une autre, à raison de dix individus par station. Trente feuilles pour chaque arbre ont été mesurées.

1-4- Densité et biométrie stomatique**1-4-1-Biométrie des stomates**

Dans notre étude, nous avons calculé la densité stomatique (Ds : le nombre de stomates/mm² de surface), l'index stomatique (Is, le nombre des stomates/nombre des cellules épidermiques), Largeur et Longueur des stomates.

1-4-1-1-Prélèvement de l'épiderme

Les feuilles sélectionnées sont mises pendant 2 heures dans une eau bouillie. Une fois réhydratées, nous les avons macérées dans l'acide chlorhydrique (36%), durant un temps allant de 6 à 8 heures, (ces normes ont été fixées après avoir effectué des tests de

concentration d'acide et de temps de macération). Les épidermes sont prélevés à l'aide d'une pince très fine et sont mis entre lame et lamelle puis observés au microscope photonique. Seule la face abaxiale a été prélevée.

Les mesures de longueur (Log) et de largeur des stomates (Lar), sont effectuées par le biais de micromètre oculaire à raison de 05 mesures par feuille soit un total de 150 mesures par individu. La densité stomatique qui exprime le nombre des stomates/mm² d'épiderme foliaire est à son tour comptée sur lambeaux d'épiderme de 1mm carré à raison d'une mesure par feuille. Le dénombrement des stomates et des cellules épidermiques a été fait à l'oculaire au grossissement 400.

1-5- Analyses statistiques

Nous avons eu recours à différentes méthodes statistiques. Toutes les analyses ont été effectuées en ayant recours au logiciel Statistica (10). Les analyses réalisées sont les suivantes : Analyse de la variance à un seul critère de classification, Test Post Hoc (New man et Keuls, Duncan) test de corrélation entre variables, Analyse en Composantes Principales.

2-Résultats

2-1- Biométrie foliaire

Comparaison des résultats entre stations

La comparaison des moyennes de la (longueur, la hauteur du limbe, largeur, pétiole, inter penne, nombre de pennes, nombre de folioles, longueur sur largeur et hauteur et limbe sur longueur du pétiole) est faite à l'aide de l'analyse de la variance à un critère de classification, et le test de Duncan. Les tableaux de la variance sont mis en annexes.

Un tableau récapitulatif a été réalisé (Tableau 26).

Tableau 26 : Tableau récapitulatif des dimensions (en mm) et des caractères foliaires (en gras, les stations du Hoggar).

Station	Caractère	Moyenne	Groupes			
infeg	Larg	12,1			****	
Imlaw		13,33	****		****	
Oued Aghl		13,963	****	****		
Taf		14,645	****	****		
Oued Meg		15,243		****		****
Béni Ounif		16,931				****
Abadla		17,434				****
Oued Aghl	Long	22,373	****			
infeg		22,82	****			
Imlaw		25,08	****			
Oued Meg		26,168	****			
Taf		26,7	****			
Abadla		31,067		****		
Béni Ounif		33,102		****		
infeg	Limbe	13,71		****		
Oued Aghl		16,12	****	****		
Taf		16,85	****			
Imlaw		16,9	****			
Megsm		17,99	****			
Abadla		21,352			****	
Béni Ounif		23,891			****	
Oued Aghl	Petiole	6,528	****			
Oued Meg		8,039	****			
Imlaw		8,27	****			
Taf		8,62	****			
Abadla		8,623	****			
Béni Ounif		9,225	****			
infeg		12,56	****			
Imlaw	Nbr de pen	5,742	****			
infeg		5,791	****			
Oued Meg		6,071	****			
Taf		6,165	****			
Oued Aghl		6,212	****			
Abadla		7,199		****		
Béni Ounif		7,383		****		
Imlaw	Nbre de Fol	76,73	****			
Oued Meg		77,039	****			
Oued Aghl		77,229	****			
infeg		77,667	****			
Taf		78,542	****			
Béni Ounif		93,285	****			
Abadla		120,274		****		

infeg	Inter penne	1,78	****				
Imlaw		2,04	****				
Taf		2,28	****				
Oued Aghl		3,156			****		
Oued Meg		4,099				****	
Abadla		4,981		****			
Béni Ounif		5,028		****			
infeg	L/l	1,61		****			
Imlaw		1,72	****	****			
Taf		1,774	****	****			
Oued Aghl		1,858	****				
Oued Meg		1,888	****				
Abadla		1,919	****				
Béni Ounif		1,95	****				
Taf	Limb/Pétiole	2,117	****				
Imlaw		2,184	****	****			
Oued Meg		2,245	****	****			
infeg		2,323	****	****			
Oued Aghl		2,522	****	****			
Abadla		2,628	****	****			
Béni Ounif		2,685		****			

1- Largeur

La station d'Infeg s'individualise avec les feuilles les moins larges, suivie d'Imlawlawen. Oued Aglal, Tafoudet constituent un groupe intermédiaire entre Imlawlawen et, Oued Megsoum. Abadla et Béni-ounif présentent les feuilles les plus larges.

2- Longueur

On remarque deux groupes distincts :
Abadla et Béni-ounif qui présentent les feuilles les plus longues et les autres stations qui présentent les feuilles les moins longues dans un autre groupe.

3- Hauteur du limbe

On retrouve les mêmes groupes que pour la longueur

4- Nombre de penne

On retrouve la même configuration que pour la longueur et la hauteur du limbe.

5- Nombre de folioles

Abdala s'individualise avec le nombre le plus élevé de folioles. Béni-ounif est situé dans le même groupe que les autres stations mais avec le nombre de folioles le plus élevé (93,285).

6-Le pétiole

Il n'y a pas de différences significatives entre les stations pour ce paramètre.

7-L'interpenne

La variabilité de l'inter penne suit globalement celle de la longueur et de la hauteur du limbe.

8-Le rapport Longueur/Largeur

Ce rapport est supérieur à 1 dans tous les cas de figure. Cela signifie que les feuilles de cette espèce sont plus longues que larges.

9-Le rapport Limbe/ pétiole

La station de Béni-ounif s'individualise par le rapport le plus élevé et la station de Tafoudet par le rapport le plus faible. Les autres stations constituent un groupe intermédiaire

2-2- Paramètres stomatiques

Comparaison des résultats entre stations

La comparaison des moyennes (nombre de cellules épidermiques, nombre de stomates, densité, longueur de stomate, largeur, longueur/largeur) est faite à l'aide de l'analyse de la variance à un critère de classification et le test de Duncan (voir tableau 28). Les tableaux de la variance sont mis en annexe.

Les analyses montrent des différences hautement significatives entre les stations. Un tableau récapitulatif a été réalisé (Tableau 29)

Tableau 27 : Tableau récapitulatif des dimensions et des caractères stomatiques
(en gras, les stations du Hoggar).

Station	Caractère	moyennes	Groupes			
Abadla	Longueur	34,86		****		
infeg		36,18762		****	****	
Beni ouanif		39,14	****		****	
Oued aghlel		39,66	****			
Oued megs		40,12	****			
Taf		45,63123				****
Imlaw		48,85535				****
Abadla		Largeur	21,32	****		
Oued aghlel	22,7		****			
Beni	23,02		****			

ouanif						
Oued megs		23,3	****			
infeg		29,05177		****		
Taf		36,13832			****	
Imlaw		39,47183				****
Imlaw	L/I	1,23863		****		
infeg		1,24619		****		
Taf		1,33353		****		
Abadla		1,6453	****			
Beni ouanif		1,6966	****			
Oued megs		1,7251	****			
Oued aghlel		1,7456	****			
Oued aghlel	Nb de Ce ep	88,62	****			
Abadla		91,98	****			
Oued megs		92,1	****			
Beni ouanif		109,26	****			
Imlaw		163,0827			****	
Taf		222,5193		****		
infeg		226,224		****		
Oued aghlel	Densité	60,26	****			
Oued megs		61,6	****			
Abadla		63,9	****			
Beni ouanif		86,5			****	
Imlaw		118,7266				****
infeg		163,9496		****		
Taf		169,2135		****		
Oued megs	index stomatique	0,6621	****			
Oued aghlel		0,6836	****	****		
Abadla		0,6924	****	****		
infeg		0,725775	****	****	****	
Imlaw		0,728117	****	****	****	
Taf		0,75427		****	****	
Beni ouanif		0,7926			****	

1-Longueur des stomates

Les stations Tafoudet et Imlawlawen se distinguent avec des longueurs élevées (45,63 et 48,85 μm respectivement). Abadla présente la longueur la plus petite (34,86 μm) suivie d'Infeg (36,187 μm) et des trois autres stations de Béchar (Béni-ounif, Oued Aghlal, et Oued Meksoum) qui forment un même groupe.

2-Largeur des stomates

Toutes les stations de Béchar constituent un même groupe, avec une largeur réduite, d'une moyenne globale de 22,58 μm . Elles sont suivies successivement par Infeg (29,05 μm), Tafoudet (36,138 μm) et Imlawlawen (39,47 μm). Ces deux dernières sont dans un même groupe et présentent les longueurs les plus élevées.

3-Longueur / Largeur

Toutes les stations présentent un rapport longueur sur largeur supérieur à 1. Les stomates de ces populations sont donc plus longs que larges. Cependant, il y a une distinction nette entre les stations de Béchar qui présentent un rapport plus élevé et qui sont dans un même groupe, et les stations du Hoggar qui sont dans un autre groupe avec un rapport moins élevé. Les stations du Hoggar présentent des dimensions stomatiques (Longueur et Largeur) proches. L'anatomie stomatique présente donc des différences entre les individus des deux régions.

4-Densité stomatique

Les quatre stations de Béchar présentent les densités les plus faibles allant de 60, 62 stomates/ mm^2 pour Oued Aghlal à 86,5 pour Béni-ounif qui se distingue en formant un groupe. Les stations du Hoggar présentent des densités nettement plus élevées allant de 118,78 pour Imlawlawen, 163,19 pour Infeg et 169,1 pour Tafoudet. Ces deux dernières forment un même groupe.

5-Nombre de cellules épidermiques

Les stations de Béchar sont dans un même groupe avec une moyenne globale de 95, 575. Elles sont suivies par Imlawlawen avec 163,087. Tafoudet et Infeg forment un même groupe avec 222, 519 et 226,224 respectivement.

6-L'index stomatique

Oued Megsoum s'individualise par l'index le plus faible (0,662), suivie par Oued Aghlal et Abadla qui sont dans le même groupe. Infeg et Imlawlawen suivent et sont dans un même groupe, ensuite Tafoudet. La station de Béni-ounifse distingue par l'index le plus élevé (0,7926).

2-3-Corrélations entre les caractères foliaires et les caractères stomatiques

1-Corrélations entre les caractères foliaires

D'après la matrice (Tableau 28), nous remarquons que :

- La longueur de la feuille est corrélée positivement avec la largeur de la feuille, la hauteur du limbe, l'inter-penne, le nombre de pennes, le nombre de folioles et la longueur/la largeur.
- La largeur de la feuille est corrélée positivement avec les mêmes paramètres que la longueur sauf le rapport Longueur/Largeur mais avec le rapport Limbe/Pétiole.
- La hauteur du limbe est corrélée positivement avec tous les autres caractères à l'exception de la longueur du pétiole.
- La longueur du pétiole ne présente aucune corrélation avec les autres caractères foliaires.
- L'inter penne présente des corrélations positives avec la longueur, la largeur, le nombre de pennes et le nombre folioles.
- Le nombre de pennes et de folioles sont corrélés positivement entre eux et avec la Longueur, la Largeur, la hauteur du limbe et l'inter-penne.
- Le rapport Longueur/Largeur est corrélée positivement avec la longueur, la hauteur du limbe et négativement avec le rapport Limbe/Pétiole
- Le rapport Limbe/Pétiole est corrélé positivement avec la largeur de la feuille, la hauteur du limbe, le nombre de pennes et de folioles et négativement avec le rapport Longueur/Largeur

Tableau 28 : Corrélation entre les différents paramètres foliaires pour les stations du Hoggar (En rouge les corrélations significatives).

	LO F	Lar F	Limbe	Petiole	Inter P	Nbr Penne	NbFol	L/I	Limb/P
LO F	1,00	0,768	0,829	0,161	0,721	0,485	0,424	0,510	-0,057
Lar F	0,768	1,000	0,787	0,111	0,694	0,637	0,572	-0,056	0,255
Limbe	0,829	0,787	1,00	0,065	0,789	0,670	0,524	0,265	0,343
Petiole	0,161	0,111	0,065	1,00	0,046	-0,012	0,103	0,098	-0,129
Inter P	0,721	0,694	0,789	0,046	1,00	0,535	0,449	0,189	0,154
Nbr Penne	0,485	0,637	0,670	-0,01	0,535	1,000	0,716	-0,074	0,488
NbFol	0,424	0,572	0,524	0,103	0,449	0,716	1,000	-0,058	0,305
L/I	0,510	-0,056	0,265	0,098	0,189	-0,074	-0,058	1,00	-0,404
Limb/P	-0,057	0,255	0,343	-0,129	0,154	0,488	0,305	-0,404	1,000

2-Corrélations entre les caractères stomatiques

D'après la matrice (Tableau 29), nous remarquons que :

- Le nombre de cellules épidermiques est corrélé positivement avec la densité stomatique, la largeur des stomates et négativement avec le rapport Longueur/Largeur
- La variable densité stomatique est corrélée positivement avec le nombre de cellules épidermiques, la largeur stomatique et négativement avec le rapport Longueur/Largeur.
- La longueur des stomates est corrélée positivement avec la largeur des stomates.
- La largeur des stomates est corrélée positivement avec le nombre de cellules épidermiques, la densité stomatique, la longueur des stomates et négativement avec le rapport Longueur /la Largeur
- L'index stomatique ne présente aucune corrélation.
-

Tableau 29 : Corrélations entre les différents caractères stomatiques.

	N celle epid	Densité stomate	Log stomate	Lar stomate	Lou/Lar	Index stom
N celle epid	1,000000	0,983695	0,240791	0,614441	-0,736193	-0,079587
Densité stomate	0,983695	1,000000	0,238253	0,589230	-0,705340	-0,096749
Log stomate	0,240791	0,238253	1,000000	0,784636	-0,244406	0,041314
Lar stomate	0,614441	0,589230	0,784636	1,000000	-0,750188	-0,073712
Lou/Lar	-0,736193	-0,705340	-0,244406	-0,750188	1,000000	0,146310
Index stom	-0,079587	-0,096749	0,041314	-0,073712	0,146310	1,000000

3-Corrélations entre les caractères foliaires et stomatiques

D'après la matrice de corrélation (Tableau 30), les constats suivants peuvent être observés :

- Le nombre de cellules épidermiques est corrélé négativement avec la longueur de la feuille, la largeur de la feuille, la hauteur du limbe, inter-penne et le nombre de pennes, et le limbe sur pétiole.
- La densité stomatique est corrélée négativement avec la largeur de la feuille, la hauteur du limbe, l'inter-penne, le nombre de pennes, le nombre de folioles et le rapport Limbe/Pétiole.
- La longueur des stomates est corrélée négativement avec l'inter penne, le nombre de pennes et le nombre de folioles

-La largeur des stomates est corrélée négativement avec la largeur de la feuille, la hauteur du limbe, l'inter-penne, le nombre de pennes, le nombre de folioles, le rapport Limbe/Pétiole et positivement avec le rapport Longueur/Largeur de la feuille.

-Le rapport Longueur/Largeur présente des corrélations avec tous les paramètres sauf la longueur de la feuille et la longueur du pétiole.

-L'index stomatique ne présente aucune corrélation.

Tableau 30 : Corrélations entre les caractères foliaires et stomatiques.

	Means	Std.Dev.	N celle epid	Dens stomate	Log stomate	Lar stomate	Lou/Lar	Index stom
LO F	26,826 6	6,05409	-0,262167	-0,225453	-0,092240	-0,174168	0,221693	0,159002
Lar F	14,877 5	2,62828	-0,439309	-0,424585	-0,162290	-0,38	0,481614	0,095789
Limbe	18,239 5	4,42914	-0,455302	-0,430757	-0,149037	-0,302806	0,380942	0,212545
Petiole	8,8477	7,29056	0,242143	0,170994	-0,194153	-0,041444	- 0,126729	0,012224
Inter P	3,4631	1,49997	-0,658616	-0,625346	-0,359827	-0,584954	0,556985	0,156840
Nbr Penne	6,4195	0,82257	-0,360775	-0,333911	-0,306043	-0,464838	0,494650	0,228795
Nb Fol	86,338 7	22,9749 4	-0,225246	-0,232014	-0,407043	-0,400741	0,304165	0,059217
L/l	1,8106	0,25320	0,187385	0,216594	0,170874	0,308401	- 0,302763	0,111847
Limb/P	2,4025	0,52768	-0,284224	-0,309670	-0,212926	-0,311766	0,310529	0,065382

Il ressort de ce qui précède que les feuilles avec de grandes dimensions avec un nombre de pennes et de folioles les plus importants, présentent des stomates moins nombreux et avec de plus faibles dimensions.

4-Corrélations entre les caractères foliaires et stomatiques en intégrant l'Altitude

-Pour les deux régions d'études

En analysant le tableau qui suit, nous remarquons que :

-L'altitude est corrélée négativement avec la largeur des feuilles, l'inter penne, le nombre de pennes et le nombre de folioles.

-L'altitude est corrélée positivement avec le nombre de cellules épidermiques, la densité stomatique et les dimensions stomatiques.

Tableau 31 : Corrélations entre les caractères foliaires, stomatiques et l'altitude pour les deux régions d'étude.

	LO F	Lar F	Limb	Petiole	Inter P	Nbr Penne	NbFol	L/l	Limb/P	N cellepid	Dens stom	Log stom	Lar stom	Lou/Lar	Index stom	Alti
LO F	1,000	0,765	0,842	0,147	0,735	0,5014	0,432	0,497	-0,010	-0,248	-0,213	-0,093	-0,1687	0,211	0,157	-0,129
Lar F	0,765	1,00	0,787	0,098	0,697	0,6436	0,573	-0,079	0,304	-0,426	-0,414	-0,183	-0,386	0,476	0,096	-0,346
Limbe	0,842	0,787	1,000	0,057	0,797	0,6761	0,526	0,277	0,374	-0,446	-0,422	-0,077	-0,269	0,392	0,213	-0,225
Petiole	0,147	0,098	0,057	1,000	0,035	-0,018	0,102	0,088	-0,113	0,247	0,1757	-0,192	-0,039	-0,128	0,011	0,033
Inter P	0,736	0,697	0,797	0,035	1,00	0,516	0,454	0,201	0,176	-0,650	-0,620	-0,353	-0,578	0,560	0,157	-0,546
Nbr Penne	0,501	0,643	0,676	-0,018	0,516	1,00	0,716	-0,04	0,502	-0,345	-0,321	-0,276	-0,446	0,498	0,229	-0,362
NbFol	0,432	0,573	0,526	0,102	0,454	0,716	1,00	-0,044	0,312	-0,216	-0,224	-0,371	-0,387	0,311	0,059	-0,343
L/l	0,497	-0,079	0,277	0,088	0,201	-0,047	-0,044	1,00	-0,382	0,185	0,2159	0,177	0,309	-0,307	0,109	0,332
Limb/P	-0,010	0,304	0,374	-0,113	0,176	0,502	0,312	-0,382	1,000	-0,285	-0,310	-0,187	-0,305	0,327	0,066	-0,316
N cellepid	-0,248	-0,426	-0,446	0,247	-0,651	-0,345	-0,215	0,184	-0,285	1,00	0,983	0,239	0,601	-0,727	-0,078	0,629
Dens stoma	-0,214	-0,414	-0,422	0,175	-0,620	-0,321	-0,224	0,215	-0,310	0,983	1,00	0,238	0,579	-0,699	-0,097	0,628
Log stomate	-0,093	-0,183	-0,077	-0,192	-0,353	-0,276	-0,379	0,177	-0,187	0,239	0,238	1,00	0,792	-0,268	0,037	0,679
Lar stomate	-0,168	-0,386	-0,269	-0,139	-0,578	-0,446	-0,387	0,309	-0,305	0,601	0,579	0,793	1,00	-0,758	-0,075	0,868
Lou/Lar	0,211	0,476	0,392	-0,128	0,560	0,497	0,311	-0,307	0,327	-0,727	-0,61	-0,268	-0,758	1,000	0,146	-0,686
Indexstom	0,157	0,095	0,212	0,011	0,157	0,229	0,059	0,109	0,066	-0,079	-0,097	0,037	-0,075	0,146	1,00	-0,029

-Pour la région de Béchar

Nous constatons (voir tableaux 32 et 33) que:

-L'altitude est corrélée positivement avec la largeur de la feuille, la longueur de la feuille, la hauteur du limbe, l'inter penne et le nombre de pennes. Concernant les stomates, l'altitude est corrélée positivement avec le nombre de cellules épidermiques et la densité stomatique, mais ne présente aucune corrélation avec les dimensions stomatiques.

Tableau 32: Corrélations entre les caractères foliaires et l'altitude pour région de Béchar (en rouge les corrélations significatives).

	LO F	Lar F	Limbe	Petiole	Inter P	Nbr Penne	NbFol	L/I	Limb/P	Alti
LO F	1,000	0,713	0,893	0,827	0,845	0,405	0,416	0,749	-0,043	0,417
Lar F	0,713	1,000	0,747	0,438	0,540	0,508	0,5760	0,080	0,310	0,360
Limbe	0,893	0,747	1,00	0,574	0,778	0,583	0,514	0,582	0,327	0,533
Petiole	0,827	0,438	0,574	1,00	0,736	0,092	0,217	0,757	-0,547	0,262
Inter P	0,845	0,540	0,773	0,736	1,00	0,237	0,359	0,708	-0,105	0,314
Nbr Penne	0,405	0,508	0,583	0,092	0,237	1,00	0,732	0,102	0,539	0,467
NbFol	0,416	0,576	0,514	0,217	0,359	0,732	1,00	0,061	0,321	0,076
L/I	0,749	0,080	0,582	0,756	0,708	0,102	0,061	1,00	-0,336	0,288
Limb/P	-0,043	0,310	0,327	-0,547	-0,105	0,539	0,321	-0,336	1,000	0,195
Alti	0,417	0,360	0,533	0,262	0,314	0,467	0,076	0,288	0,195	1,00

Tableau 33 : Corrélation entre les caractères stomatiques et l'altitude pour la région de Béchar.

	Means	Std.Dev.	N cellepid	Densité stm	Log stomate	Lar stomate	Lou/Lar	Index stom	Alti
N cellepid	95,490	12,560	1,000	0,828	0,005	0,0786	-0,066	0,037	0,500
Densité stm	68,065	15,025	0,828	1,000	-0,017	0,004	-0,034	-0,060	0,574
Log stomate	38,445	3,570	0,005	-0,0179	1,000	0,622	0,512	0,161	0,326
Lar stomate	22,585	1,921	0,078	0,0042	0,622	1,000	-0,348	0,034	0,231
Lou/Lar	1,703	0,132	-0,066	-0,034	0,512	-0,348	1,000	0,151	0,108
Index stom	3,216	15,857	0,037	-0,060	0,161	0,034	0,151	1,000	0,241
Alti	679,250	81,998	0,500	0,574	0,326	0,231	0,108	0,241	1,00

-Pour la région du Hoggar

D'après les tableaux 34 et 35, nous remarquons que :

-L'altitude est corrélée positivement avec un seul caractère foliaire, à savoir la hauteur du limbe.

Tableau 34 : Corrélations entre les caractères foliaires et l'altitude pour la région du Hoggar.

	Lo F	La F	In P	NP	Limb	NbFoliol	Pet	Lo/La	Lim/P	Alti
Lo F	1,000	0,370	0,427	0,129	0,443	0,022	0,437	0,150	0,006	0,122
La F	0,370	1,000	-0,247	-0,38	-0,150	0,002	-0,129	-0,001	0,084	0,154
In P	0,427	-0,246	1,000	0,538	0,775	0,180	0,731	0,292	-0,133	0,186
NP	0,129	-0,384	0,538	1,000	0,561	0,416	0,414	-0,077	0,0465	-0,072
Limb	0,443	-0,154	0,775	0,561	1,000	0,254	0,593	0,164	0,071	0,392
NbFoliol	0,022	0,002	0,180	0,416	0,254	1,000	0,290	-0,090	-0,014	-0,031
Pet	0,437	-0,129	0,731	0,414	0,593	0,290	1,000	0,432	-0,579	0,287
Lo/La	0,150	-0,001	0,292	-0,074	0,164	-0,090	0,432	1,000	-0,402	0,109
Lim/P	0,006	0,084	-0,133	0,046	0,071	-0,014	-0,579	-0,402	1,000	-0,117
Alti	0,122	0,154	0,186	-0,072	0,392	-0,031	0,2878	0,109	-0,117	1,000

Tableau 35: Corrélations entre les caractères stomatiques et l'altitude pour la région du Hoggar.

	C epid	Densité stom	L	I	L/I	Index stom	Alti
C epid	1,000	0,970	-0,473	-0,629	0,172	0,386	-0,545
Densité stom	0,970	1,000	-0,406	-0,581	0,190	0,594	-0,464
L	-0,473	-0,406	1,000	0,949	0,0582	-0,007	0,752
I	-0,629	-0,581	0,949	1,000	-0,033	-0,157	0,702
L/I	0,172	0,190	0,058	-0,033	1,000	0,126	-0,015
Index stom	0,385	0,594	-0,007	-0,157	0,126	1,000	0,031
Alti	-0,545	-0,464	0,753	0,702	-0,0159	0,031	1,000

Les autres caractères ne présentent aucune corrélation. Il y a une corrélation inverse avec la densité et les dimensions stomatiques. Le nombre de cellules épidermiques et la densité stomatique sont corrélés négativement avec l'altitude, alors que la largeur et la longueur stomatiques sont corrélées positivement avec l'altitude.

A partir de toutes ces observations, il apparaît clairement que le facteur altitudinal agit différemment en fonction des deux régions d'étude. La région de Béchar est sous influence du climat méditerranéen alors que le Hoggar bénéficie aussi de l'influence du front tropical, avec des pluies estivales. La station la plus haute de Béchar (Béni-ounif) est la seule qui échappe au bioclimat saharien au sens d'Emberger. Ce qui explique ces résultats. Au niveau du Hoggar, il est évident qu'il y a une compensation des facteurs : l'altitude agit sur la

pluviométrie mais aussi sur un abaissement des températures qui peuvent agir défavorablement sur la croissance végétative. La station de basse altitude peut bénéficier d'un grand apport en eau, conséquence d'un bassin versant plus vaste. Il faut rappeler que cette espèce peuple principalement les berges des oueds.

2-4-Analyse en composantes principales entre les différents caractères foliaires pour les deux régions

1-Caractères foliaires :

Ce qui ressort remarquablement de la figure suivante est l'individualisation des deux stations septentrionales de Béchar, à savoir Béni-ounif et Abadla par rapport aux cinq autres stations. Les stations d'Oued Aghlal (Béchar), Imlawlawen et Tafoudet (Hoggar) sont aussi très proches. Les deux stations Infeg et Oued Megsoum s'individualisent aux deux extrémités opposées du plan Y.

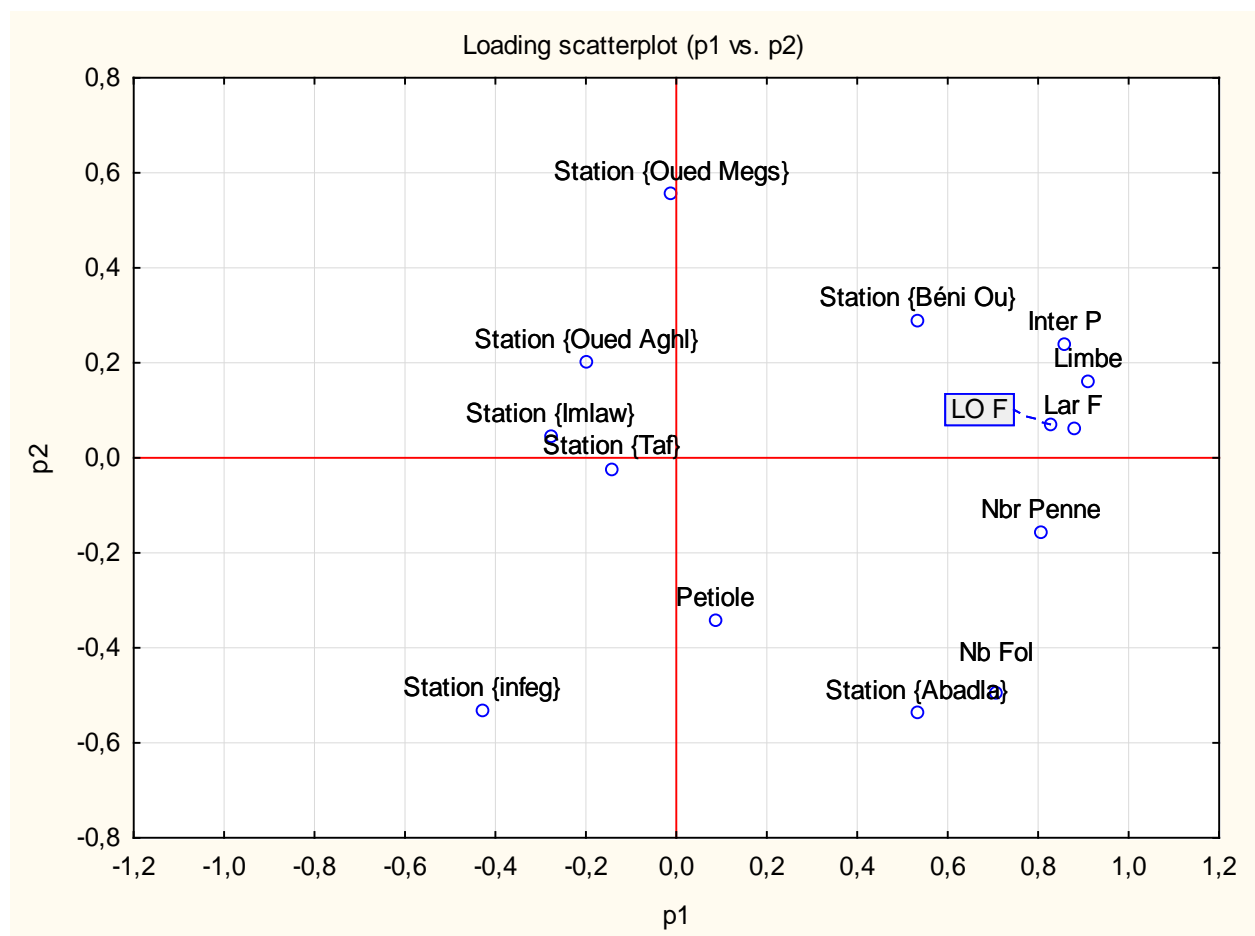


Figure 15 : Analyse en Composantes Principales des différents caractères foliaires.

2-Caractères stomatiques

Il y a une opposition très nette entre les deux régions d'étude concernant les caractères stomatiques(Figure 16). Au niveau de Béchar, Oued Megsoum et Oued Aghlal s'opposent aux stations les plus septentrionales que sont Béni-ounif et Abadla. Au niveau du Hoggar, la station la plus basse en terme d'altitude (Infeg) s'oppose à Imlawlawen la station la plus haute. Les caractères liés à la station Infeg sont le nombre de cellules épidermiques et la densité stomatique. La longueur et la largeur des stomates se regroupent avec Imlawlawen. Tafoudet se situe dans une position intermédiaire.

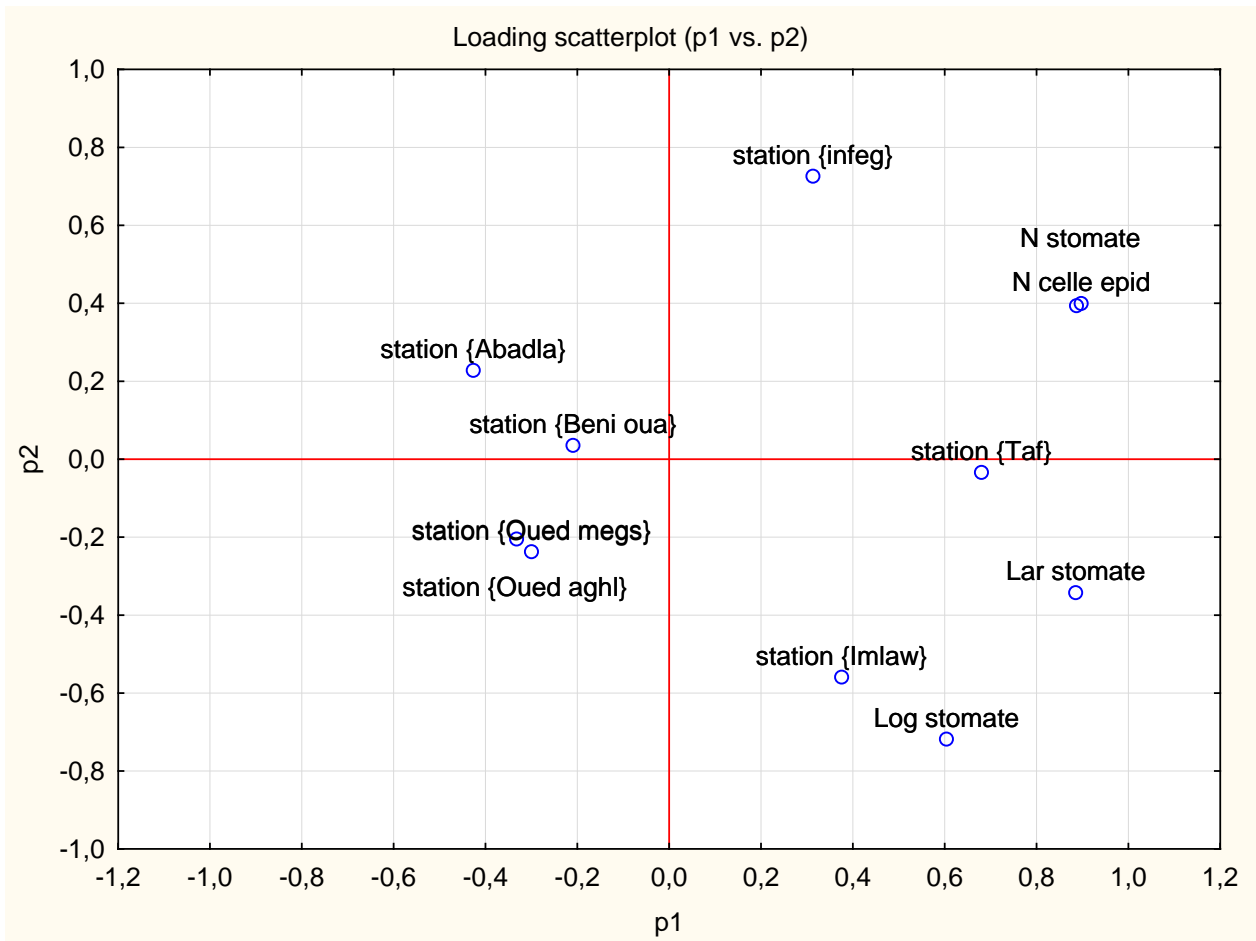
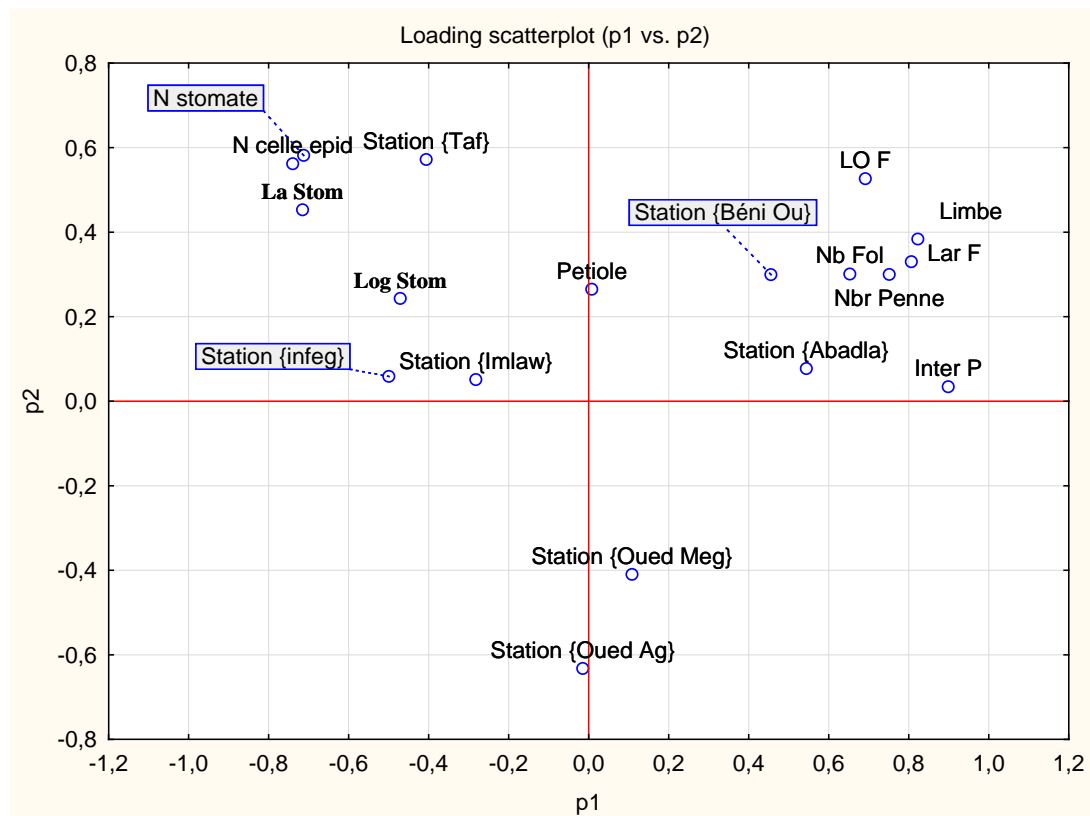


Figure 16 : Analyse en Composantes Principales des différents caractères stomatiques.

3-Caractères foliaires et stomatiques

A partir de la figure 17, nous remarquons que :

- Les deux stations de Béchar les plus septentrionales (Béni-ounif et Abdala) et supposées être les moins xériques, forment un groupe concernant les caractères foliaires. Ce groupe s'opposent aux stations du Hoggar qui forment un autre groupe avec des caractères stomatiques similaires.
- Oued Aghlal et Oued Megsoum se détachent de ces deux groupes et doivent présenter des caractères foliaires qui s'opposent au groupe« Abdala-Béni-ounif ».

Figure 17 : Analyse en Composantes principales des caractères foliaires et stomatiques.

3-Discussion des résultats

3-1-Les caractères foliaires

Les deux stations septentrionales de Béchar se distinguent par des dimensions foliaires plus élevées, un nombre de pennes et de folioles plus important par rapport à toutes les autres stations. Béni-ounif est aussi la station la plus haute de Béchar (800 m d'altitude) avec 120mm de pluviométrie annuelle (Barry et Cells 1973).

L'action combinée de la proximité de la mer et de l'altitude modère la température maximale et apporte un surplus de pluviométrie. Cette station représente la limite septentrionale de l'*A. raddiana* et la limite sud du *Pistacia atlantica* pour la région de Béchar. Abadla présente une faible pluviométrie. Il est intéressant de signaler la présence d'un barrage à proximité de cette station ; ce qui laisse supposer une humidité atmosphérique plus élevée et un inféroflux peu profond. La présence de jeunes individus d'*A. tortilis*, fruit d'une régénération, laisse penser que cette station est fertile.

A contrario, la station la plus basse du Hoggar, Infeg, présente une largeur de la feuille et une hauteur de limbe les plus faibles. Les autres stations présentent des résultats relativement proches Ceci est confirmé par l'analyse en composante principale et par les tests de corrélation. L'altitude n'est pas corrélée négativement avec la hauteur du limbe dans le Hoggar alors qu'elle est corrélée positivement avec la longueur, la largeur de la feuille, la

hauteur du limbe, l'inter penne et le nombre de pennes pour la région de Béchar. Le tableau des corrélations montre que la longueur des feuilles est corrélée positivement avec la largeur et avec les autres paramètres foliaires.

L'implication des facteurs situationnels dans la morphologie foliaire a été retrouvée par beaucoup d'auteurs (Bresson, 2011 ; Ait Said, 2011 ; Belhadj, 2007). Cependant, sous climat tempéré, l'altitude agit négativement sur les dimensions foliaires. Bresson (2011) a retrouvé une action négative de l'altitude sur les feuilles de *Fagus sylvatica* et *Quercus petraea* aux Pyrénées.

Sous climat aride et saharien, une altitude modérée comme celle de Béni-ounif et Abadla a plutôt un effet positif. Le facteur limitant sous ce climat est l'aridité du milieu avec comme conséquence une sécheresse édaphique. Un apport supplémentaire en précipitations est induit par cette altitude et la proximité de la mer. L'analyse des résultats pour la région du Hoggar ne montre pas un impact très net de l'altitude sur les caractères foliaires. C'est la station de moyenne altitude (Tafoudet) qui montre les feuilles de plus grande taille (largeur et hauteur de limbe). Une compensation de facteurs semble agir et atténuer les effets de l'altitude. La géomorphologie est un autre paramètre à prendre en considération, s'agissant d'une espèce phréatique dont l'habitat est constitué par les berges des oueds sahariens. Les stations de basses altitude peuvent bénéficier d'un apport hydrique conséquent grâce à un bassin versant très vaste. A Infeg, la présence d'individus de Tamarix de grande taille au milieu de l'Oued suggère la présence d'une nappe phréatique peu profonde. D'ailleurs, des arbres ont été déracinés par la fureur de l'oued en crue.

3-2-Les caractères stomatiques

L'analyse des résultats, notamment l'ACP, montre une opposition très nette entre les stations de Béchar et du Hoggar particulièrement pour la densité. L'ACP le montre d'une façon remarquable. La densité des stations du Hoggar est plutôt proche des résultats (125) obtenus au Sénégal par (Konaté, 2009). L'impact de l'altitude est différent pour les deux régions. Par ailleurs, le tableau des corrélations montre que les dimensions foliaires ainsi que le nombre de pennes et de folioles sont corrélés négativement avec les dimensions et la densité stomatique. L'altitude est corrélée **positivement** avec la densité stomatique et la longueur stomatique dans la région de Béchar. Par contre au Hoggar, l'altitude est corrélée **négativement** avec la densité et positivement avec les dimensions stomatiques. Ce qui est l'inverse des résultats trouvés en climat tempéré par Bresson (2011).

La variation de la densité et des dimensions stomatiques peuvent être dues à des facteurs génétiques et/ou environnementaux. Une relation inverse a souvent été trouvée entre ces deux caractères en réponse aux changements des facteurs du milieu mais aussi à des adaptations sur le long terme (le temps long). La combinaison de petits stomates avec de grandes densités est souvent corrélée avec des conductances stomatiques et une efficacité de l'utilisation de l'eau élevées. Une diminution des dimensions stomatiques est sous contrôle génétique, souvent lié à une sécheresse édaphique (Ligia et al., 2019 ; Roussel et al., 2009).

Cet ensemble d'observations peut expliquer l'opposition des résultats mis en évidence par l'analyse statistique entre les deux régions d'études, et entre les stations. La région de Béchar est sous l'influence du climat méditerranéen alors que le Hoggar de par sa latitude, avec des altitudes plus élevées subit l'influence du front tropical.

Est-ce que on n'assiste pas à une divergence génétique sur le temps long des populations d'*Acacia tortilis* du Hoggar avec celles de la région de Béchar sous l'action de deux bioclimats relativement différents ?

Il convient de signaler que d'autres paramètres comme la luminosité et la concentration du CO₂ peuvent agir sur les traits stomatiques (Mc Elwain et Chaloner, 1995 ; Casson et al., 2007 ; Chen et al, 2001).

Conclusions

Les conclusions suivantes peuvent être énoncées :

- L'action des facteurs climatiques régionaux et stationnels agissent sur la morphologie foliaire. L'exemple le plus caractéristique est la station de Béni-ounif qui présente la pluviométrie la plus élevée et conséquemment les dimensions foliaires les plus grandes.
- Au niveau du Hoggar, une compensation de facteurs est à l'œuvre. La station la plus élevée, donc avec une meilleure pluviométrie ne se détache pas des autres stations d'une façon aussi nette que Béni-ounif. A ce niveau d'altitude, l'action des températures minimales n'est pas à négliger.
- Le rôle de la géomorphologie dans l'alimentation des nappes phréatiques des oueds en basse altitude doit aussi être souligné. Ce n'est pas la pluviométrie qui explique les résultats d'Infeg et de Abadla mais la présence certaine d'un inféroflux peu profond.
- Concernant, les caractères stomatiques, il y a une opposition très nette entre les deux régions d'étude. Connaissant le rôle du patrimoine génétique dans l'établissement de

ces caractères, il est légitime de se poser la question d'une évolution différenciée des populations d'*A. tortilis* dans les deux régions.

Ces conclusions ne peuvent être définitives. Il serait intéressant d'élargir ces investigations à d'autres régions (comme le Tassili N'Ajjer), de multiplier les stations en fonction des facteurs écologiques et de réaliser un échantillonnage plus complet et plus rigoureux.

Chapitre V

Etude métabolique

Dans cette partie, seront analysées les variations des Teneurs des sucres solubles (issus du métabolisme primaire) et de trois classes de flavonoïdes (issues du métabolisme secondaire) à savoir les aglycones, les c-glycosides et les anthocyanes ; en fonction des stations. Comme annoncé dans l'introduction, ces molécules jouent un rôle majeur dans les processus adaptatifs des plantes face aux contraintes abiotiques du milieu, notamment le stress hydrique. Les flavonoïdes ont aussi une fonction protectrice face à l'herbivorie et les attaques pathogènes. L'objectif de cette étude est la mise en évidence de ce mécanisme adaptatif chez l'*A.tortilis* var *raddiana* en fonction des facteurs stationnels des habitats qu'occupe cette espèce.

Le choix des stations au Hoggar s'est fait globalement en fonction de l'altitude. Nous avons rajouté la station d'In Salah au vu des caractéristiques climatiques rudes de cette station (faible pluviométrie et hautes températures). La station d'Intounine a été utilisée uniquement pour la quantification des sucres solubles. Dans la région de Béchar, nous n'avons pas pu échantillonner la station de Béni-Ounif, qui représente la limite Nord de la distribution de l'*A. tortilis*, avec la meilleure pluviométrie (120 mm par an) pour des raisons logistiques.

Dans cette région, sous influence du climat méditerranéen, nous avons essayé de choisir des stations selon un gradient Nord Sud. Il faut aussi signaler la difficulté à échantillonner une espèce aussi épineuse que l'*A. tortilis* var *raddiana* et les conditions de conservation des échantillons au vu de l'éloignement de la zone d'études.

1-Stations d'études et matériel végétal

Le matériel végétal est constitué des feuilles d'*Acacia tortilis* var *raddiana* qui ont été récoltés en mois d'avril 2011 dans différentes stations (Tableau 36). Tout comme pour l'étude sur la morphologie foliaire, les feuilles ont été récoltées à hauteur d'homme, tout au autour de l'arbre et en fonction de l'accessibilité. Cinq arbres ont été échantillonnés par station.

Les feuilles d'*Acacia tortilis* var *raddiana* ont été séchées à l'abri de la lumière solaire, afin de préserver au maximum l'intégrité des molécules. Le matériel végétal a été broyé à l'aide d'un broyeur électrique. La poudre ainsi obtenue est utilisée pour l'extraction des flavonoïdes. Certaines caractéristiques de ces stations sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 36: Caractéristiques des stations d'études (M : Température maximale, m : Température minimale).

Régions	Températures (C°)	Précipitations annuelles (mm)	Stations	Altitudes (m)	Coordonnées Lambaires
Béchar	M : 40.6 m : 4.2	70	Igli	568	N:30°34'48 O:002° 17'53''
			Abadla	586	N:31° 09' 57 O: 002° 33'.47
			M'tilih	683	N:31° 07'59 O:002 12°48
			OuedAghlal	697	N:31, 07°17 O:002 09' 16
Tamanrasset	M : 35.9 m:4.9	49.3	Infeg	895	N:22°10'633'' E:005°46°23''
			Tafoudet	1185	N:22°31'729'' E:05°35'472''
			Timboubeida	1144	N:22°55'613'' E:005°.51239'
			Intounine	1445	N22°44'420'' E 5°38' 138''
			Imlawlawen	1554	N:22 85'406'' E:005°.644'34''

2-Méthodes

2-1-Extraction des flavonoïdes

2-1-1-Principe d'extraction

La glycosylation est l'addition d'un sucre sur le squelette flavonique. Elle se fait dans la dernière phase de la biosynthèse des flavonoïdes (Heller et Forkman, 1988). On obtient soit un C-glycosylflavone et dans ce type de composés, le sucre est lié directement au cycle benzénique par une liaison C-C entre le carbone C6 ou le carbone C8 (Markham, 1982) ; soit un O-glycosylflavone. Dans ce cas, un hydroxyle du squelette flavonique est lié avec un autre hydroxyde alcoolique du sucre.

La liaison C-O-C des O-glycosylflavone est une liaison fragile qui se rompt à l'hydrolyse acide en libérant les aglycones. Par contre la liaison C-C est une liaison résistante à ce type d'hydrolyse.

L'hydrolyse acide d'une poudre végétale permet d'obtenir deux types de composés flavoniques :

- Une fraction d'aglycones lipophiles.
- Une fraction de C-glycosylflavone hydrophiles.

2-1-2-Protocole expérimentale

La méthode utilisée est celle de Leberton et al., (1967) (Figure18).

L'extraction des flavonoïdes s'est faite selon le protocole préconisé par Lebreton et al., (1967), dont les étapes essentielles sont résumées dans la figure 19 ci-dessous.

Cette méthode est basée sur le degré de solubilité des flavonoïdes dans les solvants organiques. L'extraction des flavonoïdes est effectuée à partir d'une quantité de 0,5g de poudre de feuilles d'*Acacia tortilis* var *raddiana* et dans 40 ml d'HCL à 2N dans un erlenmeyer.

La solution est portée dans un bain-marie à une température de 80°C, pendant 40 mn avec insufflation d'air toutes les 10 mn pour faciliter la transformation des pro anthocyanidines en anthocyanidines homologues grâce au processus d'oxydation.

Après avoir laissé la solution refroidir pendant environ 30 mn, nous avons procédé à l'extraction dans une ampoule à décanter, par lavage de la solution 3 fois de suite avec le diéthyléther (30-30-30) ml. Après décantation, nous avons obtenu 2 phases :

▪ L'épiphase étherée

Elle est de couleur jaune verdâtre, elle contient les aglycones flavoniques. Elle a été recueillie dans un cristalliseur propre et laissée sécher à l'air libre afin d'éliminer toute trace de solvant. Le résidu sec est repris dans 5ml d'éthanol à 95% et conservé par la suite dans des tubes à hémolyse.

▪ L'hypophase acide

Elle est de couleur brun rougeâtre, elle est reconduite en ampoule à décanter. L'extraction se fait par 50ml du butanol-1. Ce dernier est éliminé par évaporation sous vide au rotavapor à 40°C et le résidu sec est récupéré par 5 ml de méthanol. Cet extrait est conservé dans des tubes à hémolyse couverts de papier aluminium pour éviter le contact avec la lumière.

Les extraits des aglycones, des anthocyanes et des C-glycosylflavones serviront au dosage spectrophotométrique.

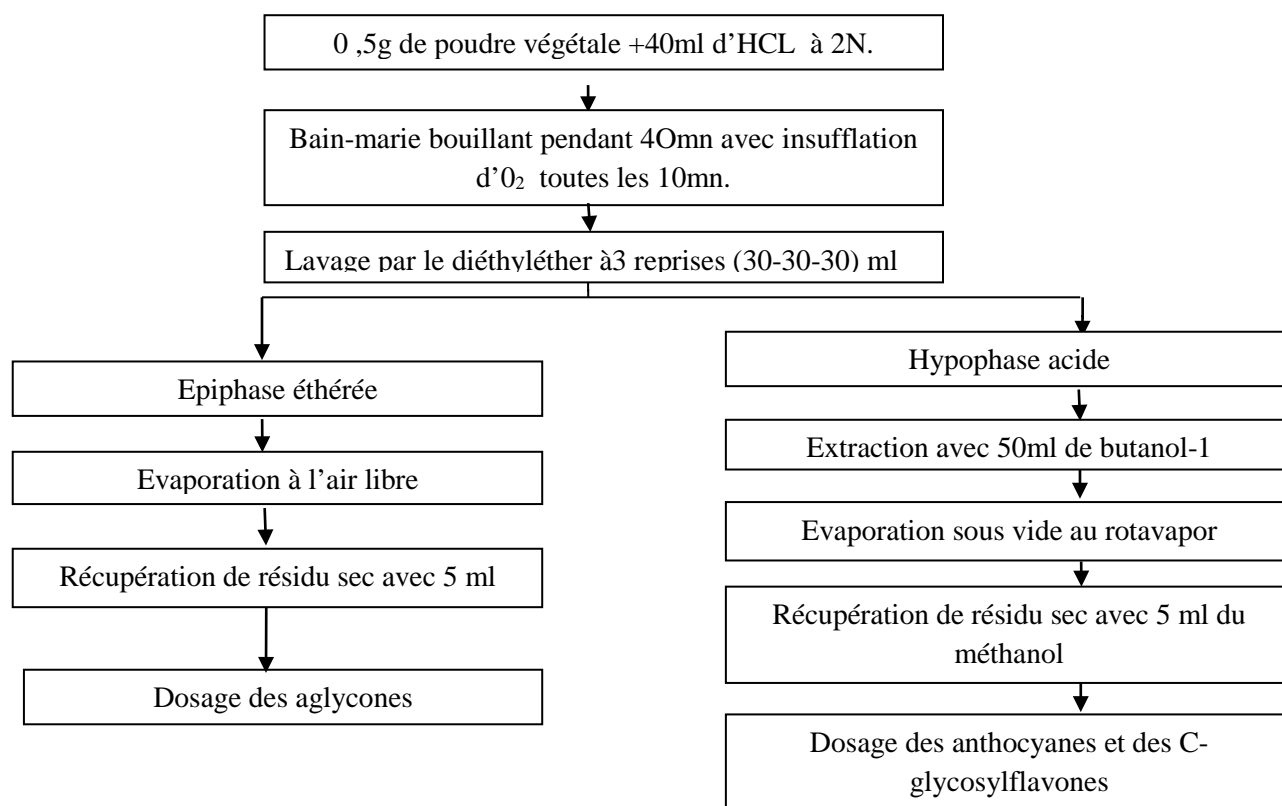


Figure 18: Protocole d'extraction des flavonoïdes (Lebreton et al., 1967).

2-1-3-Dosage des aglycones flavoniques

La méthode est celle décrite par Robles et al., (2003). Un volume de 100µl de la solution à tester est mis à réagir pendant 20 mn dans 5 ml d'une solution éthanolique à 1% d' AlCl_3 . Les aglycones flavoniques sont dosés par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 435 nm (mesure de la formation du complexe coloré intervenant en présence des ions Al^{+3}).

La quercétine a été utilisée comme standard dans l'élaboration de la courbe d'étalonnage. Les résultats sont exprimés en milligrammes par gramme de la matière sèche en équivalent de quercétine.

2-1-4-Dosage des anthocyanes

La teneur en anthocyane a été déterminée en utilisant la méthode différentielle de pH de Giusti et Wrolstad (2001) ; Lee et al., (2005), grâce au fait que la structure des anthocyanes subit une transformation réversible lors d'un changement de pH (sous forme oxonium coloré au pH 1,0 et incolore sous forme hémicétal à pH 4,5).

Deux solutions tampons ont été préparées : une solution de chlorure de potassium 0,025 M à pH 1,0 et une autre d'acétate de sodium 0,4 M à pH 4,5.

A 4ml de chaque solution tampon (pH 1,0 et 4,5), un volume d'1ml de la solution à doser a été ajouté. Après 15mn, les absorbances ont été lues au spectrophotomètre à la fois à 520 nm et 700 nm (l'absorbance à 700 nm permet de corriger l'erreur due à la vapeur légère qui se formerait sur les parois de la cuve).

Les Teneurs de pigments anthocyanes exprimées en équivalent cyanidine-3-glucoside, sont calculées comme suit :

$$\text{La teneur en anthocyane (équivalent cyd-3-glu, mg/L)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{\epsilon \times L}$$

Où:

A (absorbance) = (A 520nm-A720nm) pH1, 0-(A520nm-A700nm) pH 4, 5

MW (poids moléculaire) =449,2g/mol pour cyanidine-3-glucoside (cyd-3-glu).

DF=facteur de dilution.

L=trajet optique en cm, (la largeur de la cuvette=1cm).

E= 26900, c'est le coefficient molaire d'extinction, enL.mol⁻¹.cm⁻¹, pour cyd-3-glu.

10³= facteur de conversion de g en mg.

2-1-5-Dosage des C-glycosylflavones

Nous avons utilisé la méthode décrite par Li et al., (2010). Ainsi, 0.5 ml de chaque échantillon a été ajusté à 5ml avec de l'eau distillée puis 0.3 ml de NaNO₂ (1/20) a été ajouté à chaque échantillon. Après 6 minutes, on ajoute 0.3 ml d'AlCl₃ (1/10).4ml de NaOH (1mole/L) sont ajoutés après 6 minutes et on ajuste à 10 ml avec de l'eau distillée.

Les solutions sont mélangées et incubées pendant 15 minutes à température ambiante puis elles sont dosées par spectrophotométrie à 506 nm dans une cuve en plastique.

La routine peut être considérée comme un composé de référence convenable pour le dosage des C-glycosylflavones (Li et al., 2010). Nous l'avons utilisée comme standard dans l'élaboration de la courbe étalon.

2-2-Extraction et dosage des sucres solubles

2-2-1-Principe

La technique utilisée pour la détermination des sucres solubles a été inspirée de la méthode décrite par Mac Cready et al., (1950). Elle repose sur la transformation des oses en dérivés furfuraux en milieu acide et chaud.

L'acide sulfurique qui est l'un des constituants du réactif d'anthrone, transforme à ébullition les glucides en furfurals et dérivés furfuriques (Cerning-Beroard, 1975). Ces dérivés se condensent avec la forme tautomérique de l'anthrone (l'authronal) pour donner des complexes dont la coloration est verte-bleu pour les hexoses.

▪ Extraction des sucres solubles

La méthode utilisée est celle de Mac Crady et al., (1950) pour l'extraction des sucres solubles 1 g de MVS (Matière Végétale Sèche) est mélangé à 10ml d'éthanol à 80%. Après agitation au vortex, le mélange est centrifugé à 5000 trs/mn pendant 20 minutes, ensuite le surnageant est récupéré dans une fiole de 50 ml.

L'extraction est réalisée à deux reprises avec 5 ml d'éthanol à 80% suivie d'une centrifugation pendant 15 mn à 3000 trs/ minutes. Les trois surnageants sont mélangés dans la même fiole et ajustés à 50 ml avec l'eau distillée.

▪ Dosage des sucres solubles

Pour le dosage des sucres solubles, la méthode adoptée est celle de Cerning-Beroard (1975). Dans des tubes à essai, 0,5 ml de l'extrait glucidique précédent est mélangé à 0.5 ml d'eau distillée et 2 ml de réactif à l'anthrone.

Après agitation au vortex, les tubes sont mis au bain marie à 100°C pendant 7 minutes pour permettre le développement de la coloration. Après refroidissement des tubes, les densités optiques sont lues à 630 nm au spectrophotomètre (UV. 106-1 PC : Shimadzu) et les teneurs en sucres sont déterminées à l'aide d'une courbe étalon.

Le blanc est préparé à partir d'un ml d'eau distillée auquel on ajoute 2ml de réactif à l'anthrone. La courbe de standard est préparée avec du glucose pur (50 ug/ml).

2-3-Analyse statistique

En plus de la moyenne et des écarts types, nous avons procédé à l'analyse de la variance suivie d'un test Post Hoc (test de Neuwman et Keuls). Des corrélations ont été réalisées entre les différents paramètres par le test de Pearson. Le logiciel utilisé est Statistica 10.

3-Résultats

3-1-Teneurs en sucres solubles des individus des différentes stations

Le tableau 37 présente les moyennes des teneurs foliaires en sucres solubles ($\mu\text{g/g}$ de MSV) des individus échantillonnés dans les différentes stations.

Tableau 37 : Teneurs moyennes des sucres solubles ($\mu\text{g/g}$) des individus échantillonnés dans les différentes stations.

Stations	Moyenne en $\mu\text{g/g}$ de MVS
Imlawlawen	10,65320 \pm 3,583545
Intounine	11,19980 \pm 0,258471
Tafoudet	18,14740 \pm 3,964004
Timboubeida	19,74020 \pm 7,571275
Infeg	17,01420 \pm 6,029684
In Salah	17,31800 \pm 9,132762
Abadla	28,08100 \pm 6,603670
Mtilih	32,08080 \pm 16,59560
Igli	33,88820 \pm 9,132762
Oued Aghlal	34,00700 \pm 5,018433

Nous constatons que les stations d'altitude (Imlawlawen et Intounine) présentent les taux les plus faibles (10,6 mg/g et 11,12 mg/g respectivement). Les teneurs les plus fortes sont retrouvées à Igli et Oued Aghlal (33,88 et 34,007 respectivement).

3-1-1-Analyse de la variance

Les résultats de l'analyse de la variance sont donnés dans le tableau 40. Les différences sont hautement significatives.

Tableau 38: Analyse de la variance des résultats de la teneur en sucres solubles en fonction de la station

	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	24670,82	1	24670,82	422,5158	0,000000
Station	3678,84	9	408,76	7,0005	0,000005
Error	2335,61	40	58,39		

3-1-2-Test de Newman et Keuls

Le test de Newman et Keuls regroupe les différentes stations (Tableau 41).

Quatre groupes sont à distinguer selon ce tableau :

Le premier groupe est constitué des deux stations d'altitude avec (Imlawlawen et Intounine) avec les teneurs les plus faibles.

Le deuxième groupe renferme les stations Infeg, In Salah, Tafoudet, Timboubeida,

Le troisième groupe est constitué d'une seule station à savoir Abadla

Le quatrième groupe est formé des stations à d'Igli et d'Oued Aghlal avec les teneurs les plus fortes.

Tableau 39 : Résultats du test de New Man et Keuls pour les teneurs en sucres solubles.

	Station	Co suc - Mean	1	2	3
2	Imalwlaw	10,65320	****		
4	Intounine	11,19980	****		
1	Infeg	17,01420	****	****	
10	InSaleh	17,31800	****	****	
3	Tafoudet	18,14740	****	****	
5	Timboube	19,74020	****	****	
8	Abadla	28,08100		****	****
6	Mtilih	32,08080			****
9	Igli	33,88820			****
7	Aghlal	34,00700			****

3-1-3-Corrélations avec l'altitude

Le tableau 40 présente la corrélation des teneurs des sucres solubles avec l'altitude des différentes stations.

Tableau 40: Corrélations des Teneurs en sucres solubles avec l'Altitude.

	Means	Std.Dev.	Co suc	Alti
Co suc	21,8494	11,8930	1,000000	-0,735831
Alti	971,8889	355,2820	-0,735831	1,000000

Nous constatons qu'il y a une forte corrélation négative entre les deux paramètres : plus l'altitude augmente plus la teneur en sucre diminue. Pour mieux distinguer le comportement des individus des deux régions, nous les avons analysées séparément. Les résultats sont donnés dans les tableaux 41 et 42 qui suivent.

Tableau 41 : Corrélations des Teneurs en sucres soluble avec l'altitude au niveau des stations du Hoggar.

	Means	Std.Dev.	Co Suc	Alti
Co Suc	13,718	5,3177	1,000000	-0,457920
Alti	1242,600	238,6172	-0,457920	1,000000

Tableau 42: Corrélations des Teneurs moyennes en sucres soluble au niveau des stations de Béchar avec l'Altitude.

	Means	Std.Dev.	Co Suc	Alti
Co suc	32,0143	9,80130	1,000000	0,088918
Alti	633,5000	58,55497	0,088918	1,000000

Nos remarquons qu'il existe une corrélation négative avec l'altitude au Hoggar mais que celle-ci est plus faible par rapport à celle retrouvée avec l'ensemble des stations. Cette corrélation ne s'observe plus dans la région de Béchar. La faiblesse du gradient altitudinal (la dénivelée n'est que d'une centaine mètres) au niveau de cette région explique les résultats obtenus.

3-2-Teneurs en aglycones flavones, Anthocyane et C-glycosylflavones des individus des différentes stations

Les teneurs en Aglycones flavones, Anthocyanes et C-glycosylflavones exprimées en mg/g de Matière Végétale Sèche des extraits des feuilles d'*Acacia tortilis* sont données dans le tableau 43.

Tableau 43: Les teneurs en Aglycones flavones, Anthocyanes et C-glycosylflavones (en mg/g de MVS) des extraits des feuilles d'*Acacia tortilis* au niveau des 09 stations étudiées.

Caractères stations	Aglycones flavones (mg/g) de M.V.S	Anthocyanes (mg/g) de M.V.S	C-glycosylflavones (mg/g) de M.V.S
Imlawlawen	2,54 ± 0,36	6,87 ± 0,87	3,75 ± 0,59
Infeg	10,69 ± 0,55	7,00 ± 0,61	9,44 ± 0,97
Tafoudet	10,64 ± 0,71	16,79 ± 1,24	12,25 ± 1,01
Timboubeida	8,00 ± 0,62	22,84 ± 2,25	11,50 ± 1,01
Oued Aghlal	5,87 ± 0,68	21,40 ± 1,42	12,55 ± 0,77
Igli	8,93 ± 0,48	15,75 ± 1,62	18,21 ± 1,28
M'tilih	9,11 ± 0,81	7,81 ± 1,55	11,42 ± 1,08
Abadla	5,46 ± 0,48	12,31 ± 2,28	11,48 ± 1,14
In Salah	10,60 ± 0,56	5,27 ± 1,006	16,240 ± 0,49

L'observation du tableau 43 permet de déduire les résultats suivants :

3-2-1-Aglycones flavones

Les stations de Infeg et Tafoudet ont enregistré les teneurs les plus élevées avec respectivement : 10,69; 10,64; (mg/g), contrairement à Imlawlawen qui présente la plus petite Teneur (2,54 ± 0,36 mg/g).

3-2-2-Anthocyanes

On observe les Teneurs les plus importantes à Timboubeida et Oued Aghlal qui présentent respectivement les teneurs suivantes : 22,84 et 21,40 (mg/g) ; contrairement à M'tilih et Imlawlawen présentent les plus basses teneurs qui sont de 7,81 et 6,87mg/g.

3-2-3- C-glycosylflavones

La teneur la plus importante est celle de Igli qui est de 18.21 (mg/g) de M.V.S. Imlawlawen présente la plus basse Teneur qui est de 3.75 ± 0.59 (mg/g) de M.V.S Imlawlawen est la station qui contient la plus basse Teneur des trois classes de flavonoïdes.

3-3-Analyse de la variance (ANOVA)

3-3-1-Anthocyanes

Les résultats de l'analyse de la variance à un seul facteur (station) de la teneur en Anthocyanes (mg/g) de M.V.S des feuilles d'*Acacia tortilis* sont mentionnés dans le tableau 44.

Tableau 44: Résultats de l'analyse de la variance de la teneur en Anthocyanes en fonction de la station.

	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	7491,552	1	7491,552	3200,828	0,00
Station	1749,333	8	218,667	93,427	0,00
Error	84,258	36	2,341		

Les valeurs obtenues montrent qu'il y a une différence très hautement significative entre les stations étudiées, avec une probabilité d'erreur égale à 0.

3-3-2-Test de NEWMAN-KEULS -seuil = 5% de la teneur en Anthocyanes

Le tableau 45 laisse apparaître 05 groupes homogènes.

Tableau 45: Résultat de test de NEWMAN-KEULS -seuil = 5% de la teneur en (mg/g) de M.V.S des feuilles d'*Acacia tortilis* (Les Stations du Hoggar sont en gras).

Station	ant - Mean	1	2	3	4
In Salah	5,27685	****			
Iml	6,87994	****			
Inf	7,01353	****			
M'te	7,81508	****			
Aba	12,32378				****
Igl	15,76375		****		
Taf	16,79908		****		
O Ag	21,40797			****	
Tim	22,84407			****	

Le premier groupe, se démarque seul composé de deux stations ;Timboubeida et Oued Aghlal avec les teneurs en Anthocyanes les plus élevées.

Le deuxième groupe représente deux stations, Tafoudet et Igli.

Le troisième groupe se démarque seul station, Abadla.

Le quatrième groupe représente par quatre stations : In Salah, M'tilih, Infeg et Imlawlawen avec les teneurs en anthocyanes les plus faibles.

3-3-3- Aglycone flavones

Les résultats de l'analyse de la variance à un seul facteur (station) de la teneur en Aglycones flavones (mg/g) de M.V.S des feuilles d'*Acacia tortilis* sont mentionnés dans le tableau 46:

Tableau 46: Résultats de l'analyse de la variance de la teneur en Aglycones flavones en fonction de la station.

	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	2871,858	1	2871,858	7856,055	0,00
Station	319,232	8	39,904	109,159	0,00
Error	13,160	36	0,366		

Les valeurs obtenues montrent qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes stations étudiées avec une probabilité d'erreur égale à 0.

Le test de NEWMAN et KEULS permet de classer les groupes homogènes.

3-3-4-Test de NEWMAN-KEULS -seuil = 5% de la teneur en Aglycones flavones (mg/g) de M.V.S

Les résultats de ce test sont donnés dans le tableau 47.

Tableau 47: Résultats du test de NEWMAN-KEULS -seuil = 5% de la teneur en Aglycone flavones .

	Station	agl - Mean	1	2	3	4	5
4	Iml	2,54630				****	
6	Aba	5,46296		****			
8	O Ag	5,87963		****			
3	Tim	8,00926					****
5	Igl	8,93519			****		
7	M'te	9,12037			****		
9	In Salah	10,60185	****				
2	Taf	10,64815	****				
1	Inf	10,69444	****				

Différents groupes peuvent être différenciés :

Le premier groupe : Il englobe trois stations; Infeg, Tafoudet et In Salah qui présentent les moyennes les plus élevées en Aglycone flavones.

Le deuxième groupe quant à lui est constitué de deux autres stations (Igli et M'tilih).

Le troisième groupe se démarque seul avec une station ; Timboubeida.

Le quatrième groupe englobe deux stations (Oued Aghlal et Abadla).

Le cinquième groupe (E) se démarque seul avec une seule station ; Imlawlawen avec la teneur la plus faible en Aglycone flavones.

3-3-3-C-glycosylflavones

Les résultats de l'analyse de la variance de la teneur en C-glycosylflavones (mg/g) de M.V.S des feuilles d'*Acacia tortilis* sont mentionnés dans le tableau 50.

Ce tableau montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les stations étudiées, avec une probabilité d'erreur égale à 0.

Tableau 48: Résultats de l'analyse de la variance de la teneur en C-glycosylflavones en fonction de la station.

	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	6395,465	1	6395,465	6938,089	0,00
Station	650,184	8	81,273	88,169	0,00
Error	33,184	36	0,922		

3-3-4-Test de NEWMAN-KEULS (-seuil = 5%) de la teneur en C-glycosylflavones (mg/g) de M.V.S des feuilles d'*Acacia tortilis*

Les résultats de ce test sont donnés dans le tableau ci-après.

Tableau 49: Résultats de test de NEWMAN-KEULS -seuil = 5% de la teneur de C-glycosylflavones.

Station	c-gly - Mean	1	2	3	4	5
Iml	3,75940		****			
Inf	9,84962			****		
M'te	11,42857	****				
Tim	11,50376	****				
Aba	11,50376	****				
Taf	12,25564	****				
O Ag	12,55639	****				
In Salah	16,24060				****	
Igl	18,19549					****

A partir de ce tableau, nous constatons l'existence de cinq groupes distincts :

Le premier groupe : Le premier groupe est constitué de la seule station d'Imlawlawen avec la plus faible Teneur (3,75 mg/g) suivi d'Infeg (9,85 mg/g). Le troisième groupe est formé des stations suivantes : M'telih, Timboubeida, Abadla, Tafoudet et Oued Aglal.

La Teneur en c-glycosylflavones varie de 11, 42 à 12, 55 mg/g. Ce groupe est suivi par In Salah (16,24) et Igli (18,19).

3-4-Test de corrélation entre les trois classes des flavonoïdes et entre celles-ci et l'altitude

Le tableau 50 montre la corrélation entre les variables (Aglycones flavones, Anthocyanes et C-glycosylflavones) et le paramètre altitudinal au niveau des stations d'étude (Béchar e Hoggar et In Salah)

Tableau 50:Corrélation des teneurs des trois classes de flavonoïdes avec l'altitude.

	Means	Std.Dev.	agl	ant	c-gly	alt
agl	7,9887	2,7485	1,000000	-0,071406	0,582586	-0,554238
ant	12,9027	6,4554	-0,071406	1,000000	0,235629	0,300409
c-gly	11,9215	3,9410	0,582586	0,235629	1,000000	-0,543833
alt	758,1111	436,5189	-0,554238	0,300409	-0,543833	1,000000

Nous remarquons que les aglycones flavones sont corrélés positivement avec les C-glycosyl falvones et négativement avec l'altitude. Les C-glycosylflavones sont corrélés négativement avec l'altitude. Les anthocyanes sont corrélés positivement avec l'altitude.

Quand on analyse les stations des deux régions séparément, les résultats deviennent très différents (tableaux ci-dessous)

Tableau 51 : Tableau des corrélations pour les stations du Hoggar.

	agl	ant	c-gly	alt
agl	1,000000	0,295382	0,849861	-0,681934
ant	0,295382	1,000000	0,675094	0,275996
c-gly	0,849861	0,675094	1,000000	-0,362871
alt	-0,681934	0,275996	-0,362871	1,000000

Nous remarquons que seuls les aglycones flavones sont corrélés (négativement) avec l'altitude.

Tableau 52: Tableau des corrélations pour les stations de Béchar.

	agl	ant	c-gly	Altit
agl	1,000000	-0,404207	0,410303	-0,049106
ant	-0,404207	1,000000	0,294888	0,107975
c-gly	0,410303	0,294888	1,000000	-0,556052
Altit	-0,049106	0,107975	-0,556052	1,000000

Au niveau des stations de Béchar, ce sont les C-glycosylflavones qui sont corrélés négativement avec l'altitude.

3-5-Corrélation entre les classes de flavonoïdes avec la Teneur de sucre

Le tableau 53 nous donne les résultats du test de corrélation entre les teneurs en sucres solubles et les teneurs des trois classes de flavonoïdes.

Tableau 53 : Corrélation entre les teneurs en sucres solubles et les classes de flavonoïdes.

	Means	Std.Dev.	Co Sucre	Aglycone	Anthocy	C-gly
Co Sucre	24,37038	12,08730	1,000000	0,090849	0,005812	0,499270
Aglycone	7,98868	2,74852	0,090849	1,000000	-0,071406	0,582586
Anthocy	12,90267	6,45543	0,005812	-0,071406	1,000000	0,235629
C-glyco	11,92147	3,94095	0,499270	0,582586	0,235629	1,000000

Nous remarquons que les teneurs en aglycone flavones et en C-glycosylflavones sont corrélés positivement avec les teneurs en sucres solubles, mais pas les teneurs en Anthocyanes.

4-Discussion des résultats

4-1 -Les sucres solubles

Nous remarquons l'individualisation des stations de Béchar par rapport à celles du Hoggar avec des Teneurs de sucres plus élevées. Igli et Oued Aghlal présentent une teneur de sucres proche du triple de celles de Imlawlawen et de Intounine (Tableau 39). La station de Abadla présente la Teneur de sucre la moins élevée par rapport aux autres stations de Béchar. C'est aussi l'unique station qui présente une certaine régénération, indice d'une bonne fertilité. Les stations du Hoggar se partagent en deux : Les stations de haute altitude (Intounine et Imlawlawen) avec des altitudes respectives de 1440 et 1550 m, présentent les teneurs les moins élevées (11,20mg/g et 10,65mg/g respectivement). La station à plus basse altitude

(Infeg) et les deux stations à altitude intermédiaires (Tafoudet et Timboubeida) présentent des teneurs similaires.

Le comportement des arbres de la station de In Salah peut paraître singulier. Cette station se caractérise par l'altitude la moins élevée (environ 300 m), des précipitations très faibles (15 mm en moyenne par an) et de fortes températures. Cependant, la teneur moyenne en sucres au niveau de cette station s'insère dans les moyennes des résultats des stations du Hoggar (à l'exception des stations d'altitude). Elle est plus faible que celle des stations de Béchar.

Les teneurs en sucres solubles sont corrélées négativement avec l'altitude (-0,73). Pour les stations du Hoggar, cette corrélation n'est que de -0,458.

Elle n'est pas significative pour les stations de Béchar. Il faut signaler que la dénivelée pour ces dernières n'est que d'une centaine de mètres, autrement dit, ces stations sont à des altitudes similaires.

La teneur foliaire en sucres solubles dépend du climat régional et des facteurs stationnels. Une sécheresse édaphique conjuguée avec de hautes températures fait augmenter la teneur en sucres solubles foliaires. Cette accumulation des sucres solubles peut être attribuée en premier lieu à une hydrolyse de l'amidon (Grieu et al., 1988 ; Zhang et Archbold, 1993).

En effet, pour maintenir la balance de la force osmotique après la chute du potentiel hydrique causé par le stress hydrique, les plantes accumulent un certain nombre d'osmotocums dont les sucres solubles, qui en association avec d'autres paramètres adaptatifs tels que la réduction de la transpiration par la fermeture des stomates et la réduction de la surface foliaire, permettent de garder la turgescence et le volume cytotonique aussi élevé que possible (Xu et al., 2007 ; Gurrieri et al., 2020, Shao et al., 2022).

Cette augmentation de sucres solubles foliaires a été retrouvée par d'autres auteurs sur diverses espèces.

L'étude menée chez les jeunes plants d'*A. tortilis* par Kebbas et al., (2015) montre une accumulation de sucres solubles chez les plants stressés et suggèrent que cette accumulation est impliquée dans l'osmorégulation et la protection des tissus, notamment l'appareil photosynthétique. Le même type de résultats a été retrouvés par Oukara et al., (2017) chez le Pistachier de l'Atlas, par Berka et Aid (2009) chez l'arganier et par Al Bouchi et al. chez *Acacia cyanophylla* (1997, 2001). Tous ces auteurs ont travaillé sur de jeunes individus (de quelques mois) en conditions contrôlées.

L'individualisation des stations d'altitude (Intounine et Imlawlawen) avec de faibles teneurs de sucre soluble, la corrélation négative des Teneurs de sucres solubles avec l'altitude peut s'expliquer par des précipitations relativement élevées et des températures relativement plus basses par rapport aux autres stations. Cependant, des facteurs de compensations, notamment la présence d'un inféroflux accessible aux racines peuvent agir. Ce qui pourrait expliquer les résultats obtenus à Infeg et surtout à In Salah, similaires à ceux de Tafoudet et Timboubeida.

D'ailleurs, il nous a été rapporté la présence d'un point d'eau qui servait aux caravanes de passage pas très loin de notre zone d'échantillonnage à In Salah. Do et al (1998, 2003, 2005), ont montré que le potentiel hydrique et la conductance stomatique ne chutent pas de façon significative chez *Acacia tortilis* au Sénégal, durant la saison sèche. Cela serait dû à l'enracinement pivotant et très profond que présente cette espèce (Do et al., 2003). Des racines actives ont été retrouvées à 25 mètres de profondeur par ces auteurs. Cette caractéristique pourrait expliquer les résultats trouvés dans les stations de basse altitude, notamment In Salah.

Par rapport au Hoggar, les stations de Béchar présentent des teneurs en sucre solubles plus élevées que celles de Tamanrasset. Les températures plus hautes à Béchar peuvent expliquer ces résultats ainsi que les conditions stationnelles. Iqli, la station la plus au sud et apparaissant comme la plus sèche (les arbres se maintenant sur un plateau rocailleux, figure 19, plus bas) présente la teneur la plus élevée en sucres solubles alors que Abadla certainement la plus fertile (la seule où nous avons observé une régénération d'*A. tortilis*) présente les teneurs les moins élevées.

4-2- Classes des flavonoïdes

Les teneurs en flavonoïdes foliaires varient selon de nombreux paramètres biotiques et abiotiques (Pirie et al, 2013 ; Petrusa et al., 2013). Parmi les facteurs biotiques, on peut citer l'herbivorie, les attaques pathogènes (Pourcel, 2007).

Le stress abiotique fait globalement augmenter les quantités des flavonoïdes foliaires, que ce soit le stress thermique (Olsen et al.,2009), le stress hydrique (Sangatarash,2009, Laoué et al., 2022), le stress salin (Agati,2011) ou les rayonnements ultraviolet (Chalker-Scott, 1999 ; Tattini, 2005 ; Sangatarash et al, 2009; Redha et al., 2012 ; Agati et al., 2012 ; Lui et al,2012).

L'âge de la plante peut aussi intervenir. Dans la revue bibliographique qu'ils ont réalisée, Laoué et al., (2022) signalent l'augmentation des flavonoïdes comme stratégie de défense face à la sécheresse chez *Pinus pinaster* et *Quercus ilex*. Les flavonoïdes agissent aussi comme photo protecteurs face aux rayonnements ultraviolets, dans la communication avec les insectes et les espèces microbiennes, ils agissent contre l'herbivorie et les attaques pathogènes. La production d'anthocyanes, d'isoflavonoïdes, d'aglycones augmentent avec l'intensité des rayonnements UV (Falcone et al., 2012).

Ces molécules luttent contre les ROS (reactive oxygen species) induits par ces différents stress Shrama et al., (2019). Donc, les flavonoïdes sont sensibles aussi bien aux facteurs abiotiques (lumière, température, sécheresse édaphique, salinité et présence de métaux lourds) qu'aux facteurs biotiques (herbivorie et attaques pathogènes); d'où la difficulté à interpréter la variabilité des quantités de flavonoïdes foliaires en fonction de la station. D'ailleurs, même l'horaire d'échantillonnage fait évoluer les quantités de flavonoïdes comme cela a été démontré par Falcone et al., (2012) et Gori (2020). Cela peut être un facteur explicatif de la variation des quantités d'anthocyane dans notre étude. La variation de cette classe de flavonoïde correspond aux horaires d'échantillonnage. In Salah et Mtilih ont été échantillonnées dans la matinée, bien avant le zénith, Imlawlawen et Infeg tard dans l'après-midi. Ce sont les stations qui présentent les teneurs les plus faibles en Anthocyanes, une classe de flavonoïdes très sensible à la lumière (Laoué et al., 2022). D'ailleurs elle est positivement corrélée avec l'altitude.

A cela s'ajoute un échantillonnage aléatoire qui peut faire varier ces quantités en fonction de l'exposition des feuilles à la lumière.

En plus des anthocyanes, nos résultats montrent une grande variabilité des aglycones flavones et des C-glycosylflavones en fonction de la station (voir tableaux 49 et 51). Leurs teneurs sont corrélées négativement avec l'altitude (voir tableau 52) et positivement avec les teneurs en sucres solubles (voir tableau 55). Cela dénote de l'influence des paramètres stationnels comme cité par les auteurs cités ci-dessus. In Salah dont la teneur en sucre est relativement élevée, présente les quantités les plus élevées à cause probablement d'un stress hydrique aggravé par un stress thermique dû aux hautes températures, pouvant dépasser les 50 degrés Celsius.

Au niveau du Hoggar, la station d'implawlawen, la plus haute, présente les quantités d'aglycones flavones et de C glycosides les plus faibles. Cette teneur pour les C glycosides (3,75) est 3,26 fois moindre que celle de Tafoudet (12,25) et 4,85 fois plus que celle d'Igli

(18,19). Pour les aglycones flavones, les stations de Tafoudet et d'Infeg se classent avec In Salah avec la plus forte Teneur (10,60, 10,649, 10,70 respectivement) (voir tableau 49). Au niveau de Béchar, la station d'Igli, la plus au sud et paraissant être la plus sèche, a tendance à accumuler les flavonoïdes. Il en est de même de la station Oued Aghlal qui présente des caractéristiques différentes des autres stations. Elle se caractérise par des individus assez jeunes et surtout une compétition avec les individus de *Phoenix dactylifera* qui occupent le cœur de l'oued, rejetant les Acacia vers les abords rocailloux de celui-ci. Le peuplement de M'Tilih est localisé sur un plateau paraissant peu fertile. Les facteurs abiotiques (température, sécheresse édaphique) peuvent expliquer les résultats retrouvés à Igli et à Imlawlawen.

Cette dernière station bénéficierait de températures et d'une humidité relativement favorables. Nous avons observé sur les bordures du cours d'eau traversant cette dernière station la présence de *Nerium oleander*, une espèce indicatrice d'humidité (voir photos plus bas). Les résultats de Tafoudet et d'Infeg peuvent être négativement influencés par l'herbivorie caprine et cameline (voir Figure 20). Nous avons en effet observé la présence d'un troupeau de caprins à Tafoudet et de camelins à Infeg. Tafoudet apparaît comme une station fertile, au vu de la taille des arbres et de la présence d'un jardin particulier au voisinage de la station (voir photo). Infeg se caractérise aussi par la présence d'espèces herbacées pérennes et d'individus de *Tamarix sp* au centre de l'oued (voir photos). L'inféroflux ne doit pas être très profond. Sans l'herbivorie, les résultats auraient été différents.

Au niveau des stations de Béchar et de la station de In salah, nous n'avons pas observé d'herbivorie.

Nos résultats, notamment ceux des stations les plus sèches diffèrent de ceux retrouvés chez les espèces méditerranéennes (voir à ce sujet Falcone et al, 2019 et Chehrit-Hacid, 2016 sur *Pistacia lentiscus*). L'environnement abiotique fortement différent de ces espèces expliquerait ces différences.



Nerium oleander à la station d'Imlawlawen



Jardin d'un particulier à Tafoudet



Troupeau de caprins à Tafoudet



Troupeau de camelins à Infeg



Espèces herbacées à l'Oued Infeg



Tamarix sp au milieu de l'oued à Infeg



Station de M'Tilih



Individu d'*A. tortilis* var *raddiana* à Oued Aghlal



Station d'Igli



Station de Abadla

Figure 19 : Photos illustrant le biotope de nos stations d'études.

Conclusion

En résumé, il apparaît que les facteurs abiotiques (sécheresse édaphique et températures) font évoluer les quantités des sucres solubles et des métabolites secondaires que sont les flavonoïdes. Ces derniers sont aussi sensibles à l'herbivorie. Le paramètre géomorphologique doit aussi être pris en considération pour expliquer le comportement des individus des stations de basses altitudes. Il paraît primordial puisque les peuplements sont localisés sur les bordures des lits d'oued et les zones d'épandages (Ozenda, 1991). Les peuplements situés en basses altitudes peuvent compenser les faiblesses des précipitations par un inféroflux de faible profondeur, alimenté par un bassin versant ayant une superficie considérable.

DISCUSSION GENERALE

De l'exploration bibliographique ainsi que de nos propres observations sur le terrain, il ressort que l'*A. tortilis* var *raddiana* occupe des stations où règnent des facteurs écologiques à forte variabilité, que cela soit au niveau édaphique que climatique. Son habitat préférentiel reste les berges des oueds et les zones d'épandage. Le climat général se caractérise par des précipitations annuelles faibles mais variables (120 mm à Béni-Ounif et 15 mm à In Salah), une forte irrégularité et une évaporation intense.

Les températures présentent des pics importants en été et une forte amplitude saisonnière et journalière. Le sol de ses stations est généralement squelettique, faible en matière organique. C'est dans ce cadre physique fort contraignant qu'a évolué cette espèce d'origine tropicale depuis le dessèchement du Sahara, en déployant de fortes capacités adaptatives.

▪ **Germination**

La germination constitue le premier stade développement d'une plante. Les conditions du milieu influent sur la réussite de ce processus très délicat. Nos résultats montrent que les graines d'*A.tortilis* sont de types orthodoxe avec une faible teneur en eau (6%). Cette caractéristique leur permet une longue conservation puis que leur capacité germinative n'est pas impactée par une conservation d'une année à -4°C (d'après nos résultats) et à une température de -18°C pendant deux années selon d'autres auteurs (Danthu et al., (1996).

Leur germination nécessite une scarification chimique ou mécanique pour lever l'inhibition tégumentaire (Agraw et al., 1999 ; Danthu et al., 1996). Dans notre étude, le traitement à l'acide sulfurique (96%) pendant trente minutes s'avère très efficace. La germination des graines de cette espèce est rapide qu'elles germent en majorité dans les trois jours qui suivent leur imbibition. Des résultats analogues ont été retrouvés par d'autres auteurs (Jouadi et al., 2010 ; Jouadi et al., 2013).

Le caractère orthodoxe de ces graines, l'inhibition tégumentaire et la cinétique de germination qu'elles présentent sont des caractères adaptatifs importants à un contexte climatique très aride et à des précipitations très irrégulières. Face aux contraintes abiotiques testées, cette espèce tolère une amplitude thermique élevée (de 15° à 40°) et présente une capacité germinative supérieure ou égale à 80%. Son préférendum thermique est autour de 30 ° C. Elle peut germer sous des contraintes salines (jusqu'à 21 g/L) et hydrique (-6,26 bars équivalent à une concentration de PEG de 240 g/L) très fortes. Ces résultats sont globalement en accord avec ce qui est retrouvé dans la littérature. De ce qui précède, nous pouvons conclure que la germination

de cette espèce est bien adaptée à son environnement abiotique, et peut favoriser sa dynamique par l'occupation d'autres biotopes suite aux changements climatiques en cours.

▪ **Variabilité des caractères stomatiques et morphologiques foliaires**

Les dimensions foliaires, notamment, la longueur et la largeur de la feuille, la hauteur du limbe, le nombre de pennes et de folioles varient en fonction de la station. Deux stations de Bechar, à savoir Béni-Ounif et Abadla, présentent les feuilles aux plus grandes dimensions, avec le nombre le plus élevé de pennes et de folioles alors que la pluviométrie est presque quatre fois supérieure à Béni-Ounif par rapport à Abadla (120 mm pour Béni-Ounif et 32 mm pour Abadla pour Béni-Ounif) (Barry et Cells 1974). Cela signifie que d'autres paramètres stationnels comme la profondeur de l'inféroflux et la fertilité de la station interviennent. Cela se vérifie aussi en comparant les résultats de Abadla avec ceux d'Imlawlawen qui est à plus de 1550 mètres d'altitude avec une pluviométrie certainement supérieure à 50 mm (la pluviométrie annuelle de Tamanrasset à 1400 m d'altitude est d'environ 50mm).

De même, les stations du Hoggar présentent des résultats assez proches concernant les dimensions foliaires (Longueur, Largeur foliaires et Hauteur du limbe) alors qu'elles présentent un gradient altitudinal bien marqué. Il y a une compensation des facteurs qu'il ne faut pas négliger, la faible pluviométrie au niveau de la station est compensée par un inféroflux accessible aux racines de cette espèce. La nature du sol est un autre paramètre à prendre en considération.

Il existe une corrélation positive entre les dimensions foliaires et l'altitude contrairement aux études réalisées sous climat tempéré (Brisson, 2011) Au vu de la sécheresse intense et des températures élevées, l'altitude agit comme modérateur de ces paramètres climatiques.

En conclusion, cette espèce présente une plasticité morphologique foliaire en fonction des conditions stationnelles. La prise en compte du seul paramètre pluviométrique est insuffisant pour expliquer ces résultats. En ajustant sa surface foliaire en fonction des facteurs stationnels, elle s'adapte à la xéricité de son habitat.

Concernant les caractères stomatiques, la variabilité stationnelle n'est pas très nette dans les deux régions d'études.

Les stations de Bechar, présentent des longueurs (à l'exception de Abadla), des largeurs, des densités stomatiques (à l'exception de Béni-Ounif) similaires.

Les stations du Hoggar présentent des longueurs (à l'exception d'Infeg), des densités stomatiques (à l'exception d'Imlawlawen) et des index stomatiques très proches.

Le Background génétique de cette espèce peut expliquer la proximité de ces résultats. Le contrôle génétique des dimensions et de la densité stomatique a été signalé par plusieurs auteurs (Roussel et al., 2009 ; Ligia et al., 2019). Cependant, les analyses statistiques et notamment l'analyse en composantes principales, met en lumière une différence très nette entre les deux régions d'études. La densité et les dimensions stomatiques sont plus importantes dans les stations du Hoggar comparativement à la région de Bechar. Les facteurs orographiques et l'influence du front tropical sur le Hoggar peuvent expliquer ces résultats. Elles sont proches de celles retrouvées au Sénégal par Konaté (2009).

Dans ce cas, l'hypothèse d'une différenciation génétique entre les populations du Hoggar et de Bechar se pose et de nouveaux horizons d'investigations s'ouvrent.

▪ **Evolution des teneurs en sucres solubles et des trois classes de flavonoïdes**

Globalement, les stations de Bechar présentent une teneur en sucres plus élevée que celles du Hoggar. Pour les classes de flavonoïdes, les résultats sont plus mitigés.

Les deux stations d'altitude du Hoggar (Imlawlawen et Intounine) présentent les teneurs les plus faibles en sucres solubles et en flavonoïdes (pour Imlawlawen) par rapport aux autres stations. Les stations de moyennes altitude (Tafaoudet et Timboubeida) et la station de basse altitude (Infeg) sont dans le même groupe. Au vu du gradient altitudinal, des phénomènes de compensations sont à l'œuvre. Infeg compense le manque de précipitations par un bassin versant plus large.

Concernant les flavonoïdes, la prise en compte de l'herbivorie peut expliquer les résultats de Tafoudet, une station qui apparait très fertile à l'observateur.

Au niveau de Bechar, c'est la station de Abadla qui présente la teneur la plus faible en sucres solubles. C'est aussi la station qui présente les dimensions foliaires les plus grandes. En plus d'une fertilité apparente, Il faut signaler la présence d'un barrage hydraulique dans cette région qui peut influencer, même d'une façon modérée, les paramètres climatiques au niveau de Abadla (température, humidité atmosphérique).

La station de In Salah est certainement la plus xérique de toutes nos stations (températures maximales les plus élevées, la pluviométrie la plus faible, forte continentalité, ensoleillement intense). Il était attendu qu'elle présente le taux de sucres solubles le plus élevé. Ce qui n'est pas le cas.

Cependant elle présente des taux élevés en aglycones flavones et en C-glycosylflavones. Au vu de des différentes fonctions des flavonoïdes chez les plantes (Laoué et al., 2022), cette forte concentration peut compléter l'action des sucres solubles dans l'adaptation de cette espèce à un habitat très contraignant.

Pour résumer, la forte variabilité de la teneur en sucres solubles et en flavonoïdes en fonction de la station, suggère l'importance du potentiel adaptatif de cette espèce. Son enracinement profond et puissant (Do et al., 2003) lui permet d'exploiter les eaux souterraines dans les stations à faibles pluviométrie mais dont les oueds bénéficient d'un grand bassin versant.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans ce travail, nous avons tenté d'expliquer certains aspects adaptatifs de cette espèce ; aspects lui ayant permis de présenter une large répartition dans le Sahara algérien comparativement aux autres espèces d'*Acacia* répertoriées en Algérie. Elle fait face à des contraintes abiotiques phénoménales. Pour cela, nous avons échantillonné dans deux régions représentatives de cette répartition et choisies des stations présentant des facteurs écologiques variables. Nous nous sommes appuyés pour l'interprétation de nos résultats sur les données climatiques (partielles) et nos observations de terrain ; ce qui n'est pas suffisant.

Il ressort de nos résultats que cette espèce peut germer facilement face aux contraintes de son habitat, ajuste sa morphologie foliaire et son métabolisme en fonction des facteurs des stations qu'elle occupe. L'étude stomatique a révélé une différenciation régionale.

Perspectives :

Des perspectives de recherches se dégagent pour approfondir et compléter ce travail. Nous pensons qu'il est inutile de reprendre des études sur la germination de cette espèce au vu de la quantité des travaux qui lui ont été consacrée. Cependant le stade semi ou plantule a été très peu étudié, surtout en Algérie. Or la pérennité des peuplements dépend de ce stade de développement de la plante. Par conséquent, pour mieux comprendre les mécanismes adaptatifs de cette espèce face aux différents stress de son environnement, il est indispensable de suivre un certain nombre de paramètres écophysologiques et morphologiques non seulement sur les individus adultes mais aussi chez les jeunes individus, dans son milieu naturel et en conditions contrôlées. Les paramètres suivants doivent faire l'objet d'un suivi :

- Le suivi saisonnier du potentiel hydrique foliaire, de la conductance stomatique et de l'assimilation photosynthétique. Cela devrait se faire *in situ* et *ex situ* en serre d'expérimentation.
- Des études morphologiques en fonction des contraintes abiotiques notamment le type d'enracinement, le rapport partie souterraines sur parties aériennes chez les semis, aussi bien *in situ* qu'en *ex situ*.
- La poursuite de l'étude du métabolisme primaire et secondaire en rajoutant d'autres groupes de métabolites comme les protéines, certains acides aminés (proline et cystéine), les polyphénols totaux et les terpènes. Cela devrait aussi se réaliser en conditions contrôlées pour faciliter l'interprétation de résultats.

- Une étude génétique des populations de Bechar, du Hoggar et si cela est possible de Bouhedma (Tunisie) est à préconiser. Est-ce que les différences de bioclimat n'ont pas induit des différenciations génétiques chez cette espèce ?

-Pour pouvoir s'adapter à la sécheresse édaphique, à la pauvreté en éléments minéraux du sol, cette espèce a eu certainement recours à la coopération avec des groupes de micro-organismes, comme les champignons mycorhiziens. Or, cela n'a pas été étudié en Algérie.

- Multiplier les études sur toute son aire de répartition en Algérie et au Maghreb.

Enfin, nous ne pouvons que recommander la protection de cette espèce au vu des qualités qu'elle présente et des changements climatiques en cours. Elle peut être un recours pour la restauration des espaces désertiques dégradés et la réhabilitation des terres en milieu aride.

Références bibliographiques

- Abulfatih, H. A. (1995). Seed germination in *Acacia* species and their relation to altitudinal gradient in south-western Saudi Arabia. *Journal of Arid environments*, 31(2), 171-178.
- Agati, G., Biricolli, S., Guidi, L., Ferrini, F., Fini, A., & Tattini, M. (2011). The biosynthesis of flavonoids is enhanced similarly by UV radiation and root zone salinity in *L. vulgare* leaves. *Journal of plant physiology*, 168(3), 204-212.
- Akbal, A., Hami M. (1997). Contribution à l'étude écobotanique et phylitique des *Acacia* du Hoggar (Sahara central). Mémoire d'ingénieur, UMMTO, Algeria.
- Albouchi, A., Ghrir, R., & El Aouni, M. H. (1997). Endurcissement à la sécheresse et accumulation de glucides solubles et d'acides aminés libres dans les phyllodes d'*Acacia cyanophylla* Lindl. In *Annales des sciences forestières*, 54 (2), 155-168).
- Albouchi, A., Sebeï, H., Mezni, M. Y., & El Aouni, M. H. (2001). Influence de la durée d'acclimatation sur l'endurcissement à la sécheresse d'*Acacia cyanophylla* Lindl. *Annals of forest science*, 58(5), 519-528.
- Ait Said, S. (2011). Stratégies adaptatives deux espèces de *Pistacia* (*Pistacia lentiscus* L et *Pistacia atlantica* Desf) aux conditions d'altitude, de salinité et d'aridité : Approches morpho- anatomiques, phytochimiques et écophysologiques. Doctoral dissertation, UMMTO, Algeria.
- Ait Slimane, S. (2004). Architectures racinaires et adaptatives des *Pistacia atlantica* .Def ssp *atlantica* à la sécheresse : cas de population de Beni ouanif (wilaya de Bechar). Mémoire d'ingénieur, UMMTO, Algeria.
- Andersen, G. L., & Krzywinski, K. (2007) a. Longevity and growth of *Acacia tortilis*; insights from 14 C content and anatomy of wood. *BMC ecology*, 7, 1-14.
- Andersen, G. L., & Krzywinski, K. (2007) b. Mortality, recruitment and change of desert tree populations in a hyper-arid environment. *PloS one*, 2(2), e208.
- Argaw, M., Teketay, D., & Olsson, M. (1999). Soil seed flora, germination and regeneration pattern of woody species in an *Acacia* woodland of the Rift Valley in Ethiopia. *Journal of Arid Environments*, 43(4), 411-435
- Ba, A.T. (2010). Grande muraille verte: choix des espèces végétales. IN: Le projet majeur Africain de la grande muraille verte: concepts et mise en œuvre Marseille: IRD Editions, Paris.
- Barkoudah, Y., & Van Der Sar, D. (1982). L'*Acacia raddiana* dans la région de Béni-Abbés (Algérie). *Bull Soc Hist Nat Afr du Nord*, 70(1), 79-121.
- Barry, J. P., Celles, J. C., & Musso, J. (1973). Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques au Sahara algérien (entre 0° et 6° de longitude est). *Naturalia monspeliensia*, série botanique, 23/24, 5-48.
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (1998). Seeds: ecology, biogeography, and, evolution of dormancy and germination. Elsevier, San Diego, CA.

- Belhadj, S. (2007). Etude eco-botanique du *Pistacia atlantica* DESF.(*anacardiaceae*) en Algérie, préalable à la conservation des ressources génétiques de l'espèce et à sa valorisation. Doctoral dissertation, UMMTO, Algeria).
- Ben Zetta, H., Amrani, S., & Nacer, A. J. A. E. (2017). Effects of pre-germination treatments, salt and water stresses on germination of *Acacia ehrenbergiana* Hayne and *Acacia seyal* Del.(Mimosoideae): two Algerian native species. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(4), 355-368.
- Benghanem, A. N., Boucheneb, N., Benhouhou, S., O'Hanrahan, B., & Médail, F. (2016). *Acacia tortilis* var. *raddiana* communities in the northwestern Algerian Sahara. *Botany Letters*, 163(3), 289-306
- Benghanem, A. N. (2020). Les formations à *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne var. *raddiana* (Savi) Brenan dans le Sahara algérien: chorologie et syntaxonomie. Doctoral dissertation, USTHB, Algeria.
- Bensaid, S. (1985). _ Contribution à la connaissance des espèces sahariennes: germination et croissance de l'*Acacia raddiana* SAVI. Thèse de Magister. USTHB, Algeria.
- Bensaid, S., Lynda, A. M., & Badria, E. (1996). Évolution spatio-temporelle des peuplements d'*Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne *raddiana* (Savi) Brenan dans les monts Ougarta (Sahara nord-occidental). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 7(3), 173-178
- Berka, S., & Aid, F. (2009). Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 20(3), 296-302.
- Bertolino, L. T., Caine, R. S., & Gray, J. E. (2019). Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. *Frontiers in plant science*, 10, 225.
- Boucheneb, N.(1999). Les premières données sur l'étude de la végétation de la région du Hoggar. Annales de la recherche forestière en Algérie Edition INRF, Alger.
- Boucheneb, N. (2000). Contribution à l'étude de la végétation de la Région Tamanrasset (AHAGGAR). Magister thesis, USTHB, Algeria.
- Boucheneb, N., & Benhouhou, S. S. (2012). Plant communities in the Tamanrasset region, Ahaggar, Algeria. *Ecologia mediterranea*, 38(2), 67-80.
- Bresson, C. (2011). Variations altitudinales de traits fonctionnels foliaires chez les arbres: déterminismes environnemental et génétique. Doctoral dissertation, Bordeaux 1, France.
- Casson, S., & Gray, J. E. (2008). Influence of environmental factors on stomatal development. *New phytologist*, 178(1), 9-23
- Chalker-Scott, L. (1999). Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. *Photochemistry and photobiology*, 70(1), 1-9
- Cerning, B. (1975). A note on sugar determination by the anthrone method. *Cereal Chemistry*, 52 (6), 857-860.

- C. S. F. D. (2004). Impact des pratiques humaines sur la conservation et la gestion in situ des ressources génétiques forestières: cas d'*Acacia tortilis* et de *Balanites aegyptiaca*. *Projet CFSD 57. Comité Scientifique Français de la Désertification, Agropolis, Montpellier et CIRAD-forêt Montpellier, 68 p*
- Chehrit-Hacid, F. (2016). Etude de la variabilité biochimique, physiologique et évaluation des activités biologiques des polyphénols de deux espèces du genre *Pistacia* (*P. lentiscus L. et P. atlantica* Desf.). Doctoral dissertation, UMMTO, Algeria.
- Chen, L. Q., Li, C. S., Chaloner, W. G., Beerling, D. J., Sun, Q. G., Collinson, M. E., & Mitchell, P. L. (2001). Assessing the potential for the stomatal characters of extant and fossil Ginkgo leaves to signal atmospheric CO₂ change. *American Journal of Botany*, 88(7), 1309-1315
- Chenoune, K. (2005). La flore et la végétation du Hoggar. *Bois & Forêts Des Tropiques*, 284, 79-83
- Choinski Jr, J. S., & Tuohy, J. M. (1991). Effect of water potential and temperature on the germination of four species of African savanna trees. *Annals of Botany*, 68(3), 227-233
- Danthu, P., Roussel, J., Dia, M., & Sarr, A. (1992). Effect of different pretreatments on the germination of *Acacia senegal* seeds. *Seed science and technology*, 20(1), 111-117
- Danthu, P., Roussel, J., & Neffati, M. (2003). La graine et la germination d'*Acacia raddiana*. *Un arbre au désert Acacia raddiana. IRD, Paris*, 265-283
- Grouzis, M. (Ed.). (2003). *Un arbre au désert: Acacia raddiana*. IRD Editions, Paris.
- De Lajudie, P., Dupuy, N., Ndiaye, A., Neyra, M., Boivin, C., Gillis, M., & Dreyfus, B. (1998). *Acacia*: nodulation et rhizobiums associés. *L'acacia au Sénégal*, 359-375.
- De Lajudie, P., Bâ, S., N'diaye, A., Lorquin, J., Neyra, M., Willems, A., ... & Boivin, C. (2003). Diversité taxonomique et propriétés symbiotiques de rhizobia nodulant *Acacia raddiana* au nord et au sud du Sahara. In *Un arbre au désert, Acacia raddiana* (pp. 145-170). IRD Editions, Paris.
- Diagne, O., & Ingleby, K. (2003). Ecologie des champignons mycorhiziens arbusculaires infectant *Acacia raddiana*. *Un arbre au désert*, 205-228.
- Diouf, M., & Zaafouri, M. S. (2003). Phénologie comparée d'*Acacia raddiana* au nord et au sud du Sahara. *Grouzis M., Le Floch E. (éds). Un arbre au désert: Acacia raddiana. IRD éditions, Paris*, 103-118
- Diouf, M., Neyra, M., & Grouzis, M. (2003). Phénologie de la nodulation d'*Acacia raddiana* en milieu naturel. *Un Arbre au Desert, Acacia raddiana. IRD Editions, Paris*, 171-182.
- Do, F., & Rocheteau, A. (2003). Cycle annuel de transpiration d'*Acacia raddiana* par la mesure des flux de sève brute (Nord-Sénégal). *Un arbre au désert. Acacia raddiana. Paris: IRD éditions*.

- Do, F., Rocheteau, A., Diagne, A. L., & Grouzis, M. (1998). Flux de sève et consommation en eau d'*Acacia tortilis* dans le Nord Ferlo. *L'Acacia au Sénégal*. In : Campa, C., Grignon, C., Gueye, M., Hamon, S.(eds.), 63-80.
- Do, F. C., Goudiaby, V. A., Gimenez, O., Diagne, A. L., Diouf, M., Rocheteau, A., & Akpo, L. E. (2005). Environmental influence on canopy phenology in the dry tropics. *Forest Ecology and Management*, 215(1-3), 319-328
- Dommergues, Y., Duhoux, E., & Diem, H. G. (1999). Les arbres fixateurs d'azote: caractéristiques fondamentales et rôle dans l'aménagement des écosystèmes méditerranéens et tropicaux. *Editions espaces*, 34, 499.
- Ducouso, M., & Thoen, D. (1991). Les types mycorhiziens des *Acacieae*. Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. *Groupe d'étude de l'arbre*. Paris, 1-8.
- Dutil, P. (1971). Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Doctoral dissertation, Sc. nat.: Strasbourg, France.
- Fabre, J. (2005). Géologie du Sahara occidental et central. Tervuren. African Geosciences Collection, 108. Tervuren. Musée Royal de l'Afrique centrale. 572 p.
- Falcone Ferreyra, M. L., Rius, S. P., & Casati, P. (2012). Flavonoids: biosynthesis, biological functions, and biotechnological applications. *Frontiers in plant science*, 3, 222.
- Flores, J., Pérez-Sánchez, R. M., & Jurado, E. (2017). The combined effect of water stress and temperature on seed germination of Chihuahuan Desert species. *Journal of Arid Environments*, 146, 95-98
- Girod, M. (1971). Le massif volcanique de l'Atakor (Hoggar, Sahara algérien): étude pétrographique, structurale et volcanologique. Editions du CNRS, Paris.
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, (1), F1-2.
- Gebrekirostos, A., Worbes, M., Teketay, D., Fetene, M., & Mitlöhner, R. (2009). Stable carbon isotope ratios in tree rings of co-occurring species from semi-arid tropics in Africa: patterns and climatic signals. *Global and Planetary Change*, 66(3-4), 253-260.
- Gori, A., Nascimento, L. B., Ferrini, F., Centritto, M., & Brunetti, C. (2020). Seasonal and diurnal variation in leaf phenolics of three medicinal mediterranean wild species: what is the best harvesting moment to obtain the richest and the most antioxidant extracts?. *Molecules*, 25(4), 956.
- Grieu, P., Aussenac, G., & Larher, F. (1988). Sécheresse édaphique et concentrations en quelques solutés organiques des tissus foliaire et racinaire de trois espèces de conifères: *Cedrus atlantica* Manetti, *Pseudotsuga macrocarpa* (Torr) Mayr, *Pseudotsu gamenziesii* (Mirb.) Franco. In *Annales des sciences forestières*, 45 (4), 311-322.
- Grouzis, M., & Floc'h, E. L. (2003). A tree of the desert. *Acacia raddiana*. IRD Editions, Paris

- Grouzis, M., Diouf, M., BERGER, A., & ROCHETEAU, A. (1998). Fonctionnement hydrique et réponses des ligneux sahéliens à l'aridité. *Nef C., Grigon C., Gueye M., Hamon S., éd.: L'Acacia au Sénégal, Paris, Orstom/Isra, Coll. Colloques et séminaires, 47-61.*
- Gueye, M., & Ndoye, I. (2003). Le potentiel fixateur d'azote d'*Acacia raddiana* comparé à celui d'*Acacia senegal*, *Acacia seyal* et *Faidherbia albida*. *Un arbre du désert: Acacia raddiana. IRD (Editions), Paris.*
- Gurrieri, L., Merico, M., Trost, P., Forlani, G., & Sparla, F. (2020). Impact of drought on soluble sugars and free proline content in selected *Arabidopsis* mutants. *Biology, 9(11), 367.*
- Heller, W., & Forkmann, G. (1988). Biosynthesis. In 'The Flavonoids: Advances in Research Since 1980. (Ed. JB Harbone.) Chapman and Hall, London, 399-426
- Ingleby, K., Diagne, O., Deans, J. D., Lindley, D. K., Neyra, M., & Ducouso, M. (1997). Distribution of roots, arbuscular mycorrhizal colonisation and spores around fast-growing tree species in Senegal. *Forest Ecology and Management, 90(1), 19-27.*
- IPCC, S. P. (2019). Desertification In: Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. *International consensus regarding land system impacts of climate change as of.* In press.
- Jaouadi, W., Hamrouni, L., Souayeh, N., & Khouja, M. L. (2010). Etude de la germination des graines d'*Acacia tortilis* sous différentes contraintes abiotiques. *BASE. 14(4), 643-652.*
- Jaouadi, W., Mechergui, K., Hamrouni, L., Hanana, M., & Khouja, M. L. (2013). Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de trois espèces d'Acacias en Tunisie. *Revue d'Ecologie, Terre et Vie, 68(2), 133-141.*
- Jaouadi, W., Hamrouni, L., & Khouja, M. L. (2012). Phenology of *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* in Tunisia's Bou Hedma national park: site effects on phenophases. *Bois et Forêts des Tropiques, (312).*
- Jaouadi, W., Hamrouni, L., Hanana, M., Mechergui, K., Gader, G., & Khouja, M. L. (2012). Dynamique de la régénération d'*Acacia tortilis* subsp. *raddiana* dans le parc national de Bou Hedma en Tunisie. *Bois & Forêts Des Tropiques, 312, 9-20*
- Karzika, L. (2012). Contribution à l'étude éco-dendrométrique de *Salvadora persica* Garcin avec approche cartographique dans la région naturelle de Ouahelladjen (Ahaggar-Algérie méridionale). Mémoire d'Ingénieur, UMMTO, Algeria.
- Kebbas, S., Lutts, S., & Fatiha, A. I. D. (2013). Contribution to study of *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* seed germination, and growth seedling under different osmotic and drought constraints. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture, 70(1), 227-234.*
- Konate, N. M. (2010). Diversité Interspécifique D'efficacité D'utilisation de L'eau des Acacias Sahéliens et Australiens. Doctoral dissertation, Nancy, France.

- Laoué, J., Fernandez, C., & Ormeño, E. (2022). Plant flavonoids in mediterranean species: A focus on flavonols as protective metabolites under climate stress. *Plants*, *11*(2), 172.
- Lebreton, P., Jay, M., Voirin, B., & Bouchez, M. P. (1967). Sur l'analyse qualitative et quantitative des flavonoïdes. *Chim. Anal. Fr*, *49*(7), 375-383.
- Le Floch, E., & Grouzis, M. (2003). *Acacia raddiana*, un arbre des zones arides à usages multiples. *Un arbre au désert: Acacia raddiana. Sous la direction de M. Grouzis et E. Le Floch. IRD, Paris, France*, 21-58.
- Le Houérou, H. N. (1990). Définition et limites bioclimatiques du Sahara. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, *1*(4), 246-259.
- .
- Li, S., Zhu, R., Zhong, M., Zhang, Y., Huang, K., Zhi, X., & Fu, S. (2010). Effects of ultrasonic-assistant extraction parameters on total flavones yield of *Selaginella doederleinii* and its antioxidant activity. *Journal of Medicinal Plants Research*, *4*(17), 1743-1750
- Liu, M., Cao, B., Zhou, S., & Liu, Y. (2012). Responses of the flavonoid pathway to UV-B radiation stress and the correlation with the lipid antioxidant characteristics in the desert plant *Caryopteris mongolica*. *Acta Ecologica Sinica*, *32*(3), 150-155
- McCready, R. M., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H. S. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. *Analytical chemistry*, *22*(9), 1156-1158.
- Manchanda, G., & Garg, N. (2008). Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiologiae Plantarum*, *30*, 595-618
- Mazliak, P. (1998). *Physiologie végétale. Tome 2 : Croissance et développement*, Edition Hermann, Paris.
- Markham, K. R. (1982). *Techniques of flavonoid identification*. Academic press. London.
- McElwain, J. C., & Chaloner, W. G. (1995). Stomatal density and index of fossil plants track atmospheric carbon dioxide in the Palaeozoic. *Annals of Botany*, *76*(4), 389-395.
- Médail, F., & Quézel, P. (2018). *Biogéographie de la flore du Sahara: une biodiversité en situation extrême*. IRD Éditions, Paris, France.
- .
- Mensous, M. (2018). *Etude génétique des populations d'acacias du Hoggar*. Doctoral dissertation, Université de Ouargla, Algeria.
- Michel, B. E., & Kaufmann, M. R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant physiology*, *51*(5), 914-916
- Ndour, P. (1997). *Comportement de quelques espèces du genre Acacia en condition de stress hydrique et salin simulé*. Mémoire DEA, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal.

- Ndour, P., & Danthu, P. (1996). Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africains. *L'acacia au Sénégal*, C. Campa, C. Grignon, M. Gueye, S. Hamon, and DS *L'Acacia au Sénégal: Réunion Thématique*, 12, 03-05.
- Nongonierma, A. (1977). Contribution a l'étude biosystématique du genre *Acacia* Miller en Afrique occidentale. *Bull. I.F.A.N*, 38, 487-642
- Noumi, Z., & Chaieb, M. (2012). Dynamics of *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne subsp. *raddiana* (Savi) Brenan in arid zones of Tunisia. *Acta botanica gallica*, 159(1), 121-126.
- Noureddine, N. E., Amrani, S., & Aïd, F. (2010). Statut symbiotique et souches de rhizobia associées à l'*Acacia tortilis subsp. raddiana* [*Acacia raddianass*], mimosoïdée des régions désertiques de l'Algérie. *Botany*, 88(1), 39-53.
- Otieno, D. O., Schmidt, M. W. T., Kinyamario, J. I., & Tenhunen, J. (2005). Responses of *Acacia tortilis* and *Acacia xanthophloea* to seasonal changes in soil water availability in the savanna region of Kenya. *Journal of Arid Environments*, 62(3), 377-400.
- Oukara, F. Z., Chaouia, C., & Benrebaha, F. Z. (2017). Contribution to the study of the effect of the water stress on morphological and physiological behavior of *Pistacia atlantica* Desf. seedlings. *Agro Biologia*, 7(1), 225-232.
- Ozenda, P. (1991). La flore et végétation du Sahara. 3ème édition. Ed. CNRS. Paris.
- Petrussa, E., Braidot, E., Zancani, M., Peresson, C., Bertolini, A., Patui, S., & Vianello, A. (2013). Plant flavonoids—biosynthesis, transport and involvement in stress responses. *International journal of molecular sciences*, 14(7), 14950-14973
- Pirie, A., Parsons, D., Renggli, J., Narkowicz, C., Jacobson, G. A., & Shabala, S. (2013). Modulation of flavonoid and tannin production of *Carpobrotus rossii* by environmental conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 87, 19-31.
- Pourcel, L., Routaboul, J. M., Cheynier, V., Lepiniec, L., & Debeaujon, I. (2007). Flavonoid oxidation in plants: from biochemical properties to physiological functions. *Trends in plant science*, 12(1), 29-36.
- Quezel, P., & Santa, S. (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. C.N.R.S, 2 tomes, Paris.
- Quézel, P., & Simonneau, P. (1963). Les peuplements d'*Acacia* du Sahara Nord Occidental. *Travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes*, 22, 80-121.
- Redha, A., Al-Mansor, N., Suleman, P., Al-Hasan, R., & Afzal, M. (2012). Modulation of antioxidant defenses in *Conocarpus lancifolius* under variable abiotic stress. *Biochemical Systematics and Ecology*, 43, 80-86.
- Rehman, S., Harris, P. J., Bourne, W. F., & Wilkin, J. (2000). The relationship between ions, vigour and salinity tolerance of *Acacia* seeds. *Plant and Soil*, 220, 229-233.
- Roberty, G. (1948). Acacias Ouest-africains. Fonds Documentaire ORSTOM.

- Robles, C., Greff, S., Pasqualini, V., Garzino, S., Bousquet-Mélou, A., Fernandez, C., ... & Bonin, G. (2003). Phenols and flavonoids in Aleppo pine needles as bioindicators of air pollution. *Journal of Environmental Quality*, 32(6), 2265-2271.
- Rognon, P. (1967). Le massif de l'Atakor et ses bordures (Sahara Central). Etude géomorphologique. CNRS, Paris.
- Roussel, M., Le Thiec, D., Montpied, P., Ningre, N., Guehl, J. M., & Brendel, O. (2009). Diversity of water use efficiency among *Quercus robur* genotypes: contribution of related leaf traits. *Annals of Forest Science*, 66(4), 1-10.
- Sahki, A., & Sahki, R. (2004). Le Hoggar-Promenade botanique. Ed. *Esope*, Lyon/Chamonix, France.
- Sahki -Boutamine, R. (2012). Contribution à l'étude phytoécologique et inventaire des plantes médicinales du Sahara Central (Ahaggar) (Feuille d'Assekrem au 1/200.000). Magister thesis, USTHB, Algeria.
- Sangtarash, M. H., Qaderi, M. M., Chinnappa, C. C., & Reid, D. M. (2009). Differential responses of two *Stellaria longipes* ecotypes to ultraviolet-B radiation and drought stress. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 204(8), 593-603.
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., & Zheng, B. (2019). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 24(13), 2452.
- Shao, C., Duan, H., Ding, G., Luo, X., Fu, Y., & Lou, Q. (2022). Physiological and biochemical dynamics of *Pinus massoniana* Lamb. seedlings under extreme drought stress and during recovery. *Forests*, 13(1), 65
- Stave, J., Oba, G., Eriksen, A. B., Nordal, I., & Stenseth, N. C. (2005). Seedling growth of *Acacia tortilis* and *Faidherbia albida* in response to simulated groundwater tables. *Forest Ecology and Management*, 212(1-3), 367-375.
- Sy, A., Grouzis, M., & Danthu, P. (2001). Seed germination of seven Sahelian legume species. *Journal of Arid Environments*, 49(4), 875-882.
- Tattini, M., Guidi, L., Morassi-Bonzi, L., Pinelli, P., Remorini, D., Degl'Innocenti, E., ... & Agati, G. (2005). On the role of flavonoids in the integrated mechanisms of response of *Ligustrum vulgare* and *Phillyrea latifolia* to high solar radiation. *New Phytologist*, 167(2), 457-470.
- Teketay, D. (1996). Germination ecology of twelve indigenous and eight exotic multipurpose leguminous species from Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 80(1-3), 209-223.
- Teketay, D. (1998). Germination of *Acacia origena*, *A. pilispina* and *Pterolobium stellatum* response to different pre-sowing seed treatments, temperature and light. *Journal of Arid Environments*, 38(4), 551-560.
- Vassal, J. (1998). Les acacias au Sénégal. Taxonomie, écologie, principaux intérêts. *L'acacia au Sénégal. Editions de l'ORSTOM, Paris*, 15-33.

- Vassal, J. (1972). Apport des recherches ontogéniques et séminologiques à l'étude morphologique, taxonomique et phylogénique du genre *Acacia*. *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 108, 125–247.
- Venier, P., Funes, G., & García, C. C. (2012). Physical dormancy and histological features of seeds of five *Acacia* species (Fabaceae) from xerophytic forests in central Argentina. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 207(1), 39-46.
- Wilson, T. B., & Witkowski, E. T. F. (1998). Water requirements for germination and early seedling establishment in four African savanna woody plant species. *Journal of arid environments*, 38(4), 541-550.
- Yi, F., Wang, Z., Baskin, C. C., Baskin, J. M., Ye, R., Sun, H., & Huang, Z. (2019). Seed germination responses to seasonal temperature and drought stress are species-specific but not related to seed size in a desert steppe: Implications for effect of climate change on community structure. *Ecology and Evolution*, 9(4), 2149-2159
- Xu, S. M., Liu, L. X., Woo, K. C., & Wang, D. L. (2007). Changes in photosynthesis, xanthophyll cycle, and sugar accumulation in two North Australia tropical species differing in leaf angles. *Photosynthetica*, 45, 348-354.
- Zhang, B., & Archbold, D. D. (1993). Water relations of a *Fragaria chiloensis* and a *F. virginiana* selection during and after water deficit stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(2), 274-279.

Résumé

L'objectif de cette thèse de doctorat est l'étude de certains aspects adaptatifs que développe l'*Acacia tortilis* var *raddiana* pour faire face aux contraintes extrêmes de son milieu. C'est l'espèce qui présente la plus large répartition des six espèces d'*Acacia* recensées dans le Sahara algérien. Trois études ont été réalisées dans ce sens :

-La première étude consiste à tester la germination des graines de cette espèce face aux contraintes habituellement rencontrées dans son habitat. Un stress thermique, salin et hydrique ont été appliqués lors des essais de germination. Les résultats montrent une adaptation remarquable de cette espèce face à ces contraintes. Elle germe facilement à 40° Celcius et à 15° avec une capacité germinative supérieure à 80%, elle continue à germer pour une concentration de sel de 21g/L (Capacité germinative de 21,1%) et n'annule sa germination que pour un potentiel hydrique de 9 bars dans la solution d'arrosage.

-La deuxième étude a été consacrée à la biométrie foliaire et des caractères stomatiques sur quatre stations de la région de Bechar et trois stations dans le massif du Hoggar. Dix individus ont été échantillonnés dans chaque station. Les résultats montrent une forte variabilité des dimensions foliaires, du nombre de pennes et de folioles en fonction de la station. Les stations les plus septentrionales de Bechar, à savoir Abadla et Beni-ounnif présentent les feuilles aux plus grandes dimensions avec un nombre de pennes et de folioles les plus élevés. Au niveau du Hoggar, les résultats mettent en évidence une compensation des facteurs écologiques ; la station la plus haute en altitude ne présente pas les meilleures dimensions foliaires. L'étude stomatique a montré une différenciation nette des deux régions d'études : Les stations de Bechar présentent les densités stomatiques les plus faibles en opposition aux stations du Hoggar.

-Dans la troisième, nous avons évalué la variabilité des teneurs en sucres solubles et de trois classes de flavonoïdes (Anthocyanes, Aglycones flavones et les C-glycosylflavones dans cinq stations au Hoggar, une station à In Saleh et quatre dans la région de Bechar. Cinq arbres par station ont été échantillonnés. Les résultats obtenus ont révélé une variabilité de ces paramètres biochimiques en fonction de la station. Les deux stations les plus hautes du Hoggar présentent la plus faible teneur en sucres solubles, en aglycone flavones et en C-glycosylflavones. Ce sont les stations qui reçoivent la pluviométrie la plus importante et qui bénéficient des températures les plus favorables. Cependant la présence d'un inferoflux à faible profondeur peut expliquer les résultats obtenus dans les stations à faibles altitudes comme In Salah. Au niveau de Bechar, c'est la station qui paraît être la plus fertile qui présente les plus faibles teneurs de ces métabolites. La station la plus au sud et la plus sèche présente les teneurs les plus élevées.

Il ressort de nos résultats que cette espèce peut germer facilement face aux contraintes de son habitat, ajuste sa morphologie foliaire et son métabolisme en fonction des facteurs des stations qu'elle occupe. Une différenciation régionale a été observée concernant les caractères stomatiques.

Abstract

The purpose of this doctoral thesis is to investigate some adaptive aspects developed by *Acacia tortilis* var. *raddiana* to cope with extreme environmental conditions. This species presents the largest geographical distribution among the six species of *Acacia* inventoried in the Algerian Sahara. Three related studies have been carried out in this thesis:

The first consisted in testing the germination of the seeds of this species in the face of the constraints usually encountered in its natural habitat. Heat, salt and water stress were applied during germination tests. The results showed that this species is remarkably well-adapted to these constraints. It germinates easily at 40 °C and at 15 °C, with a germination capacity greater than 80%, continues to germinate at a salt concentration of 21g/L (germination capacity of 21.1%), and its germination is only inhibited at a water potential of -9 bar in the watering solution.

The second study focused on the leaf structure biometry and stomatal characteristics at four stations in the region of Bechar and three other stations in the Hoggar massif. Ten individuals were sampled at each station. The results showed considerable spatial variability in leaf size as well as in number of pinnae and leaflets. The northernmost stations in Bechar, Abadla and Beni-Ounnif had the largest leaves, with the highest number of pinnae and leaflets, while an ecological factors compensation has been highlighted in the Hoggar. The stomatal study showed a clear differentiation between the two study regions: the station of Bechar had the lowest stomatal densities.

In the third study, we assessed the variability of soluble sugar content and three flavonoid classes (Anthocyanins, Flavones aglycones and C-glycosylflavones) at five stations in the Hoggar, one in In Saleh and four in the region of Bechar. Five trees per station were sampled. The results showed that these biochemical parameters varied from a station to another. The two highest stations in the Hoggar registered the lowest soluble sugar content, Flavones aglycones and C-glycosylflavones. These are the stations with the highest rainfall and most favorable temperatures. However, the presence of an interflow at shallow depths may explain the results obtained at the lower elevation stations, such as In Salah. In Bechar, the station that appears to be the most fertile recorded the lowest levels in these metabolites, while the highest levels have been registered in the southernmost and driest station. Our findings showed that *A. tortilis* var. *raddiana* can germinate easily under the constraints of its natural habitat, and adjusts its leaf morphology and metabolism according to the conditions of the sites it occupies. Moreover, regional differentiation has been observed in stomatal characteristics.

Key words: *Acacia tortilis*, Sahara, germination, adaptation, leaf morphology, metabolites.