

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
HOUARI BOUMEDIENNE

INSTITUT DES SCIENCES DE LA NATURE

THESE DE MAGISTER

SPECIALITE : ECOLOGIE VEGETALE



Présentée le 9 Décembre 2003

Par BOUDJADA Samia

Jury:

Président:	M ^{me} D NEDJRAOUI	Professeur	USTHB
Directeur de thèse :	M ^r A. HARFOUCHE	Maître de Recherche	INRF
Examineurs :	M ^{me} H KADI HANIFI	Maître de Conférence	USTHB
	M ^r A. NEDJAH	Maître de Recherche	INRF
	M ^r N. HANIFI	Chargé de Cours	USTHB

REMERCIEMENTS

AU TERME DE CE TRAVAIL, IL M'EST AGREABLE D'EXPRIMER MES CHALEUREUX REMERCIEMENTS A TOUS CEUX QUI, PAR LEURS AIDES, LEURS CONSEILS ET LEURS COMPETENCES, ONT CONTRIBUE A LA REALISATION DE CETTE THESE.

QUE M^{ME} D. NEDJRAOUI, TROUVE ICI MA RECONNAISSANCE POUR AVOIR HONORE DE SA PRESENCE CE JURY ET ACCEPTE DE LE PRESIDER, ET CE, MALGRE SES NOMBREUSES OCCUPATIONS.

MES REMERCIEMENTS LES PLUS PROFONDS S'ADRESSENT A M^R A HARFOUCHE, MAITRE DE RECHERCHE A L'INRFQUI, MALGRE SES NOMBREUSES OCCUPATIONS, A BIEN VOULU ASSURER LA DIRECTION DE CE TRAVAIL, TOUT EN ME FAISANT BENEFICIER DE SON EXPERIENCE ET DE SES JUDICIEUSES REMARQUES. JE NE SAURAI, EGALEMENT, LE REMERCIER ASSEZ POUR LA CONFIANCE QU'IL A PLACE EN MOI DU DEBUT JUSQU'A LA FIN DE CE TRAVAIL ET , POUR M'AVOIR DEVELOPPE L'ESPRIT DE L'INITIATIVE SCIENTIFIQUE.

J'EXPRIME AUSSI MA PROFONDE GRATITUDE A M^{ME} H.KADI HANIFI

ET N. M^R HANIFI QUI ONT BIEN VOULU EXAMINER CE TRAVAIL, ET CE, MALGRE LEURS NOMBREUSES TACHES.

A M^R A.NEDJAH, DIRECTEUR DE L'INRF, J'ADRESSE MA RECONNAISSANCE POUR AVOIR HONORE DE SA PRESENCE NOTRE JURY EN ACCEPANT D'EXAMINER CE TRAVAIL ET POUR AVOIR MIS A MA DISPOSITION LES MOYENS NECESSAIRES A LA REALISATION DE CE TRAVAIL.

J'EXPRIME MA PROFONDE GRATITUDE A MESSIEURS LES CONSERVATEURS DES WILAYAS DE TEBESSA ET M'SILA NOTAMMENT M^R KORICHI, M^R MAHMOUDI ET M^R YAHOUI POUR AVOIR CONTRIBUE A L'INSTALLATION DES PROTOCOLES EXPERIMENTAUX ET A LA

RECOLTE DES GRAINES D'ALFA. AUSSI MES VIFS REMERCIEMENTS VONT AUX PERSONNELS DE CES CONSERVATIONS A SAVOIR :

M^R HAFSI ET SON EQUIPE, M^{ELLE} GOBBI YAMINA, M^R NOURDDINE , AMI ABDERAHMANE, M^R CHRIF ET M^R CHEKOUK.

JE TIENS PARTICULIEREMENT A REMERCIER PROFONDEMENT ET A EXPRIMER MA RECONNAISSANCE A :

- M^R BOUYAICHE, CHEF DE STATION DE BARAKI POUR AVOIR MIS A MA DISPOSITION LES MOYENS ET SURTOUT POUR SES ENCOURAGEMENTS ;

- M^R MAKHLOUF, EX CHEF DE STATION DE DJELFA ET SON EQUIPE : MR ET MME BRAGUE, MR AMRAOUI, MR CHOUICHA ET MR BELABIOD.

- M^{ELLE} CHETTAH WIDAD, INSPECTEUR DES FORETS A L'INRF POUR SON AIDE PRECIEUSE SUR LE TERRAIN ET EN PEPINIERE.

-MR LAKHDARI, CHEF DE STATION DE TELAGH ET MR .BENDJAFER .

J 'EXPRIME EGALEMENT MA RECONNAISSANCE A MES COLLEGUES DE L'INRF DE BAINEM ET DE BARAKI POUR LEURS ENCOURAGEMENTS ET LEUR DISPONIBILITE.

JE TIENS A REMERCIER MELLE RAHILI GHANIA POUR SES CONSEILS PRECIEUX, SON ENCOURAGEMENT ET A SON AMITIE SINCERE ; SANS OUBLIER SON ADORABLE FAMILLE

QUE TOUS MES AMIS (ES), QU'ON NE PEUT CITER, QUI ONT CONTRIBUE DE PRES OU DE LOIN A LA REALISATION DE CE MODESTE TRAVAIL, TROUVENT ICI L'EXPRESSION DE MES SINCERES ET CORDIAUX REMERCIEMENTS.

ENFIN, IL M'EST CHER DE VOULOIR DEDIER CE TRAVAIL A MA FAMILLE ET AUX REGRETTES PROFESSEURS DU DEPARTEMENT D'ECOLOGIE DE L'ISN : MR DJEBAILI SALAH ET MR MEDIOUNI KOUIDER. .

SOMMAIRE

	Pages
Introduction	1
I Synthèse monographique de l'alfa « <i>Stipa tenacissima</i> L »	5
1.1	5
1.2 Systématique	5
1.3 Répartition géographique	6
1.4 Autoécologie	7
1.5 Phénologie	7
1.6 Reproduction	7
1.7 Physiologie et écophysiologie de l'alfa	8
1.8 Génétique	8
1.9 Dynamique et syntaxonomique de l'alfa	9
Intérêt écologique et socio-économique	
II Matériels et méthodes	12
2.1 Rappel sur les tests de provenances	12
2.2 Echantillonnage	12
2.2.1 Echantillonnage élargi	12
2.2.2 Echantillonnage restreint	12
2.3 Protocole de récolte	13
2.4 Semis et dispositifs de pépinière	14
2.4.1 Test de provenances élargi	14
2.4.2 Test de provenances restreint	15
2.5 Tests en champ	15
2.5.1 Caractéristiques écologiques des sites de tests	15
2.6 Protocoles et dispositifs expérimentaux	17
2.6.1 Essai de provenances élargi (Oued Sdar et Moudjebara)	17
2.6.2 Essai de provenances restreint (Saf Saf, Tebessa)	19
2.7 Observations et mesures	22
2.7.1 Evaluation en pépinière	22
2.7.2 Evaluation en champ	25
2.8 Analyses statistiques	25
2.8.1 Analyses univariées	25
2.8.1.1 Analyses de variance	25
2.8.1.2 Comparaison multiple de moyennes	26
2.8.1.3 Liaisons entre caractères	28

2.8.2	Analyses multivariables	28
2.8.2.1	Analyses factorielle discriminante (AFD)	29
2.8.2.2	Classification hiérarchique ascendante (CHA)	29
2.8.3	Analyse de l'interaction génotype x environnement	30
1.1.1	Résultats et Discussion	34
3.1	Germination des graines	34
3.2	Variabilité des populations à l'échelle d'une même région	35
3.2.1	Variation monocaractère	36
3.2.1.1	Variation en pépinière	36
3.2.1.1.1	Variation de la vigueur et de la morphologie des parties aérienne	37
3.2.1.1.2	Variation de la biomasse racinaire	39
3.2.1.2	Variation en champ	40
3.2.1.2.1	Survie des plants	42
3.2.1.2.2	Variabilité de la vigueur des plants	44
3.2.1.2.3	Interaction génotype x âge	45
3.2.2	Liaisons entre caractères	48
3.2.2.1	Evaluation en pépinière	48
3.2.2.2	Evaluation en champ (Saf Saf, Tebessa)	49
3.2.2.2.1	Corrélations entre caractères différents	52
3.2.2.2.2	Corrélations entre deux mesures répétées du même caractère	53
3.2.3	Liaisons entre caractères et variables géographiques	53
3.2.3.1	Evaluation en pépinière	57
3.2.4	Variation multicaractères	57
3.2.4.1	Variation en pépinière	62
3.3	Variation en champ	63
3.3.1	Variation des populations à l'échelle de l'aire de l'espèce	63
3.3.2	Analyse intra-site	66
3.3.2.1	Analyse inter-site	66
3.3.2.1.1	Effet site	66
3.3.2.1.2	Survie	67
3.3.3	Vigueur	68
	Interaction provenance x site	73
IV	Conclusion générale	76
V	Bibliographie	

INTRODUCTION

L'alfa (*Stipa tenacissima* L.) est une graminée vivace constituant de vastes formations steppiques en Afrique du Nord où elles constituent des paysages très familiers dans les Hautes Plaines, entre les deux Atlas Tellien et Saharien (Gounot, 1969 ; Lehouérou, 1969 ; Celles, 1975 ; Djebaïli, 1978-1988). On la rencontre, également, en dehors de cette aire de prédilection, débordant jusque dans les zones telliennes du Nord-Ouest Algérien et dans le sud de la péninsule Ibérique jusqu'aux Baléares. Cette graminée est l'un des taxons de la flore méditerranéenne dont l'aire de répartition est la plus importante aussi bien par la surface occupée que par le nombre d'individus (Abdelkrim, 1988).

Cette espèce occupe une place importante, aux plans social, économique, culturel et industriel en Algérie. Les groupements alfatiers constituent de vastes zones de parcours (environ 4 millions d'hectares) pour les populations sédentaires et nomades des Hautes Plaines, voire du Sahara. On y recense, selon les années, de 14 à 18 millions de têtes d'ovins. Les fibres d'alfa sont également utilisées dans l'artisanat local (sparerie) ainsi que dans l'industrie papetière, le papier d'alfa étant très prisé. La pression exercée sur cette ressource est donc très grande. Mais l'absence d'une politique d'aménagement rationnel des parcours steppiques compromet gravement la survie de cette espèce dont la disparition entraînerait à terme des conséquences gravissimes pour des millions de personnes. Le parcours représente, en effet, la menace la plus sérieuse sur la pérennité de l'alfa. Les changements climatiques rapides, générés par les activités humaines à l'échelle de la planète, ont aggravé les effets du parcours en ce sens que les périodes de sécheresse de plus en plus longue empêchent toute régénération naturelle des nappes alfatières (Rognon, 1991 ; Monod, 1992 ; Aïdoud *et al*, 1996). C'est ainsi que la surface occupée par cette espèce, en Algérie, est passé, en un siècle, de quatre (Trabut, 1889) à deux millions d'hectares (inventaire CNTS¹, 1989). Sa phytomasse totale, qui était évaluée à 6500 kg de matière sèche/ha en 1968, n'était plus que de 30 en 1990. Cette chute brutale et rapide de la productivité intrinsèque des peuplements alfatiers s'est accompagnée d'un appauvrissement floristique significatif ; c'est ainsi que la diversité floristique a régressé de 60% (Melzi, 1990).

¹ Centre National de Télédétection Spatiale (Arzew).

En raison de son importance en superficie et pour ses divers usages socio-économiques, culturels et industriels, l'alfa et les formations qui en dérivent ont depuis longtemps suscité l'intérêt des chercheurs et scientifiques, et ce dès la fin du XIX^e siècle. Les travaux entrepris ont concerné divers aspects phyto-écologiques (Trabut, 1889 ; Lehouérou, 1969 ; Djebaïli, 1978 ; Achour, 1983 ; Aïdoud, 1983), phytogéographiques et phytosociologiques (Maire, 1926 ; Celles, 1975 ; Djebaïli, 1978 ; Abdelkrim, 1984 ; Kadi Hanifi, 1998), fonctionnels (Lehouérou, 1975 ; Floret & Pontanier, 1978 ; Nedjraoui, 1980 et 1990 ; Aïdoud, 1983 et 1989 ; Melzi, 1986), caryo-systématiques (Labadie, 1979 ; Bensettiti, 1985 ; Tazaïrt, 1992).

Les travaux de Djebaïli (1978-1984), en particulier, ont mis en évidence une diversité biogéographique conséquente à travers l'aire de distribution de l'espèce ; l'alfa colonise, notamment, des biotopes dans les régions arides et semi-arides voire dans le sub-humide. Les travaux de Trabut (1889), Killian (1948, 1950), Achour (1983), par exemple, ont montré l'existence d'une gamme étendue de types de sols sous le couvert alfatier. Les études caryo-systématiques de Labadie (1979) et de Tazaïrt (1992) ont révélé une différenciation de certaines populations pour ces marqueurs.

Les problèmes de dégradation des nappes alfatières ont très vite soulevé le problème de leur régénération. Des travaux et expériences de culture d'alfa ont pour cela été initiés (Bourahla & Guitonneau, 1978 ; Malos & Meziani, 1978 ; Boudjada & Bendjaffer, 1994). Les résultats obtenus mettent en évidence deux éléments importants :

1. La régénération naturelle des nappes d'alfa était possible à partir du moment où elle était assistée par une mise en défens stricte des parcelles. Cependant, cette capacité de régénération spontanée était tributaire de l'état de dégradation du sol ;
2. La régénération artificielle par transplantation de semis élevés en pépinière était une technique très réussie dans les parcelles expérimentales. Transposée au terrain, cette technique est soumise aux mêmes contraintes qui se posent à la régénération naturelle (mise en défens, état du sol).

Ces travaux, bien que très intéressants, restent insuffisants pour engager avec assurance des programmes de régénération (naturelle ou artificielle) efficaces ; on ne dispose d'aucune connaissance sur la variabilité géographique et génétique chez cette espèce dont la valence écologique à l'échelle de son aire de distribution laisse entrevoir l'existence de populations différenciées pour des caractéristiques adaptatives et morphologiques diverses en réponse à la diversité des pressions de sélection naturelle auxquelles elles ont été

soumises depuis des générations. La mise en évidence de l'existence d'éventuelles spécialisations adaptatives importantes comme la résistance à la sécheresse ou à la salinité permettrait d'élargir les possibilités d'intervention en matière de reconstitution des nappes alfatières.

C'est dans ces perspectives qu'un programme de recherche a été initié à l'institut national de la recherche forestière (INRF). On se propose par un tel programme de combler nos lacunes en matière de connaissance sur la variabilité géographique et génétique de caractères morphologiques et adaptatifs chez l'alfa. Les objectifs sont d'ordre fondamental et appliqué ; d'un point de vue fondamental, on disposera d'une somme de connaissances originales sur la génétique et l'auto-écologie de l'espèce ; d'un point de vue appliqué, on disposera d'outils pratiques indispensables à la mise en œuvre d'une politique efficace de reconstitution des nappes alfatières.

Au plan expérimental, c'est la pratique d'essais de provenances multilocaux et de cultures en laboratoire/pépinière qui nous donneront des réponses à nos investigations. La généralisation d'une planification expérimentale rigoureuse et de puissants outils d'inférence statistique garantiront aux résultats obtenus une fiabilité suffisante pour leur mise en œuvre. La répétabilité dans l'espace et dans le temps de ces résultats sera, notamment, un élément déterminant de cette fiabilité. Aussi, les résultats présentés ici revêtent un caractère obligatoirement préliminaire du fait de lacunes dans l'échantillonnage de provenances et d'effectifs d'individus par provenance, parfois, insuffisants. Mais ce n'est là qu'une première étape ; un ensemble intégré d'expérimentations (pépinière, laboratoire et champ) est en voie de lancement dont le caractère sera plus général.

Le travail objet de cette thèse est fondé sur deux expériences. La première se propose d'explorer la variation géographique de l'alfa à l'échelle d'une aire restreinte à partir d'un groupe de six provenances allant de Djelfa à M'sila ; la seconde, composée de deux tests de sept provenances, évalue l'amplitude de la variation géographique à l'échelle de l'aire algérienne de l'espèce. Cette dernière nous permettra d'aborder la question pratique importante de l'interaction génotype x environnement.

Au plan de la forme, la présente thèse se compose de trois parties :

1. Une synthèse monographique sur les divers aspects écologiques et biologiques de l'espèce ;
2. Un exposé détaillé des matériels & méthodes mis en œuvre dans ce travail ;
3. Une partie présentant les résultats obtenus et leur discussion dans l'état actuel des connaissances sur le thème traité. A ce propos, ce travail fait œuvre de pionnier et certains

résultats n'ont pu être discuté dans un contexte plus large faute d'antécédents bibliographiques.

I. SYNTHÈSE MONOGRAPHIQUE

1.1. Systématique

L'espèce *Stipa tenacissima* fut décrite et dénommée par Linné en 1755 sur des spécimens originaires d'Espagne (Moraldo, 1986). Alfa en est le nom vernaculaire, halfa le nom arabe (Trabut 1889).

Cette espèce appartient à la famille des graminées, classe des monocotylédones (Ozenda, 1958 ; Quezel et Santa, 1962), sous-famille des Agrostidées, tribu des Stipées, section *Macrochloa* (Battandier et Trabut, 1890).

Le genre *Stipa* comprend, outre l'alfa (*Stipa tenacissima* L.), 250 autres espèces dont sept en Algérie.

1.2. Répartition géographique

L'alfa se rencontre surtout dans la partie occidentale du bassin méditerranéen (Afrique de Nord , péninsule Ibérique, Iles Baléares) (Fig. 1). Mais, c'est en Afrique du Nord, notamment dans les Hautes Plaines d'Algérie et du Maroc, que l'espèce atteint sa plénitude et constitue des formations continues sur de très vastes étendues, appelées pour cela *nappes alfatières*, trait caractéristique de ces régions.

En fait, l'aire de distribution de cette graminée serait beaucoup plus étendue puisqu'elle est signalée à l'état sporadique dans le sud de l'Italie (Ozenda, 1982), en Grèce (Trabut, 1889), en Egypte (Metro, 1947 ; Boudy, 1950 ; Celles, 1975, 1982) voire en Europe de l'Est (Blanka, 1973) et en Afrique du Sud (Winter, 1965).

En Algérie, l'alfa est caractéristique du domaine steppique, zone charnière entre le tell et le Sahara. Il abonde dans les zones arides des Hautes Plaines (Fig. 1), notamment en Oranie et dans le Titteri (Ksar Chellala, Djelfa, Bousâada). De là, il déborde sur la région de Laghouat, les environs de Tirlhemtetatteint le sud de Ghardaïa (Ozenda, 1982). Dans le constantinois, les nappes à alfa, de moins grande étendue, sont localisées dans la région au sud-ouest de Sétif, à Beni-Abbès, dans les Bibans, le massif montagneux du Boutaleb (Monts du Hodna), les Maadid et les Aurès. Dans ces régions, l'alfa ne se rencontre que sur les versants et glacis de montagne. Les peuplements d'alfa du constantinois se continuent en Tunisie en passant par Tébessa (région de Bir El Ater) où elles constituent des surfaces non négligeables (Trabut, 1889 ; Boudy, 1950 ; Capot-Rey, 1952 ; Djebaili, 1978). De la "mer d'alfa", décrite par Trabut en 1889 et évaluée à 3 976 174 ha par le Gouvernement

Général d'Algérie en 1921, il ne resterait plus que 2 025 864 ha (CNTS, 1989). En moins d'un siècle, la nappe d'alfa a régressé de près de la moitié.

Au Maroc, l'alfa occuperait une superficie de 2 200 000 ha (Boudy, 1950) sur les versants oriental du Rif et sud du Grand Atlas ainsi que le long des vallées des oueds qui en marquent les limites (Emberger, 1933 ; Metro, 1947 ; Ionesco 1962). En Tunisie, la superficie des nappes alfatières était de 1 200 000 ha en 1950 (Boudy, 1950). Selon Long (1954), Floret *et al* (1973) et Redjeb (1980), l'alfa y colonise deux zones principales : les hauts plateaux du Centre et les steppes montagneuses de l'Est et du Sud. De là, l'alfa passe en Libye où elle devient plus rare.

1.3. Autoécologie

De par l'étendue de son aire de distribution, l'alfa se trouve confrontée à des conditions écologiques très variées. Pour la pluviométrie, on passe de 600 mm, au nord sous couvert forestier, à 70 mm, au sud de Ghardaïa (Monjauze *et al*, 1955). La pluviosité est, de ce fait, le facteur principal déterminant la répartition de cette espèce. Cependant, l'aire optimale de *Stipa tenacissima*. se situerait dans une tranche pluviométrique allant de 100 à 500 mm (Lehouerou, 1969 ; Celles, 1975 ; Djebaili, 1978. Au-delà de 600 mm, cette espèce est supplantée par une autre graminée vivace, le diss (*Ampelodesma mauritanica* P.) (Barry et Faurel, 1973 ; Celles, 1975 ; Djebaili, 1978). Pour Emberger (1933), l'alfa marque la limite sud de l'étage bioclimatique aride et annonce le seuil du Sahara.

Concernant les températures, l'alfa se développe depuis les variantes bioclimatiques chaudes (Oran, $m = 9.1^{\circ}\text{C}$) jusqu'aux variantes froides (sud de l'Algérois, confins Orano-Marocains, moyen atlas au Maroc ($m = -1.8^{\circ}\text{C}$)). L'alfa peut supporter des froids sévères (-15°C à Tadmit, -19°C à Rogassa) ainsi qu'un enneigement de courte durée (Djebaili, 1978). Cette aptitude à résister au froid lui permet de coloniser des stations allant jusqu'à 1800 m d'altitude en Algérie (Djebili, 1978) et 2400 m au Maroc (Emberger, 1933).

L'alfa ne montre pas d'exigences édaphiques particulières, mais il a une préférence pour les sols calcaires et pierreux. Il fuit les dépressions inondées, les sols argileux et salés (Trabut, 1889). Selon Achour (1983), il ne peut subsister que sur les sols perméables ou assez déclives.

Les sols des nappes à alfa présentent des caractères intermédiaires entre ceux des forêts et ceux des steppes ; on y observe, en particulier, un appauvrissement en humus du premier horizon (Djebaili, 1978, 1984).

1.4. Phénologie

Plusieurs auteurs (Trabut, 1889 ; Boudy, 1950 ; Lehouerou, 1969 ; Celles, 1975 ; Ghrab, 1981 ; Aidoud, 1989) se fondant sur des observations *in situ* soutiennent la même conclusion : la durée de la période végétative est courte et ne dépasse pas 4 à 6 mois. La plante subit deux périodes de vie ralentie par an :

- une période de repos hivernal due au froid qui diminue l'assimilation dès que la température descend au dessous de 3 à 5 °C et qui dure généralement 3 à 4 mois ;
- une période de repos estivale due à la sécheresse qui débute généralement en juillet et se prolonge jusqu' au début de l'automne.

L'alfa, occupant des régions aux conditions écologiques assez diverses, sa période de floraison est variable d'une station à l'autre ; la floraison est d'autant plus précoce que le climat est plus chaud. Elle s'effectue, généralement, d'avril à mi-mai et, cinq ou six semaines après, les fruits atteignent leur maturité.

1.5. Reproduction

L'alfa peut se multiplier par trois voies :

- Semis naturels : ce mode de multiplication est exceptionnel, il ne se produit que lorsque les conditions d'environnement (climatiques et édaphiques) sont favorables (Djebaili (1978), Ghrab (1981) et Kadi Hanifi (1998).
- Bourgeonnement : Lorsque les vieilles souches meurent, les rameaux périphériques du rhizome portent encore un certain nombre de bourgeons dormants.
Au printemps, ces bourgeons se développent et donnent naissance à des racines adventives ; ainsi une petite touffe se forme
- Fragmentation de souche : chaque touffe née de cette division, s'arrondit, s'étend puis se fragmente à son tour.

1.6. Physiologie et écophysiologie de l'alfa

Plusieurs auteurs ont entamés des études sur les conditions physiologiques de la germination des caryopses d'alfa : Malos et Meziani (1978), Tazairt (1992) et Boudjada et al (1994), ont montré que l'aptitude de germination est stimulée avec des températures basses ; selon Harche (1978), l'optimum de germination est obtenu avec des températures comprises entre 12°C et 25°C et que la lumière n'a pas d'effet marquant sur la capacité germinative des caryopses d'alfa. L'aptitude à la germination diminue avec la durée de conservation (la longévité des caryopses d'alfa n'excède pas trois ans) (malos et Meziani, 1978).

Concernant les études sur l'écophysiologie de l'alfa sont peu nombreux :

Nedjraoui (1990), en étudiant la photosynthèse de l'alfa a confirmé les résultats obtenus par Morgan et Brown (1979) quant à l'appartenance de l'alfa aux espèces C3, c'est à dire qu'il fixe en premier lieu le CO₂ sous forme d'acide en C3, l'acide phosphoglycérique. Egalement ce même auteur a montré que l'alfa du présaharien présente des valeurs de photosynthèses plus faibles que celles de l'alfa du semi-aride. En outre, le potentiel hydrique de l'alfa, mesuré sur le terrain (zones semi-aride et présaharienne) et au laboratoire, dans les mêmes conditions hydriques est minimum et il est plus négatif pour l'alfa du présaharien ; l'auteur lie ceci à une adaptation génotypique de l'espèce aux conditions écologiques.

1.7. Génétique

Peu d'études cryosystématiques ont été effectuées sur l'alfa, elles confirment l'existence de plusieurs populations.

Maire en 1932 (in Kadi Hanifi, 1998), a décrit deux variétés d'alfa, *typica* et *villosiuscula* différenciées sur la base de la pilosité des gaines : les gaines de la première variété sont glabres et celles de la seconde variété sont couvert de poils denses et courts.

Fernandes et Queiros (1969), déclare un nombre de chromosomes égal à $2n = 4$ pour l'alfa du Portugal.

Labadie (1979) a conclu que dans la région de Djelfa $2n = 24$ chromosomes, cependant Bensetteti (1985) retient comme nombre de chromosomes égal à $2n = 12$.

Plus tard, Tazairt (1992) a montré l'existence d'une variabilité chromosomique chez l'alfa (Ras El maa, $2n = 12$; M'Zara, $2n = 18$ et Tadmit $2n = 24$) et par l'analyse enzymatique ce même auteur a montré deux morphotypes et qu'ils diffèrent par un électromorphe de faible intensité.

Abdelkrim et al (1988) ont recensé quatre niveaux de ploidies chez l'alfa. Le taux de polyploidie peut être élevé d'autant plus que le phénomène est fréquent chez les monocotylédones vivaces.

Par ailleurs, Raffaelli et Ricceri (1989), ont décrit en Tunisie du centre nord, trois nouvelles espèces se rattachant au complexe de *Stipa tenacissima* L. Cette distinction a été faite sur la base d'une différenciation morphologique de l'appareil végétatif et de la structure de la fleur.

1.8. Dynamique et syntaxonomique de l'alfa

L'alfa occupe une aire géographique importante et bien délimitée. En effet, en Algérie, cette essence se trouve soit sous forme de vastes peuplements « mer d'alfa » principalement sur les hauts plateaux, soit en touffes dispersées sous le couvert de la forêt xérophytique tellienne.

Maire (1926) décrivait que dans « le stipetum tenacissimae » typique peu de plants accompagnent l'alfa. Pour lui cette association ne représente qu'un stade de dégradation très stable d'un groupe climatique.

En 1933, Emberger montrait que les vastes peuplements climatiques qui constituent la steppe à alfa sont subordonnés à des essences forestières : thuya de berberie, genévrier de phénicie, Chêne vert-, Pin d'Alep tout en préconisant que l'association à alfa reste à déterminer.

Selon Boudy (1950), certains peuplements alfatiers doivent être considérés comme des formes de dégradation d'anciennes forêts disparues de genévrier, de Thuya, etc,...).

Plus tard, en 1969, Lehouerou concluait que « l'alfa est dépourvue de valeur physiologique et constitue un stade de transition entre les groupements forestiers et les steppes à chamaephytes douées d'une plus grande stabilité et de valeur phytosociologique indiscutable ».

Celles (1975), considérait que l'alfa est un chaînon d'une évolution régressive de Pin d'Alep, Genévrier de Phoenicie,...., Alfa, Armoise blanche qui existait depuis longtemps. Ce même auteur décrivait dans sa diagnose phytosociologique du sud Constantinois, une association à *Stipa tenacissima* L. et *Launaea acanthoclada* M. ; qui constitue le caractère essentiel de l'alliance à *Pinus halepensis* et *Juniperus phoenicea*.

Djebaili (1978-1984), dans ses travaux relatifs à la steppe algérienne, refuse toute valeur phytosociologique à alfa. Cependant, il reconnaît à cette espèce un cortège floristique qui lui est propre dans certaines conditions climatiques et édaphiques bien précises.

L'appartenance de l'alfa aux syntaxons forestiers est confirmée par Guinochet (1980) qui le replace parmi les caractéristiques de Rosmarino- Ericion dans l'ordre des rosmarinetalia et la classe des Cisto-Rosmarinétea.

En dehors de l'Afrique du nord, De Villars (1925), considérait la steppe à alfa de la Péninsule Ibérique comme un stade de dégradation forestière voire un groupement anthropogène.

Une attitude opposée éloigne les groupements à alfa des syntaxons forestiers. Effectivement pour De Bolos et Braun Blanquet (1957), les steppes à alfa se rattacherait aux ligéo-stipetalia Br.Bl et O. Bolos, 1954 et à l'alliance Eremo-pyrophyllum L O, 1954 ; Ordre et alliance maintenue par Roux et Lazare (1979) pour les mêmes types de groupement de la région de Bousaâda

Dans la Syntaxonomie des pelouses thérophytiques de l'Europe occidentale, Rivas Martinez (1977) définissait une nouvelle classe à tendance thermophile où dominent les graminées vivaces. Ce sont les lygéo-Stipetea Riv Mart 1977, contenant l'ordre des Lygéo-Stipetalia et donc la nouvelle alliance de stipion tenacissimae Riv. Mart, 1977. 'C'est à cette alliance que Aidoud F (1984), rattache les groupements à alfa des hauts plateaux sud Oranais

De manière générale, selon plusieurs auteurs cités ci-dessus, les groupements à alfa sont les résultats d'une dégradation forestière.

Le passage d'un groupement à alfa à un autre s'explique par l'aridité croissante et surtout par la destruction du couvert végétal par l'homme (Djebaili, 1978 ; Achour, 1983, Aidoud, 1984, Kadi Hanifi, 1998)

1.9. Intérêt écologique et socio-économique

L'alfa, plante très rustique et supportant les rigueurs du climat steppique, joue un rôle précieux dans la lutte contre la dégradation des sols. De par la forme de ses parties aériennes, elle retient à sa base les particules fines du sol, lesquelles associées à la litière

provenant de ses feuilles, constituent une niche écologique pour une faune très variée d'insectes et de micro-organismes (Lehouerou,1969 ; Khelil, 1984 ; Kihel ,1986). Le milieu ainsi formé constitue un véritable écosystème où se développent de nombreuses espèces annuelles, contribuant à l'amélioration des parcours. Cependant, cette plante constitue, par elle-même, une ressource fourragère non négligeable en période de disette (jeunes feuilles, épis).

Elle est, par ailleurs, l'objet de nombreux usages dans l'activité artisanale traditionnelle comme la sparterie et la vannerie.

En outre, les travaux de Tadjeddine (1986), ont révélé l'existence dans les tissus de l'alfa d'assez grandes quantités de xylose, pentose utilisé dans la pharmacutique et l'alimentation. Ce sucre, dont le pouvoir édulcorant est comparable à celui du saccharose, est bien toléré par les diabétiques.

Au plan industriel, l'alfa est utilisée pour la fabrication d'un papier de grande qualité.

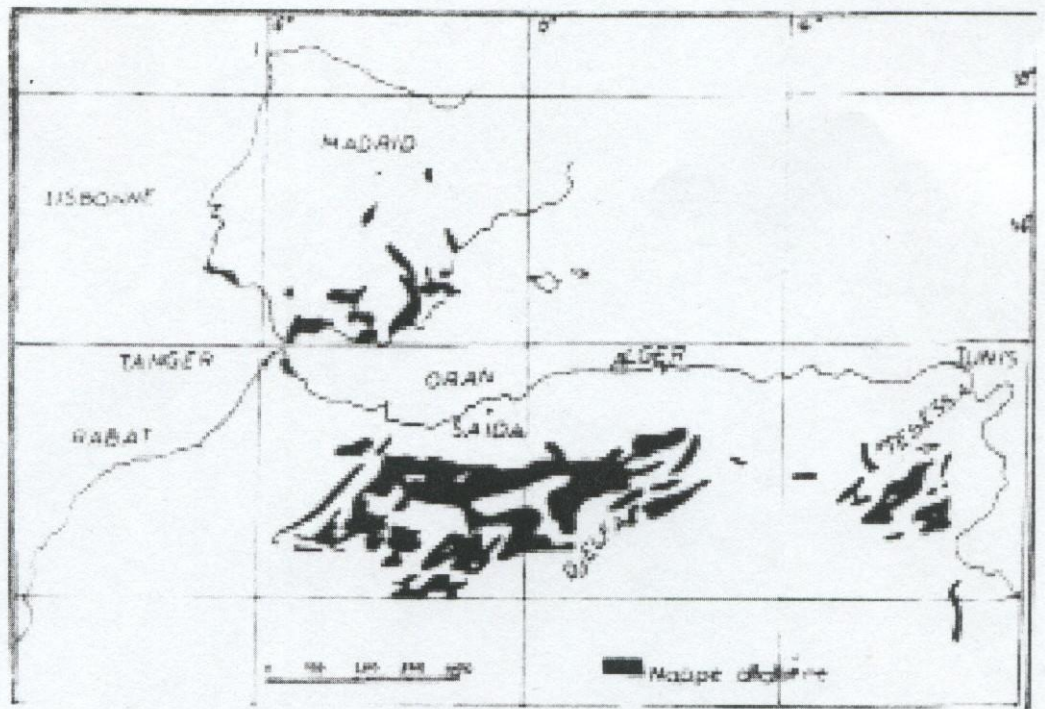


Fig 1 : Répartition de l'alfa en Afrique du Nord et en Espagne, d'après LACOSTA (1956) et FONTYQUER (1927) in NEDJRAOUI (1990)

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Rappel sur les tests de provenances

Notre travail sur l'alfa est essentiellement basé sur la pratique des tests de provenances, qui représentent un moyen puissant d'explorer la variabilité géographique existant au sein d'une espèce, ainsi qu'une démarche particulièrement appropriée pour les études d'autoécologie comparée. En effet, étant testées en milieu uniforme, un comportement différencié des populations étudiées (appelées provenances) vis à vis de facteurs physiques et/ou biologiques traduit des capacités d'adaptation au milieu différentes. Il est possible, à partir de ces plantations comparatives, de choisir la ou les provenances les plus performantes pour une zone de test donnée.

Les tests de provenances sont d'un avènement déjà ancien ; les premiers auraient été mis en œuvre en France par de Vilmorin dès 1820, mais c'est en Suède qu'ils prirent toute leur ampleur et gagnèrent en rigueur expérimentale (Wright; 1976). Ces tests débutent par une récolte de graines à partir de populations, naturelles ou artificielles, réparties, dans la mesure du possible, sur toute l'aire naturelle de l'espèce. Les plants issus de la germination de ces graines sont installés dans un ou plusieurs sites expérimentaux, caractérisés par des conditions de milieu particulières et représentant un échantillon représentatif de la diversité écologique observée dans les zones d'introduction. La disponibilité de deux tests ou plus permet d'analyser les effets d'interaction génotype x environnement qui traduisent une inconstance des classements des provenances d'un site de test à un autre.

Ce travail sur l'alfa est basé sur deux expériences :

- la première constituée de deux tests de provenances issues d'un échantillonnage élargi à l'ensemble de l'aire algérienne de l'espèce,
- la seconde utilisant un groupe de provenances issu d'un échantillonnage restreint à la région alfatière allant de Djelfa à M'sila.

2.2. Echantillonnage

2.2.1. Echantillonnage élargi

La récolte, réalisée en juin-juillet 1995, a concerné 07 provenances réparties sur toute l'aire algérienne de l'espèce (Tableau 1; Fig. 1). Des contraintes de déplacement et la brièveté de la persistance des graines sur le pied mère n'ont pas permis de disposer d'un échantillon de plus grande taille.

2.2.2. Echantillonnage restreint

Celui-ci a concerné la région s'étendant de la wilaya de Djelfa à la wilaya de M'sila. Six (06) provenances, au total, y ont été récoltées en juin-juillet 1998 (Tableau 1; Fig. 2). Cet échantillon est suffisant pour l'étude de la variation géographique sur une portion restreinte de l'aire de dispersion de l'espèce.

2.3.. Protocole de récolte

Pour chaque provenance, le prélèvement des panicules a été effectué aléatoirement sur un territoire de 3 à 4 hectares. La récolte a été répartie sur 30 touffes, la touffe constituant l'individu, espacées d'au moins 30 m afin de minimiser les risques de récolte sur des individus apparentés. Les récoltes sur des individus consanguins ont pour conséquence une surestimation des différences entre provenances et une vigueur réduite des semis issus de la graine récoltée.

Tableau 1. Liste et caractéristiques géographiques des provenances récoltées. a : provenances de l'échantillonnage élargi ; b : provenances de l'échantillonnage restreint.

Provenance	Lieu-dit	Wilaya	Latitude Nord	Longitude	Altitude (m)	Bioclimat
Mecheria ^a		Saïda	33° 33'	0° 16' W	1127	Arde frais
Sebdou ^a		Tlemcen	34° 38'	1° 20' W	925	Semi-aride froid
El Aricha ^a			34° 12'	1° 16' W	1250	Arde froid
El Biod ^a			33° 53'	0° 8' W	1040	Arde froid
Aïn Oussera ^a	Benhar	Djelfa	35° 34'	2° 55' E	688	Arde frais
Oued Sdar ^{a,b}	Oued Sdar	Djelfa	34° 40'	3° 17' E	1139	Semi-aride
Ouled Djellal ^a		Biskra	34° 06'	5° 55' E		Arde chaud
Sidi Ameur ^b	Z'mira	M'sila	35° 15'	3° 54' E	1100	Arde frais
Meguessem ^b		M'sila	35° 22'	3° 55' E	966	Arde frais
Medjedel ^b	Rached	M'sila	35° 02'	3° 48' E	827	Arde frais
El Hamel ^b	Z'bech	M'sila	35° 12'	4° 06' E	1052	Arde tempéré
Mergueb ^b		M'sila	35° 27'	3° 57' E	697	Semi-aride frais

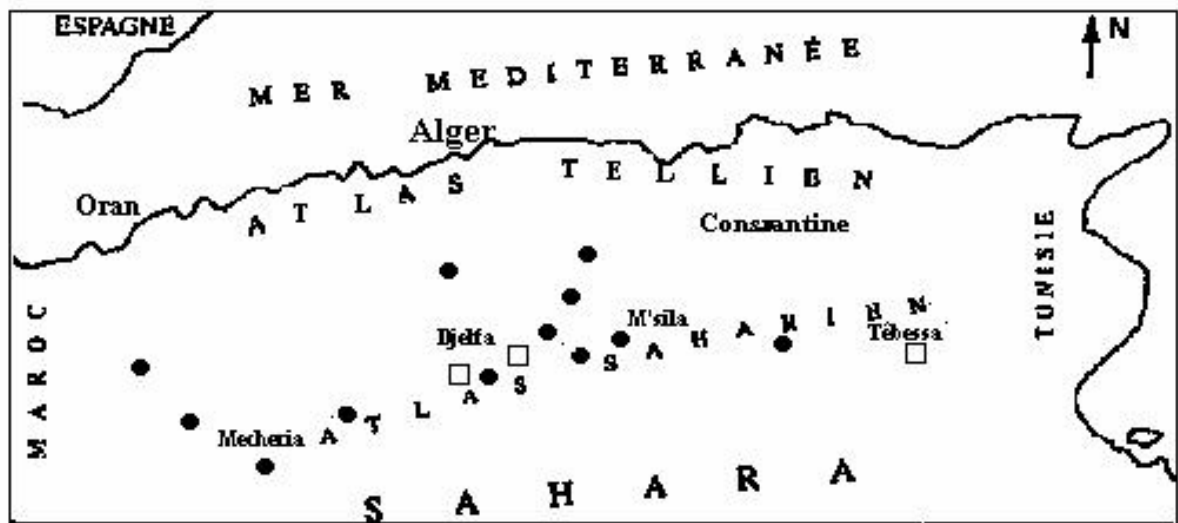


Fig. 2. Localisation des provenances et des sites de test.

2.4. Semis et dispositifs de pépinière

2.4.1. Test de provenances élargis

Les semis ont été effectués au niveau de la pépinière INRF de Djelfa. Etant donné la disponibilité de lots de graines d'importance variable, le nombre de semis obtenus par provenance varie également.

La pépinière se localise dans l'enceinte de la station de recherches forestières de Djelfa (environ 1000 m d'altitude), à la sortie Est de la ville sur la route de Moudjebara. Elle se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride à variante froide.

Les semis, regroupés par provenance, ont été disposés selon un dispositif en randomisation totale. Ce dernier se constitue de 7 provenances : El biod, Seb dou, El aricha, Djelfa, Ain Oussera, Mécheria et Biskra (Tableau 1).

Les semis ont été réalisés en novembre 1996 par poquets de 10 graines dans des sachets de polyéthylène de 20 cm de hauteur et de 9 cm de diamètre à raison d'une planche de 500 sachets par provenance. Un total de 5000 graines par provenance ont été ainsi utilisées.

Le substrat utilisé est un mélange constitué de 1/3 de terre végétale, 1/3 de terreau et 1/3 de sable.

2.4.2. Test de provenances restreint

La pépinière d'élevage se situe à l'intérieur de la station de recherches forestières de Baraki (Ancien domaine agricole Mehdi Boualem), dans la wilaya d'Alger. Cette zone, d'une altitude d'environ 18, m est soumise à un bioclimat subhumide à variante fraîche.

Le dispositif expérimental est constitué de six (06) provenances : Sidi Ameer, Meguessem, Medjedel, Djelfa, Mergueb et El Hamel (Tableau 1). Les provenances ont été réparties dans des caisses de 30 sachets de polyéthylène à raison de 10 graines par sachet. Le nombre de graines semées varie d'une provenance à l'autre en raison de lots de graines d'importance inégale (4200 graines pour les provenances Meguessem, Mergueb, Sidi Ameer et Medjedel, 3900 graines pour la provenance El Hamel et 3000 graines pour Oued Sdar).

Les semis ont été réalisés entre septembre et octobre 1998 sur substrat constitué de 1/3 de terre végétale, 1/3 de terreau et 1/3 de sable.

Les provenances ont été disposées aléatoirement en pépinière.

Les plants ainsi élevés ont été transplantés en dispositif en champ à Saf Saf dans la wilaya de Tébessa. Il faut noter, pour le test restreint, qu'un autre semis a été réalisé, la même année, en pépinière de Tébessa (Conservation des forêts) ; pour diverses raisons, le nombre de plants obtenus était trop bas pour mettre en place une deuxième plantation comparative en champ.

2.5. Tests en champ

A l'issue de leur première saison de végétation, les plants ont été transférés et transplantés dans deux sites de la région de Djelfa, situés à Oued Sdar (20 km au sud de Djelfa) et Moudjebara (15 km à l'est de Djelfa), pour le test de provenances élargi et à Saf Saf (70 km au sud de tébessa), pour le test restreint.

2.5.1. Caractéristiques écologiques des sites de test

2.5.1.1. Caractéristiques géographiques et édaphiques

Les données sur les caractéristiques géographiques et édaphiques des sites de test sont consignées dans le tableau 2 ci-dessous. Les sols y présentent deux horizons A1 et A2.

Tableau 2. Caractéristiques géographiques et édaphiques des zones de test. A1 : horizon éluvial; A2 : horizon illuvial. SL : sablo-limoneux ; LS : limono-sableux. Les analyses pédologiques ont été effectuées par l'équipe du laboratoire de Pédologie de l'INRF à Baïnem.

	Test élargi				Test restreint	
	Oued Sdar (Djelfa)		Moudjebara (Djelfa)		Saf Saf (Tébessa)	
Latitude (Nord)	34° 31'		34° 23'		34° 55'	
Longitude (Est)	3° 25'		3° 18'		8° 07'	
Altitude (m)	1150		1230		840	
Bioclimat	semi-aride froid		semi-aride froid		semi-aride frais	
Géologie générale	marno-calcaires, marnes, conglomérats, croûtes calcaires		marno-calcaires, marnes, conglomérats, croûtes calcaires		Marno-calcaires	
Horizon	A1	A2	A1	A2	A1	A2
Couleur	Brun	Brun clair	Brun foncé	Brun	Brun	Brun clair
Epaisseur (cm)	10	16	23	27	25	35
Texture	SL	LS	LS	LS	LS	LS
PH	7	7.2	8.2	8.2	7.6	7.8
% matière organique	1.65	0.89	1.90	1.33	0.99	0.86
% calcaire total	17.45	19.28			28.30	34.40
% calcaire actif	12.75	16.25			13.00	10.60

Interprétation pédologique

L'interprétation donnée ici résulte des analyses de laboratoire effectuées à l'INRF sur des échantillons de sol prélevés lors de nos sorties sur le terrain ainsi que d'autres informations disponibles résultant, notamment, des travaux de Pouget (1980) et de Kadi Hanifi (1998).

Les sols des zones de tests sont peu érodés et une texture limono-sableuse à sablo-limoneuse. Le pH est proche de la neutralité (Oued Sdar) ou légèrement basique (Moudjebara et Saf Saf) ; le sol présente un taux de calcaire total supérieur à 10% qui augmente en profondeur. On y observe un faible taux de matière organique, cependant, suffisant, grâce aux composés humiques qui en dérivent, pour conférer aux sol une couleur brune.

Ces sols sont fragiles et pauvres, tributaire de leur couverture alfatière ; ils appartiennent, selon la *classification Française des sols*, à la classe des sols calcimagnésiques à croûte calcaire (brun calcaire à croûte).

2.5.1.2. Végétation sur place

Les tests en champ d'Oued Sdar et Saf Saf ont été implantées sur des glacis à alfa et armoise blanche ; par contre, celui de Moudjebara est installé dans une zone de reboisement de pin d'Alep.

2.6. Protocoles et dispositifs expérimentaux

2.6.1. Essai de provenances élargi (Oued Sdar et Moudjebara)

Les mêmes protocoles et dispositifs ont été mis en œuvre dans les deux sites ; de ce fait, les analyses inter-sites, notamment l'analyse de l'interaction génotype x environnement, seront particulièrement appropriées

.Préparation du terrain

Ouverture de lignes de potets de dimensions approximatives de 30 cm x 30 cm x 30 cm, espacées de 2 m ; les potets, sur la même ligne, sont distants de 1 m.

Ce type de préparation est bien approprié pour les plantations expérimentales en amélioration génétique (alignement des plants, constitution facile des blocs et repérage aisé des unités génétiques mises en place).

.Dispositif expérimental

Type : dispositif en *blocs incomplets complètement aléatoires* ; il est composé de 123 blocs chacun constitué de 2 parcelles unitaires (PU) qui correspondent à autant de provenances ; chaque PU comporte 3 plants de la même provenance (Tableau 3).

Le dispositif en *blocs incomplets complètement aléatoires* nous a été imposé par le fait que nous disposons d'échantillons de plants inégaux entre provenances. Si nous avions opté, par exemple, pour des dispositifs en blocs aléatoires complets, qui utilisent des effectifs de plants fixes, nous aurions été amenés, pour conserver les 7 provenances, à réduire la taille des échantillons de plants par provenance en fonction des provenances les moins représentées. Une autre alternative, aurait été d'éliminer les provenances dont le

nombre de plants est réduit. Dans les deux cas, nous aurions perdus de l'information et réduit l'efficacité des tests.

S'agissant des blocs incomplets, le nombre de modalités de traitements (ici provenances) à l'intérieur d'un bloc est inférieur au nombre total de traitements. Ce type de dispositif permet d'éliminer la partie de la variation totale (ou phénotypique) due à l'hétérogénéité intra-site au moyen d'analyses statistiques après ajustement à l'effet bloc, considéré comme un facteur subsidiaire qui permet de comparer les provenances dans des conditions relativement homogènes. L'adoption de PU de faible taille (3 plants) est susceptible de réduire fortement l'hétérogénéité intra-bloc, diminuant ainsi l'erreur expérimentale et, du coup, augmentant la précision de l'essai et la puissance des tests statistiques.

Nombre de parcelles unitaires (PU) et de plants par provenance

Le tableau 3 ci-dessous présente le nombre de PU et de plants *a priori* disponibles pour les diverses provenances. Suite à des mortalités en pépinière (120 plants perdus), ces nombres sont revus à la baisse au moment de la plantation pour certaines provenances.

Tableau 3. Nombre de PU et de plants par provenance

N° code	Provenance	Nombre de PU	Nombre de plants
1	El Aricha	2 x 69	414
2	Sebdou	2 x 67	402
3	Mecheria	2 x 33	198
4	Oued Sdar	2 x 30	180
5	Ouled Djellal	2 x 6	36
6	Aïn Oussera	2 x 39	234
7	El Biod	2 x 2	12
Total		2 x 246	1476

Tirage et Constitution (aléatoires) des blocs

Le tirage aléatoire (ou randomisation) est une étape cruciale dans la conception d'un dispositif expérimental dans le domaine de la génétique forestière et de l'amélioration des

plantes, comme dans toute expérimentation en biologie et en agronomie. En effet, l'une des hypothèses de base de la validité des analyses statistiques développées dans ce travail est l'indépendance de l'effet génotypique (ici provenance) de l'effet environnemental (matérialisé par le bloc) ; la seule voie possible d'assurer cette indépendance est, d'une part, la répartition aléatoire des génotypes dans les blocs et, d'autre part, la disposition (ou tirage) aléatoire de ces blocs dans le champ expérimental. Les résultats des deux opérations : constitution aléatoire des blocs et tirage aléatoire des blocs sont consignés, respectivement, dans les tableaux 4 et 5.

Tableau 4. Tirage (aléatoire) des blocs. Les blocs sont disposés sur les lignes à partir de la première ligne.

32	36	118	14	79	61	7	109	31	34	88	9	102	74	105	107	114	117	—	
97	27	81	111	80	3	53	112	98	12	84	39	67	87	15	93	59	72	35	—
56	57	75	19	68	120	2	103	51	62	86	82	13	92	76	26	71	108	10	—
—	43	100	90	115	106	4	70	104	5	40	91	95	123	77	58	52	64	44	—
38	37	48	30	55	29	8	22	49	17	42	33	94	18	21	1	121	16	20	60
—	66	119	46	24	69	54	122	96	45	99*	63*	85*	113*	50*	116*	11*	—	—	—
41*	6*	83*	47*	65*	89*	101*	25*	78*	28*	23*	110*	73*	—	—	—	—	—	—	—

* Blocs supprimés par manque de plants consécutivement à des mortalités en pépinière.

2.6.2. Essai de provenances restreint (SafSaf)

Cet essai regroupe l'échantillon de provenances restreint issu des récoltes effectuées dans la région de Djelfa-M'sila. Il nous permettra d'étudier l'amplitude de la variation géographique dans une portion restreinte de l'aire naturelle de l'espèce et d'examiner si, oui ou non, il peut exister à cette échelle, chez l'alfa, une structuration de la variabilité entre populations.

Préparation du terrain

Ouverture de lignes de potets (0.3m x 03 m x 0.3 m). Les lignes sont distantes de 2 m.

Dispositif expérimental

Le type de dispositif est en *blocs incomplets à composition aléatoire*. Le dispositif comprend 84 blocs au total ; chaque bloc est constitué de 4 parcelles unitaires (PU) qui correspondent à 4 provenances différentes ; la PU comporte 3 plants.

Nombre de parcelles unitaires (PU) et de plants par provenance

Le tableau 6 ci-dessous donne le nombre de PU et de plants *a priori*. Suite à des mortalités en pépinière (72 plants perdus), ces nombres sont revus à la baisse au moment de la plantation pour certaine provenances.

Tableau 5. Constitution (aléatoire) des blocs.

N° bloc	Constitution	N° bloc	Constitution	N° bloc	Constitution	N° bloc	Constitution
1	4-3	33	2-3	65	3-1	97	1-2
2	3-5	34	1-6	66	6-4	98	1-2
3	7-1	35	4-2	67	2-6	99	2-1
4	3-7	36	3-2	68	1-2	100	1-2
5	6-5	37	4-3	69	2-4	101	2-1
6	1-5	38	1-4	70	6-2	102	1-2
7	3-5	39	2-4	71	3-2	103	1-2
8	2-4	40	4-3	72	1-3	104	1-2
9	4-1	41	4-2	73	6-2	105	1-2
10	4-2	42	1-6	74	6-3	106	1-2
11	1-2	43	2-3	75	1-2	107	2-1
12	6-5	44	6-4	76	6-2	108	1-2
13	5-3	45	6-1	77	2-6	109	1-2
14	1-6	46	4-1	78	2-6	110	2-1
15	1-3	47	6-4	79	1-2	111	1-2
16	3-4	48	1-2	80	2-1	112	1-2
17	6-3	49	3-1	81	6-2	113	1-2
18	4-3	50	1-4	82	6-2	114	1-2
19	6-2	51	1-2	83	1-6	115	2-1
20	1-2	52	6-3	84	2-1	116	1-2
21	4-3	53	6-4	85	1-2	117	1-2
22	4-6	54	6-3	86	6-1	118	1-2
23	3-4	55	3-6	87	1-6	119	1-2
24	4-1	56	6-3	88	2-1	120	2-1
25	3-4	57	1-4	89	1-6	121	1-2
26	3-4	58	1-3	90	1-2	122	2-1
27	6-1	59	4-6	91	2-6	123	1-2
28	3-6	60	1-3	92	6-2		
29	2-1	61	4-6	93	6-2		
30	6-3	62	2-1	94	2-1		
31	3-4	63	1-3	95	1-2		
32	1-6	64	4-2	96	2-1		

Tableau 6. Nombre de PU et de plants par provenance

N° code	Provenance	Nombre de PU	Nombre de plants
1	Sidi Ameur (M'sila)	74	222
2	Meguessem (M'sila)	83	249
3	Mergueb (M'sila)	30	90
4	Medjedel (M'sila)	46	138
5	El Hamel (M'sila)	35	105
6	Oued Sdar (Djelfa)	67	201
Total		335	1005

Tirage et Constitution (aléatoires) des blocs

Les résultats du tirage des blocs sur les lignes sont consignés dans le tableau 7 ci-dessous.

Tableau 7. Tirage (aléatoire) des blocs. Les blocs sont disposés sur les lignes à partir de la première ligne.

45—34—33—75—10—29—82—71—53—3—52—84—61—60—49—55—14—20—4—27
—72—42—2*—79*—5—46—35*—83—54—6*—63*—44*—59—62*—78—17*—48—67
—39—76—80*—23—15*—77*—36—41*—56—74—26*—16—40—43—13*—37—50—
65—30*—12—47—24—51—19*—9—66—25—31—70*—68*—11—73—21—1—7—64*
—8*—69—81—28*—38*—32*—22—58—57—18.

* Blocs supprimés par manque de plants consécutivement à des mortalités en pépinière.

La constitution des 84 blocs est donnée dans le tableau 8 ci-dessous.

2.7. Observations et mesures

2.7.1. Evaluation en pépinière

- Pourcentage de germination
- Survie
- Longueur du plus grand limbe (Lolimb)
- Largeur du plus grand limbe (Lalimb)
- Elancement de la feuille, qui s'exprime par le rapport de la largeur du limbe sur la
 - longueur du limbe (Elimb = Lalimb/Lolimb)
- Diamètre à la base du plant (Diam)

- Hauteur de la ligule (Hlig)
- Le nombre des racines du plant (NRac)
- Longueur de la plus grande racine (LGRac)
- Le nombre de nervures du limbe (NNLimb)
- Le rapport de la longueur de la plus grande racine sur la longueur du plus grand limbe ($LGRac/LoLimb$)

Tableau 8. Constitution (aléatoire) des blocs.

N° bloc	Constitution	N° bloc	Constitution	N° bloc	Constitution
1	2-6-1-4	32	4-3-6-1	63	1-2-3-5
2	6-2-5-3	33	2-4-6-1	64	1-5-2-6
3	1-4-6-2	34	1-6-2-5	65	2-6-1-4
4	2-5-3-1	35	2-6-1-5	66	2-1-3-6
5	6-4-1-2	36	5-4-2-1	67	4-2-6-1
6	1-6-2-5	37	2-5-6-4	68	2-1-3-5
7	1-2-6-4	38	6-2-1-5	69	4-1-6-2
8	6-5-2-3	39	2-1-6-3	70	2-5-4-6
9	4-2-6-1	40	2-1-6-5	71	3-2-4-6
10	1-2-4-6	41	4-3-5-2	72	6-2-1-4
11	3-4-2-1	42	2-4-6-1	73	4-2-6-1
12	6-2-3-1	43	3-2-6-1	74	2-1-4-6
13	3-2-1-5	44	5-2-1-4	75	6-1-4-2
14	5-2-3-6	45	5-2-6-1	76	1-2-3-6
15	1-2-6-5	46	5-2-1-6	77	5-2-4-1
16	2-4-1-6	47	6-2-4-1	78	2-6-3-4
17	2-5-1-3	48	2-1-6-4	79	2-5-6-1
18	1-6-4-2	49	1-2-5-4	80	2-3-5-4
19	2-1-5-6	50	2-6-1-4	81	2-1-4-6
20	2-5-1-4	51	1-2-4-6	82	1-2-6-3
21	2-1-3-6	52	6-2-3-1	83	4-2-1-6
22	3-4-2-1	53	6-2-1-5	84	1-5-2-4
23	3-2-1-6	54	2-6-1-4		
24	2-1-6-3	55	2-6-1-3		
25	6-2-3-1	56	3-2-6-1		
26	5-2-6-1	57	6-4-2-1		
27	1-4-6-2	58	2-6-4-1		
28	6-5-2-1	59	2-1-4-3		
29	5-3-6-2	60	1-2-5-4		
30	2-6-5-1	61	6-2-4-1		
31	2-4-1-6	62	2-5-6-1		

2.7.2. Evaluation en champ

- Survie
- Hauteur du plus grand brin (HGbrin)
- Diamètre à la base du plant (Diam)
- Nombre des brins (NBrin).

La mesure du diamètre a été faite à l'aide d'un pied à coulisse (précision 0.05 mm).

2.8. Analyses statistiques

2.8.1.. Analyses univariées

2.8.1.1. Analyses de variance

Modèle de décomposition et analyses de variance traitant les données de pépinière

Le modèle mathématique linéaire suivant a été conçu pour la décomposition du phénotype (mesure effectuée sur l'individu d'observation qui est le plant) :

$$P_{ij} = \mu + p_i + e_{ij}$$

où, μ est la moyenne générale du dispositif, P_{ij} le phénotype mesuré sur le $j^{\text{ème}}$ individu de la provenance i , p_i l'effet de la $i^{\text{ème}}$ provenance (aléatoire) et e_{ij} , le résidu aléatoire, de moyenne nulle et de variance σ_e^2 qui intègre l'erreur expérimentale et l'erreur d'échantillonnage de même que les effets génétiques individuels (différences héréditaires entre individus). Ce modèle rend bien compte des sources de variation en rapport avec le dispositif mis en œuvre en pépinière (randomisation totale).

On fait l'hypothèse de l'indépendance de l'effet provenance p_i et du résidu aléatoire e_{ij} . De ce fait, on peut décomposer la variance phénotypique totale (σ_T^2) en ses composantes génotypique (σ_p^2), ou variance due à l'effet provenance, et résiduelle (σ_e^2) comme suit :

$$\sigma_T^2 = \sigma_p^2 + \sigma_e^2$$

Les effets et variances indiqués dans les modèles ci-dessus ont été estimés à l'aide d'un programme d'*analyse de variance* à un facteur de variation (provenance) fourni par le logiciel STATISTICA version 1997.

Modèle de décomposition et analyses de variance traitant les données de champ

Pour les données issues des tests en champ, les sources de variation sont plus nombreuses, et le dispositif expérimental mis au point et discuté précédemment répartit les unités expérimentales de telle façon que les effets environnementaux s'exercent de la même

façon ou presque sur toutes les provenances. Le modèle est de, ce fait, conçu de façon à rendre compte de la structure du dispositif en blocs incomplets complètement aléatoire. Ce type de dispositif est bien adapté à notre expérience du fait que nous ne disposions pas d'échantillons équilibrés pour toutes les provenances, d'une part, et qu'il permet de mieux contrôler le terrain du fait de la petite taille des blocs.

Le modèle mathématique de décomposition est dans ce cas le suivant :

$$P_{ijk} = \mu + b_i + p_j + (bp)_{ij} + e_{ijk}$$

où, P_{ijk} est le phénotype mesuré sur le $k^{\text{ème}}$ plant de la $j^{\text{ème}}$ provenance dans le bloc i , μ , la moyenne de tout le dispositif, b_i , l'effet (fixe) du $i^{\text{ème}}$ bloc, p_j , l'effet (aléatoire) de la $j^{\text{ème}}$ provenance, $(bp)_{ij}$, l'effet (aléatoire) de la parcelle unitaire (PU) comportant les plants de la $j^{\text{ème}}$ provenance dans le $i^{\text{ème}}$ bloc et e_{ijk} , le résidu aléatoire lié au $k^{\text{ème}}$ plant dans la $ij^{\text{ème}}$ PU de moyenne nulle et de variance σ_e^2 .

Sous l'hypothèse d'indépendance de ces effets (covariances nulles), la variance phénotypique ou totale est décomposée de la façon suivante :

$$\sigma_T^2 = \sigma_b^2 + \sigma_p^2 + \sigma_{bp}^2 + \sigma_e^2$$

Le dispositif n'étant pas *orthogonal* (les blocs ne sont pas croisés complètement aux provenances) et non *équilibré* (les provenances ne sont pas représentées par un nombre égale de répétitions), les effets bloc et provenance sont, en fait, partiellement confondus. Pour minimiser cette source de biais dans les estimations, nous avons procédé à un *ajustement* des données (phénotypiques) individuelles à l'effet bloc, qui est, ainsi, considéré comme un facteur subsidiaire dont la fonction principale est d'éliminer (dans une certaine mesure) l'hétérogénéité dû au terrain. Cet ajustement consiste à soustraire l'effet du bloc de la valeur mesurée sur un plant localisé dans ce bloc comme suit :

$$P'_{ijk} = P_{ijk} - \hat{b}_i$$

Les estimations dans ce modèle ont été calculées à l'aide d'un modèle de variance à deux facteurs par un programme du logiciel STATISTICA 1997.

2.8.1.2. Comparaison multiple de moyennes

Aussi bien pour les données de pépinière que celle de champ, l'analyse est prolongée par une *comparaison multiple de moyennes* dans le cas où l'effet provenance est globalement significatif (test F de l'analyse de variance significativement supérieur à la valeur tabulée de F aux mêmes degrés de liberté et à un seuil de risque de 5%). Le test que nous avons

choisi est celui de la *plus petite amplitude significative* ou **PPAS** (*Test de Newman & Keuls*) dont l'avantage, par rapport au test de la plus petite différence significative (PPDS), par exemple, est qu'il conserve le risque d'erreur global au seuil choisi.

Cette méthode compare les amplitudes observées (différences entre moyennes) pour des groupes de 2, 3...k moyennes avec l'amplitude maximum attendue. La PPAS, pour un niveau de signification de 5%, 1% ou 0.1% et pour un nombre de degrés de liberté donnés est donnée par l'expression ci-dessous :

$$PPAS = q_1(CMr/n)^{1/2}$$

où, q_1 est une valeur donnée par la table de Newman & Keuls (Dagnelie, 1975), CMr le carré moyen résiduel (égal O_e^2 issue de l'analyse de variance) et n l'effectif de plants dans chaque groupe, lorsque celui-ci est le même. Comme, dans notre travail, l'effectif de plants n'est pas égal pour toutes les provenances, on a pris comme valeur commune de n , la *moyenne harmonique* des effectifs qui s'écrit comme suit, k étant le nombre total de provenances et n_i , les effectifs de chaque provenance:

$$n_h = \frac{k}{\sum_i^k \frac{1}{n_i}}$$

cela étant, les moyennes des k populations (provenances) sont classées par ordre croissant, on détermine ensuite les amplitudes maximales admissibles relatives aux différents nombres de moyennes, et on compare ces amplitudes aux différences de moyennes correspondantes ; on traite de la même manière l'amplitude des différents groupes de $k-1$, $k-2$,... $k-n$, jusqu'au moment où l'amplitude de certains groupes de moyennes ne dépasse plus la limite admissible correspondante.

En fait, cette analyse permet, d'une part, de localiser les différences significatives entre provenances, d'autre part, d'identifier la meilleure provenance pour chaque caractère étudié. Le classement établi permet également de se rendre compte de l'existence ou non de groupes de provenances différenciées pour le caractère en question.

2.8.1.3. Liaisons entre caractères

Ces liaisons sont explorées par l'usage du coefficient de *corrélation linéaire* simple dit de *Bravais-Pearson*.

Dans le cadre de ce travail, deux types de liaisons sont examinés :

- celles pouvant exister entre les caractères mesurés sur un même individu (et par extension entre les moyennes de caractères estimées pour une même provenance),
- celles pouvant être observées entre les caractères mesurés sur les individus et des variables géographiques comme la latitude, la longitude ou encore l'altitude; elles sont, de même, estimées sur les moyennes de provenances.

Le premier type de liaisons rend compte de corrélations phénotypiques entre caractères au niveau individuel (mesures individuelles) et au niveau provenance (moyennes de provenances). L'interprétation de ces corrélations n'est pas simple. En effet, ces corrélations observées à partir de mesures brutes restent phénotypiques, intégrant l'effet du génotype de l'individu (et de la provenance) mais aussi l'effet environnemental auquel il est individuellement soumis. On ne peut donc leur donner une signification génétique. Il ne peut s'agir que d'un premier dégrossissage donnant une idée globale de l'existence de telles liaisons.

Le second type de liaisons éclaire sur les corrélations entre les caractères et les variables géographiques ; on suppose ici que le phénotype des unités génétiques examinées est le résultat d'une confrontation du génotype au milieu dans lequel il a évolué. Cette évolution pouvant aboutir à une configuration géographique particulière de la variation (existence de clines ou de variations non structurées). Ces liaisons sont précieuses pour la caractérisation du type de variation des populations de l'espèce à l'échelle de l'aire explorée.

2.8.2. Analyses multivariées

Les analyses univariées exposées ci-dessus donnent une image incomplète du profil des provenances, or il est intéressant d'accéder à une connaissance d'ensemble de ce profil. Pour cela, nous avons utilisé des méthodes d'analyse multidimensionnelle (*analyse factorielle discriminante* et *classification hiérarchique ascendante*), qui permettent de caractériser les provenances par leur profil multicaractère, aussi bien pour les données de pépinière que de champ.

2.8.2.1. Analyse factorielle discriminante (AFD)

L'analyse factorielle discriminante est particulièrement adaptée à la validation à posteriori de classification ou de groupement *a priori*. Comme toutes les analyses de données, elle effectue une rotation d'axes qui permet de placer les observations dans un hyperplan dont les directions principales de variation sont toutes orthogonales, alors que la base de l'espace multidimensionnel à partir des caractères de départ ne l'était pas (corrélation entre les caractères). Cette rotation rend mieux compte de la variation du nuage de points dans l'espace multidimensionnel. Les variances sur les axes de l'hyperplan sont les *valeurs propres* de la matrice $W^{-1} B$ (rapport des deux matrices de variance-covariance inter et intra-groupes) et les directions de ces axes, les *vecteurs propres* associés aux valeurs propres. La distance utilisée pour le groupement est la *distance généralisée de Mahalanobis*, qui est une distance euclidienne standardisée s'écrivant comme suit:

$$D^2(i, j) = (\mathbf{m}_i^k - \mathbf{m}_j^k)' W^{-1} (\mathbf{m}_i^k - \mathbf{m}_j^k)$$

où $(\mathbf{m}_i^k - \mathbf{m}_j^k)$ est le vecteur des différences entre les moyennes des provenances prises 2 à 2 pour tous les caractères (k) et W , la matrice de variance-covariance intra-provenances, laquelle est supposée homogène.

2.8.2.2. Classification hiérarchique ascendante (CHA)

La classification hiérarchique complète l'AFD en montrant la proximité des liens et les similarités qui existent entre les objets constituant les groupes mis en évidence par cette dernière. La distance utilisée est la distance euclidienne qui s'écrit:

$$D(i, j) = \left[\sum (\mathbf{m}_i^k - \mathbf{m}_j^k)^2 \right]^{1/2}$$

où, \mathbf{m}_i^k et \mathbf{m}_j^k sont les moyennes des objets i et j (provenances dans notre cas) et k, un caractère mesuré sur les objets.

L'agrégation des groupes associés est réalisée en utilisant la procédure dite des "moyennes pondérées des groupes associés" ou WPGMA (*weighted pair group method using arithmetic averages*) (Sneath & Sokal, 1973).

2.8.3.. Analyse de l'interaction Génotype x Environnement

La disponibilité de deux sites comparatifs comportant le même échantillon de provenances permet d'envisager l'étude des effets d'*interaction génotype x environnement*. Ces effets sont la traduction de comportements différentiels des provenances les unes par rapport aux autres, d'un site comparatif à l'autre. En effet, il est assez courant, dans le domaine de l'amélioration des plantes, que l'expression du potentiel d'un génotype varie d'un milieu à l'autre par rapport à celui des autres génotypes testés ; dans un site a, par exemple, le génotype i se révèle supérieur au génotype j alors que dans un site b, il lui est inférieur. Dans ce cas, les classements obtenus d'un site à l'autre changent significativement.

L'analyse de l'interaction génotype x environnement peut être abordée par des *méthodes paramétriques* comme l'analyse de variance (Wricke, 1962, Baradat, 1989) et la régression linéaire conjointe (Finlay & Wilkinson, 1963 ; Eberhardt & Russel, 1966) ou *non paramétriques* (Huehn, 1990; Harfouche, 2000).

Les méthodes paramétriques utilisent des hypothèses contraignantes (indépendance des effets, normalité des résidus, égalité des variances résiduelles) qui en font, certes, des outils intéressants mais d'un usage délicat et risqué si ces hypothèses sont mises en défaut. En outre, dans le cas des méthodes basées sur l'analyse de variance, l'existence d'effet d'échelle peuvent majorer les effets d'interaction génotype x environnement proprement dite. Dans ce cas, cet effet peut être statistiquement significatif sans pour autant que les changements de classement d'un site à l'autre soient conséquents. De plus, ces méthodes sont peu indiquées lorsque l'on a affaire à un petit nombre de sites et lorsque les dispositifs sont déséquilibrés.

Pour ces diverses raisons, et vu le nombre limité de sites dont nous disposons, nous avons utilisé une méthode non paramétrique développé par Harfouche (2000), basée sur les concepts de concordance et discordance (Kendall, 1955) entre deux séries de rangs, classés dans un ordre descendant de performance.

Partant du coefficient de concordance originel de Kendall, l'auteur a introduit de nouveaux concepts à un niveau individuel et global pour en dériver des paramètres d'analyse de l'interaction génotype x environnement dont la significativité statistique est estimable (Harfouche, 2000). La formule du coefficient de Kendall est la suivante :

$$= 1 - \frac{2D(x, y)}{n(n - 1) / 2}$$

où, D est le nombre de discordances total entre les deux classements, x, le site 1, y, le site 2 et n, le nombre de provenances, c'est-à-dire de rangs.

Ce coefficient peut varier de -1 à +1; on teste sa significativité en le comparant aux valeurs de théoriques données par une table spéciale (Kendall, 1955; Dreesbeke, 1988)

La *discordance globale* ou brute d'un génotype i donné se décompose comme suit (Harfouche, 2000) :

$$\delta_i(x, y) = d^-_i(x, y) + d^+_i(x, y)$$

où, $d^-_i(x, y)$ est la discordance à gauche du génotype i par rapport à son classement dans les deux sites x et y et $d^+_i(x, y)$, sa discordance à droite.

La discordance globale se décompose également en une *discordance nette* ou *apparente* $\Delta_i(x, y)$ (due à l'interaction G x E vraie, c'est-à-dire engendrant des changements de classement) et à une *discordance cachée* ou *cryptique* $\partial_i(x, y)$, qui elle ne s'accompagne de changements de classement. On a alors,

$$\delta_i(x, y) = \Delta_i(x, y) + \partial_i(x, y)$$

En égalisant les deux équations ci-dessus, on obtient :

$$d^-_i(x, y) + d^+_i(x, y) = \Delta_i(x, y) + \partial_i(x, y)$$

D'où,

$$\Delta_i(x, y) = d^-_i(x, y) + d^+_i(x, y) - \partial_i(x, y)$$

La *discordance nette* engendrée par un génotype i quelconque est donc la part de la discordance globale due à ce génotype causant une interaction G x E vraie (changement de classement). L'auteur a mis au point un test de signification statistique pour la discordance nette d'un génotype (Harfouche, 2000).

En termes relatifs, cette discordance nette d'un génotype i peut être interprétée comme un *indice d'interactivité* du génotype ; cet indice d'interactivité relative (IR) est formulé comme suit :

$$\text{IR} = \frac{\Delta_i(x, y)}{\sum_{i=1}^n \Delta_i(x, y)} \times 100, \quad 0 \leq \text{IR} \leq 100$$

D'un point de vue biologique, cet indice est un paramètre qui mesure la stabilité des génotypes d'un site à l'autre; plus, il est élevé plus le génotype est instable et sa performance, relativement aux autres génotypes, varie dans de larges proportions.

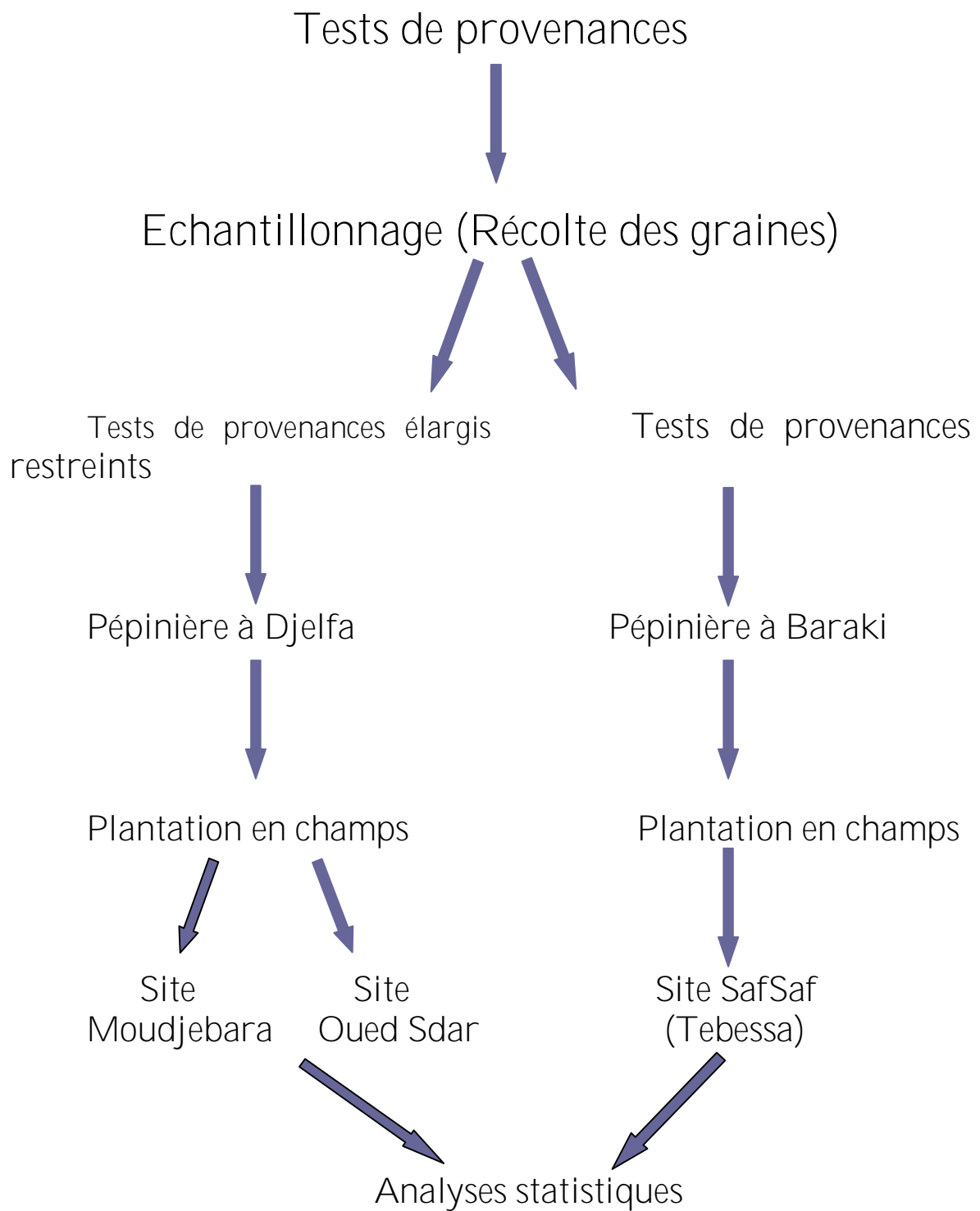


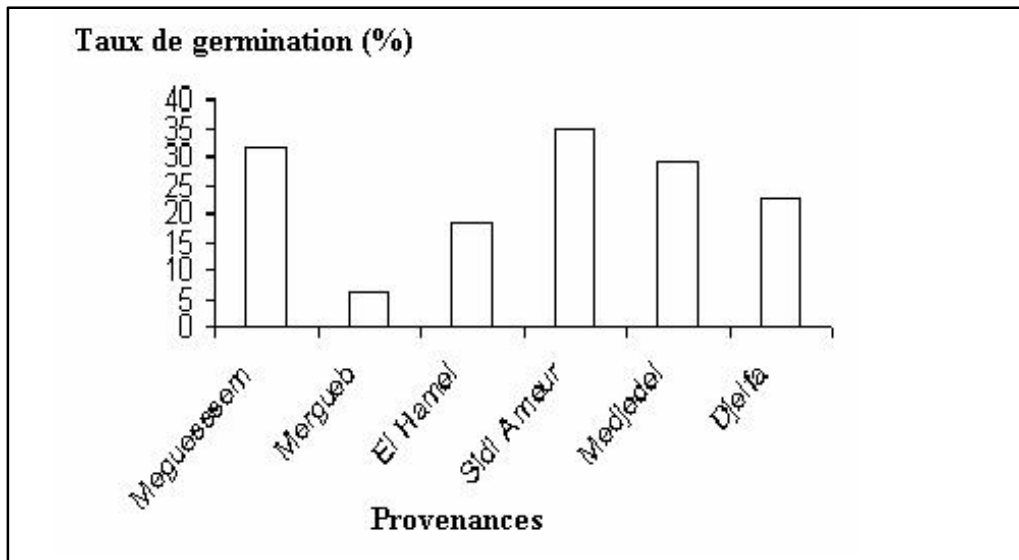
FIG 3 : Schéma de la méthodologie

111. RESULTATS ET DISCUSSION

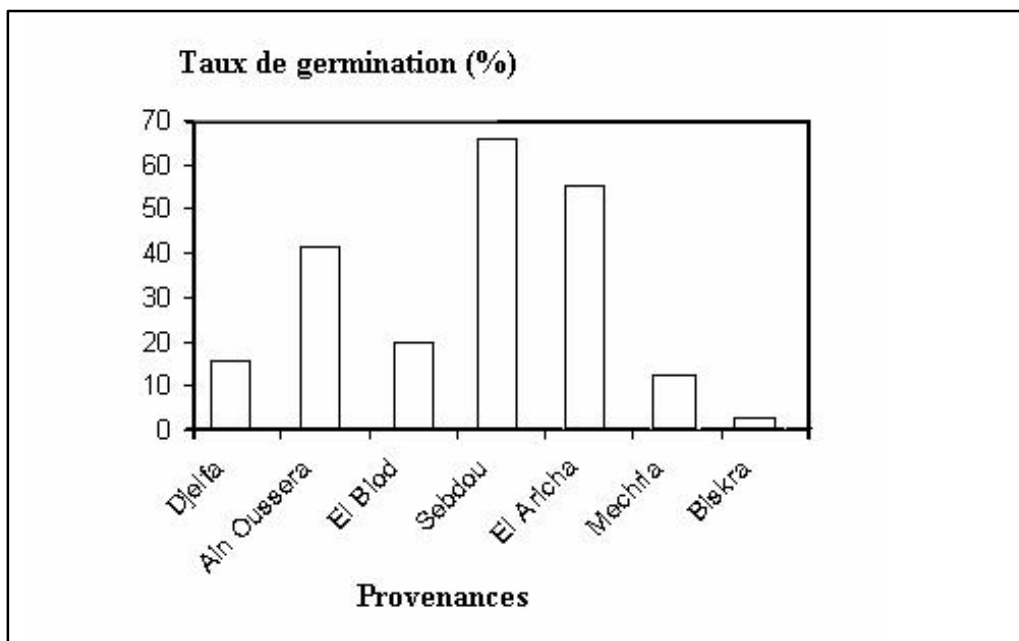
3.1. GERMINATION DES GRAINES

Avant d'aborder l'étude des caractères de vigueur et de morphologie, il n'est pas inintéressant de discuter les aspects liés à la germination des graines d'alfa. Les taux de germination observés dans les deux pépinières d'élevage (Baraki et Djelfa) sont très inégaux et varient d'un maximum de 65% pour la provenance Sebdou, élevée à Djelfa, à un minimum de 6% pour Mergueb, élevée à Baraki. En moyenne, la germination des graines est faible. Celles-ci ont été récoltées en 1995 et 1998 (années sèches) et n'ayant subi aucun traitement et aucune sélection avant le semis, on peut penser que ces faibles taux de germination peuvent être dus à l'absence de fécondation en raison de mauvaises conditions climatiques. Car selon Ghrab (1981), les touffes d'alfa produisent suffisamment de graines fertiles lorsque les conditions climatiques sont favorables ; en plus d'après Marrion (1952) et Redjeb et Agoubi (1979), cités par Ghrab (1981), les taux de germination des graines d'alfa les plus élevés (supérieurs à 70%) sont obtenus en milieu contrôlé. (pépinière, laboratoire).

Cependant dans le contexte naturel, les germinations irrégulières permettent à l'espèce de s'adapter à l'irrégularité des conditions climatiques ; c'est là un comportement opportuniste qui confère à l'espèce un avantage sélectif appréciable. On peut, par ailleurs, penser qu'un tel comportement est probablement accentué pour les populations de l'espèce soumises aux conditions les plus difficiles comme le suggèrent les résultats obtenus ici. En effet, les provenances les plus méridionales (Mécheria et Biskra), soumises à une aridité plus sévère, présentent des taux de germination plus bas que les provenances septentrionales comme Sebdou ou Aïn Oussera, relativement plus arrosées (Fig. 3).



A. Pépinière de Baraki



B. Pépinière de Djelfa

Fig. 3. Taux de germination des provenance en pépinière.

3.2. VARIABILITE DES POPULATIONS A L'ECHELLE D'UNE MEME REGION

Cette variation est celle observée dans la région alfatière s'étendant de Djelfa à M'sila et à partir de laquelle 6 provenances ont été prélevées (Fig. 2). Le comportement de cet échantillon de provenances a été étudié en pépinière à Baraki et en champ à SafSaf (wilaya de Tébessa).

3.2.1. Variation mono-caractère

3.2.1.1. Variation en pépinière

En pépinière, les mesures ont concerné la longueur du plus grand limbe (Lolimb), la largeur de ce même limbe (Lalimb), l'élanement du limbe (Elimb = Lalimb/Lolimb), le diamètre à la base du plant (Diam), la hauteur de la ligule (Hlig), le nombre de nervures du limbe (NNlimb), le nombre de racines (NRac), la longueur de la plus grande racine (LGRac) et le rapport entre la longueur du plus grand limbe (Lolimb) et la longueur de la plus grande racines (Lolimb/ :LGRac). Les mesures ont été effectuées sur 30 plants pour chaque provenance.

Les résultats de l'analyse de variance à un facteur de variation (provenances) sont consignés dans le tableau 9 ci-dessous. La synthèse du test de la plus petite amplitude significative (PPAS) qui compare les moyennes de provenances est présentée en figure 4.

Tableau 9. Résultats de l'analyse de variance sur l'effet provenance. Caractères mesurés en pépinière.

Lolimb : Longueur du plus grand limbe (cm) ; Lalimb : Largeur du plus grand limbe (mm) ; Elimb : Elancement du limbe (Lalimb/Lolimb) ; Diam : Diamètre à la base du plant (mm) ; Hlig : Hauteur de la ligule (mm) ; NNlimb : Nombre de nervures du limbe ; NRac : Nombre de racines émises ; LGRac : Longueur de la plus grande racine (cm) ; Rapport de la longueur de la plus grande racine à la longueur du plus grand limbe (LGRac/Lolimb).

Caractère	Moyenne générale	Minimum	Maximum	<i>F calculé</i>	<i>probabilité</i>
Lolimb	23.51	19.68	27.26	5.985	0.0004
Lalimb	1.3	0.5	1.5	3.707	0.0032
Elimb	0.03	0.02	0.04	1.994	0.0816
Diam	1.53	1.10	1.84	5.148	0.0002
Hlig	1.12	0.72	1.58	6.602	0.00001
Nnlimb	14.14	7.56	22.53	20.38	0.00000
Nrac	18.50	15.0	23.0	6.253	0.00002
LGRac	22.18	18.43	24.62	3.470	0.0051
LGRac/Lolimb	1.04	0.74	1.30	4.61	0.0005

L'examen du tableau 9 montre un effet provenance significatif pour tous les caractères étudiés à l'exception de l'élanement du limbe (Elimb). Le nombre de nervures du limbe (NNlimb) est celui pour lequel la dispersion observée est la plus significative ($F = 20.38$; $p < 0.00001$).

3.2.1.1.1. Variation de la vigueur et de la morphologie des parties aériennes

L'amplitude de variation de la *longueur du limbe* (Lolimb) va de 19.68 cm pour la provenance Mergueb à 27.26 cm pour la provenance de Sidi Ameer, avec une moyenne de 23.51 cm. La figure 4, qui classe les provenances selon un ordre décroissant de performance, montre l'existence de 3 groupes qui se chevauchent largement. On ne distingue pas une séparation nette des provenances en fonction de leur proximité géographique ; la variation est de type aléatoire.

La *largeur du limbe* (Lalimb) est en moyenne de 1.3 mm pour une étendue de variation allant de 0.5 mm pour la provenance Oued Sdar (Djelfa) à 1.5 mm pour Sidi Ameer. Les différences entre provenances sont globalement significatives mais le test de Newman & Keuls ne met pas en évidence une structuration géographique nette des provenances, les 3 groupes définis se chevauchant largement. Là encore, la variation entre populations semble de type aléatoire.

L'élancement du limbe ne différencie pas significativement ($F = 0.99$; $p = 0.08$) les provenances ; on n'observe pas une amplitude de variation notable pour ce caractère dont les extrêmes ne varient que dans un intervalle restreint de 0.02 à 0.04. Ce caractère décrit la forme du limbe ; dans le cas de l'alfa, les diverses populations semblent relativement uniformes en ce qui concerne l'élancement du limbe, bien que celui-ci présente des dimensions (longueur et largeur) variables d'une population à l'autre.

Le diamètre à la base du plant discrimine significativement les provenances (tableau 9). Les moyennes varient d'un minimum de 1.10 mm (Meguessem) à un maximum de 1.84 mm (Meguessem). Les provenances se classent nettement en 2 groupes, dont l'un est constitué de la provenance Mergueb, la moins vigoureuse.

Concernant la vigueur du plant, exprimée par la longueur et la largeur du limbe ainsi que son diamètre à la base, la provenance Sidi Ameer semble supérieure aux autres provenances constituant l'échantillon restreint (Fig. 4). Cette supériorité ne s'expliquerait pas par le seul effet de la pluviométrie ; en effet, cette station se trouve dans l'étage bioclimatique aride et ne serait ainsi pas avantagée par rapport à des populations comme Mergueb ou Oued Sdar, lesquelles sont soumises à un bioclimat semi-aride. On ne peut, cependant, pas exclure des pressions de sélection localisées, de nature édaphique ou géomorphologique, qui peuvent exercer des effets de compensation, notamment en rapport avec l'économie en eau du sol. Ce qui, d'ailleurs, pourrait expliquer la variation aléatoire observée pour ce caractère. Il est intéressant de noter, par ailleurs, que la provenance

Mergueb, la plus septentrionale, est globalement la moins vigoureuse (notamment en ce qui concerne la longueur du limbe et le diamètre à la base) ; cette provenance qui se situe à la bordure nord de l'aire de l'espèce peut être perçue comme une population marginale, d'où, peut être, sa vigueur plus réduite que celles des populations du centre de l'aire. Cependant, comme les plants ont été évalués à un stade juvénile en pépinière, on ne peut écarter l'existence d'éventuels effets maternels liés à la grosseur des graines ; en effet, des plants provenant de graines mieux pourvues en réserves peuvent acquérir un avantage transitoire, notamment aux premiers stades de leur vie. De tels effets sont assez fréquemment constatés chez les végétaux, notamment les espèces forestières (Wright, 1976).

La hauteur de la ligule est un caractère morphologique dont la dispersion observée est significative ; on enregistre des valeurs variant de 0.72 mm (Mergueb) à 1.58 mm (Sidi Ameur), avec une moyenne tournant autour de 1.12 mm (tableau 9). Il convient de remarquer, pour ce caractère, une certaine similitude de classement avec la longueur du limbe, notamment en ce qui concerne les provenances extrêmes ; les ligules les plus longues seraient observées sur les limbes les plus vigoureux.

Le nombre de nervures du limbe (NNlimb) est un caractère qui différencie les provenances en 3 groupes bien tranchés (pas de chevauchement). L'amplitude de variation des moyennes pour ce caractère va de 7.5 à 22.5 nervures par limbe, avec une moyenne générale s'établissant autour de 14. Comme pour les caractères précédents, il n'existe pas pour le nombre de nervures une structuration géographique en relation avec la distance géographique séparant les provenances ; on retrouve dans un même groupe des populations provenant d'une extrémité à l'autre de l'aire prospectée (par exemple, la provenance la plus au nord, Mergueb, et celle la plus au sud, Oued Sdar, se classent dans le même groupe). Ce caractère semble lié à la largeur du limbe, si l'on se réfère à une certaine similarité existant entre les classements des deux caractères. La signification biologique et morphologique de cette liaison est évidente, les populations présentant des limbes larges développent également un nombre de nervures plus important.

3.2.1.1.2. Variation de la biomasse racinaire

La biomasse racinaire développée peut donner un aperçu sur l'allocation des ressources nutritives au profit de l'un ou l'autre des compartiments aérien et racinaire. Certaines provenances investissent préférentiellement dans un compartiment plutôt que dans l'autre comme le montrent les résultats obtenus en pépinière et illustrés par le nombre de racines (NRac) émis par les plants et par la longueur de la plus grande racine (LGRac) ainsi que par le rapport de la longueur de la racine à la longueur du limbe (LGRac/Lolimb). Ces caractères sont très intéressants en ce sens qu'ils peuvent être interprétés en terme d'adaptation des populations à l'aridité ; on peut supposer, en effet, que les provenances présentant les plus grands rapports partie racinaire/partie aérienne seraient les plus aptes à résister à des épisodes de sécheresse prolongées. Des résultats qui vont dans ce sens ont déjà été obtenus sur d'autres graminées (Sharp & Davies, 1979 ; Westgate & Boyer, 1985) et sur des arbres forestiers (Harfouche, 2003).

Le nombre moyen de racines (NRac) émises varie de 15, chez la provenance Mergueb, à 23, chez la provenance Meguessem ; la moyenne générale est de 18.5. La dispersion observée est statistiquement significative. Le test de Newman & Keuls met en évidence l'existence de 3 groupes qui se chevauchent ; cependant, les provenances extrêmes, Meguessem, d'une part, Sidi Ameer et Mergueb, d'autre part, sont nettement séparées. La variation observée est de type aléatoire.

La longueur de la plus grande racine (LGRac) varie dans l'intervalle de 18.43 cm (Sidi Ameer) à 24.62 cm (Oued Sdar) ; la moyenne générale est de 22.18 cm. Le test F de l'analyse de variance (tableau 9) montre un effet provenance significatif. La comparaison multiple des moyennes (test de Newman & Keuls) classe les provenances en 3 groupes qui se chevauchent assez largement mais les provenances extrêmes (Sidi Ameer et Oued Sdar) se différencient bien l'une de l'autre. La variation observée est également de type aléatoire.

L'étendue de variation du rapport LGRac/Lolimb va de 0.74, chez la provenance Sidi Ameer, à 1.30, chez la provenance El Hamel, la moyenne étant de 1.04. Les différences entre provenances sont globalement significatives comme le montre la valeur du test F de l'analyse de variance (tableau 9). Le test de Newman & Keuls répartit les provenances en 2 groupes, dont le deuxième est constitué par les provenances de la subdivison de Medjedel, à savoir Medjedel, Meguessem et Sidi Ameer. Ce résultat est intéressant ; cette dernière population, qui serait la plus vigoureuse du groupe (voir paragraphe *vigueur et morphologie de la partie aérienne*) présente un rapport LGRac/Lolimb bien inférieur à la

moyenne. Cette provenance investirait dans la biomasse aérienne plutôt que dans la biomasse racinaire, ce qui ne va pas dans le sens d'une adaptation à la xéricité. Il faut remarquer que ce comportement est celui de plants élevés en pépinière, c'est-à-dire dans un milieu non limitant en eau. Mais cette remarque est valable aussi pour les autres provenances. Cependant, on ne pourra extrapoler ce comportement en pépinière à des situations de terrain que dans le cas où les effets d'interaction génotype x environnement ne sont pas importants chez l'alfa pour ce caractère.

3.2.1.2. *Variation en champ*

Le test en champ mis en place à Saf Saf (wilaya de Tébessa) a fait l'objet de deux campagnes de mesures successives, à un et deux ans d'âge après la pépinière. A l'occasion de chaque campagne, les caractères mesurés sont la hauteur du plus grand brin (HGbrin1 et HGbrin2), le diamètre de la touffe (Diam1 et Diam2) et le nombre de brins émis (NBrin1 et NBrin2) ; un comptage des plants survivants a permis d'évaluer la survie au sein de chaque provenance, ceci pour les deux campagnes (Survie1 et survie2).

Les résultats de l'analyse de variance sont consignés dans le tableau 10.

Tableau 10. Résultats de l'analyse de variance sur l'effet provenance. Caractères mesurés en champ. Survie1: Survie première année en champ ; Survie2 : Survie deuxième année en champ ; HGBrin1 : Hauteur du plus grand brin première année ; HGBrin2 : Hauteur du plus grand brin deuxième année ; Diam1 : Diamètre de la touffe première année ; Diam2 : Diamètre de la touffe deuxième année ; NBrin1: Nombre de brins première année ; NBrin2 : Nombre de brins deuxième année.

Caractère	Moyenne générale	Minimum	Maximum	<i>F calculé</i>	<i>probabilité</i>
Survie1 (%)	32.1	24.7	38.1	3.64	0.03
Survie2 (%)	20.0	15.8	24.3	1.38	0.25
HGBrin1 (cm)	20.3	18.6	21.6	0.56	0.73
HGBrin2 (cm)	24.5	22.3	26.7	0.63	0.67
Diam1 (cm)	7.0	5.6	8.5	0.66	0.67
Diam2 (cm)	11.0	9.5	12.6	1.54	0.16
NBrin1	8.0	5.4	9.1	1.38	0.25
NBrin2	12.5	9.6	14.7	0.93	0.47

Tableau 11. Résultats de la comparaison multiple des moyennes de provenances (a, b, c, représentent les groupes)
(test de la PPAS de Newman & Keuls)

Lolimb (cm)			Lalimb (mm)			Diam (mm)		
Sidi Ameer	27.27	a	Sid Ameer	1.53	a	Meguessem	1.84	a
Oued Sdar	26.23	a	Meguessem	1.46	a b	Medjedel	1.63	a
Meguessem	24.32	a b	Medjedel	1.28	b c	El Hamel	1.62	a
Medjedel	22.35	b c	Mergueb	1.23	b c	Sidi Ameer	1.58	a
El Hamel	21.22	b c	El Hamel	1.10	b c	Oued Sdar	1.43	a
Mergueb	19.68	c	Oued Sdar	0.95	c	Mergueb	1.10	b
Hlig (mm)			NNlimb			NRac		
Sidi Ameer	1.58	a	Sidi Ameer	22.5	a	Meguessem	23.0	a
Meguessem	1.41	a b	Medjedel	16.5	b	Medjedel	20.5	a b
Medjedel	1.37	b	Meguessem	16.0	b	El Hamel	18.5	b c
Oued Sdar	0.88	b	Mergueb	11.0	c	Oued Sdar	18.0	b c
El Hamel	0.74	b	El Hamel	11.0	c	Sidi Ameer	16.0	c
Mergueb	0.72	b	Oued Sdar	7.5	c	Mergueb	15.0	c
LGRac (cm)			LGRac/Lolimb					
Oued Sdar	24.62	a	El Hamel	1.30	a			
Meguessem	23.50	a b	Mergueb	1.17	a			
El Hamel	23.27	a b	Oued Sdar	1.06	a			
Mergueb	21.83	b c	Medjedel	1.01	a b			
Medjedel	21.45	b c	Meguessem	0.98	a b			
Sidi Ameer	18.43	c	Sidi Ameer	0.74	b			

3.2.1.2.1. Survie des plants

La survie globale des plants toutes provenances confondues est relativement basse dès la première année après plantation ; des 723 plants mis en terre, il ne subsiste plus que 232 (Survie1 = 32.1%). La deuxième année, il ne reste plus qu'environ 1 plant sur 5 (147 sur 723, soit Survie2 = 20%) (tableau 11). Si durant la première année de végétation, le dispositif n'a pas connu de gros problèmes, une pullulation de gerbilles (rongeur) est, par contre, à l'origine de la plupart des disparitions au cours de la deuxième année. On peut donc considérer les taux de survie durant la première année comme un indicateur plus ou moins fiable de l'adaptation des provenances testées aux conditions du site. La survie au cours de la seconde année de végétation est minorée des déprédations dues à la gerbille. Deux attitudes peuvent être adoptées vis à vis de ce fléau ; la première considérerait celui-ci comme un accident et alors les différences de survie entre populations n'auraient pas de signification du point de vue expérimental et de la sélection ; la seconde le verrait sous l'angle d'une pression de sélection naturelle et, à ce titre, participerait à la valeur sélective des populations dans le contexte d'introduction. En effet, les pressions de sélection peuvent être d'origine physique (climat, sol, géomorphologie, etc.) ou biologique (maladies, déprédations par les insectes et/ou la faune naturelle). L'adaptation d'une population à un milieu donné doit être, par conséquent, perçue comme une combinaison ou une somme de résistances et de tolérances à l'ensemble de ces pressions.

Tableau 11. Bilan de survie après les 1^{ère} (survie1) et 2^{ème} (survie2) années de croissance en champ à Tébessa. Survie2 est particulièrement basse due, en grande partie, à des déprédations par la gerbille (rongeur).

Provenance	Nombre de PU Mises en place	Nombre de plants mis enterrer	Survie1		Survie2	
			Nb Plants	Taux (%)	Nb plants	Taux (%)
Oued Sdar	14	42	16	38.1	10	23.8
Meguessem	61	183	69	37.7	40	21.8
Mergueb	19	57	21	36.8	12	21.0
El Hamel	52	156	54	34.6	38	24.3
Medjedel	40	120	31	25.8	19	15.8
Sidi Aneur	55	165	41	24.7	28	16.9
Total	241	723	232	32.1	147	20.0

La survie à l'issue de la première année de végétation en champ (survie1) présente une variation globalement significative comme l'atteste la valeur du test F et la probabilité qui en est attachée (tableau 10). Le taux de survie minimum est celui de la provenance Sidi Ameur (24.7%), le taux maximum (38.1%) celui enregistré chez la provenance Oued Sdar (Djelfa) (tableau 11, Fig. 5). Il est intéressant de constater que la provenance Sidi Ameur, la plus vigoureuse en pépinière, présente le taux de survie le plus bas à l'issue de la première année de croissance en champ. Nous avons, de plus, observé que cette provenance se distinguait de toutes les autres par un rapport longueur racine/longueur limbe nettement inférieur à 1 (croissance en faveur de la partie aérienne). Le coefficient de corrélation simple sur les moyennes de provenances entre ce rapport et survie1 atteint une valeur de 0.61. Bien que statistiquement non significative, en raison du faible nombre de degrés de liberté (ddl = 4), cette valeur assez élevée pourrait suggérer une liaison entre la capacité de survie des provenances et leur rapport longueur racine/longueur limbe, qui donne une idée de l'importance de la partie racinaire par rapport à la partie aérienne. Comme déjà discuté précédemment, ce caractère semble donc une composante importante de la valeur adaptative des provenances à des conditions de milieu dominées par l'aridité ; les provenances au système racinaire moins développé sont les plus exposées aux effets de la sécheresse. Cette adaptation morphologique des végétaux à la xéricité du milieu est observée chez de nombreux végétaux des régions biogéographiques arides et semi-arides (Elhaï, 1968 ; Huetz de Lemps, 1970 ; Frontier & Pichod-Viale, 1991).

Sur le plan pratique, cette connaissance est très importante en ce sens qu'il est possible de sélectionner dès la pépinière pour la résistance à la sécheresse grâce à l'examen de ce rapport longueur racine/longueur limbe. Toutefois, des conclusions définitives ne peuvent être émises qu'après consolidation de ces résultats.

Les taux de survie observés en deuxième année ne sont pas significativement différents d'une provenance à l'autre et ils sont relativement faibles pour toutes les provenances (tableau 11, Fig. 5). Les dégâts dus à la gerbille sont élevés, et aucune des provenances étudiées ne semble à l'abri des déprédations par ce rongeur. Ceci montre la nécessité de soins et de traitements préventifs contre ce type de déprédations afin de donner aux plantations d'alfa le maximum de chances de succès. Il faut rappeler que nos essais en champ, hormis une protection contre le bétail, n'ont bénéficié d'aucune mesure technique de soutien (arrosage, binage, etc.) de nature à les soustraire à l'influence des facteurs physique et biologiques de la station. Les résultats obtenus dans ces conditions peuvent

donc être considérées comme minimales et on peut espérer des taux de réussite plus élevés en plantation de masse pour peu que celles-ci soient l'objet d'entretien et de suivi.

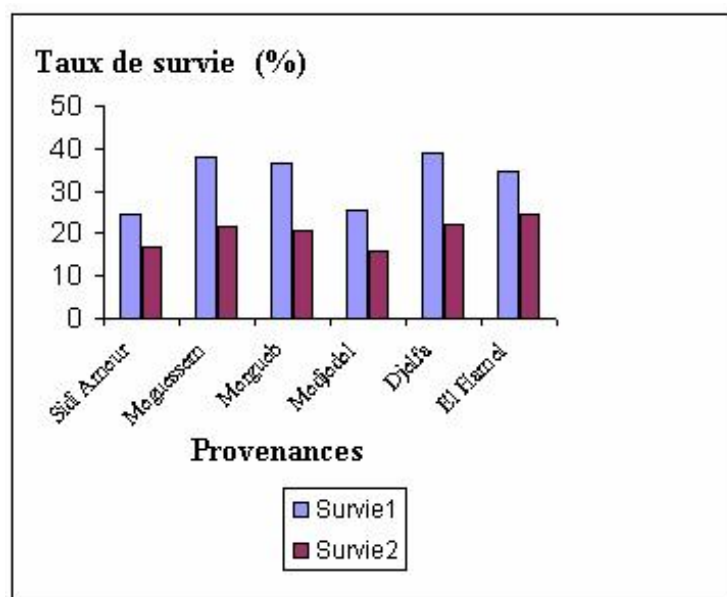


Fig. 5. Survie (1^{ère} et 2^{ème} années) en essai de champ à Tébessa

3.2.1.2.2. Variabilité de la vigueur des plants

Hauteur des plants

La hauteur du plus grand brin atteint une moyenne générale de 20.3 cm à la fin de la première année de croissance (HGbrin1). L'étendue de variation va de 18.6 cm, chez la provenance Oued Sdar, à 21.6, chez la provenance Medjedel ; les moyennes ne sont pas significativement différentes (tableau 11). En deuxième année (HGbrin2), la moyenne générale est de 24.5 cm ; les valeurs extrêmes, observées chez les mêmes provenances, sont de 22.3 cm, pour le minimum, et de 26.7 cm, pour le maximum. Les différences entre moyennes de provenances ne sont pas significatives (tableau 10). Cependant, il n'est pas inintéressant de noter que les deux populations (Mergueb et Oued Sdar) provenant de zones semi-arides occupent les deux dernières places du classement pour la hauteur du plus grand brin. Le test en champ étant localisé en zone semi- aride. Bien que ces deux provenances ont été plantées presque dans les mêmes conditions d'environnement de leur milieu d'origine, se trouvent moins tolérantes que leurs homologues des zones arides, en ce qui concerne la croissance en hauteur.

Diamètre des plants

Les plants constituent des touffes dès leur première année de croissance car ils émettent un faisceau de brins à partir de leur base. Le diamètre des plants est donc celui de la touffe qui les constitue. La moyenne générale atteint 7 cm à la fin de leur première saison de végétation en champ ; le minimum (5.6 cm) est observé chez la provenance Meguessem, le maximum (8.5 cm) chez la provenance El Hamel. Les moyennes des provenances ne sont pas significativement différentes comme le montre la valeur du test F de l'analyse de variance (tableau 10). En deuxième année, le diamètre moyen des touffes est de 11.0 cm avec une étendue de variation allant de 9.5 cm à 12.6 cm (différences non significatives au seuil de 5%, tableau 10).

Nombre de brins constituant le plant

Le nombre moyen de brins à l'issue de la première saison de croissance en champ varie de 5.4 chez la provenance Medjedel à 9.1 chez la provenance El Hamel (différences non significatives au seuil de 5%, tableau 10) avec une moyenne générale de 8.0. La deuxième année, on enregistre une moyenne générale de 12.5 avec un minimum de 9.6 brins/plant chez la provenance Medjedel et 14.7 brins/plant chez la provenance Oued Sdar. Les différences ne sont pas significatives au seuil de 5% (tableau 10).

Les différences entre populations ne sont pas prépondérantes sur les différences à l'intérieur des populations pour la vigueur après deux saisons de croissance en champ contrairement à ce qui a été observé en pépinière.

Interaction génotype x âge

Le classement des provenances pour la croissance en hauteur ne varie pas d'une façon significative entre les deux années de mesure comme le montre la figure 6 et la valeur du coefficient de corrélation des rangs de SPEARMAN ($r_s = 0.94^{**}$). Il en va de même pour la croissance en diamètre (fig. 7) dont le coefficient de corrélation des rangs est significatif au seuil de 5% ($r_s = 0.82^*$). D'un point de vue biologique, cela signifie que les effets d'interaction génotype x âge pour ces caractères sont réduits chez cette espèce durant les deux premières années de la vie des plants, ce qui peut traduire une constance dans le temps du pool de gènes contrôlant ces caractères. Par contre, le nombre de brins par plants semble plus sensible à de tels effets puisque le coefficient de corrélation des rangs n'est pas

significatif au seuil de 5%) ($r_s = 0.66^{ns}$) ; en effet, les changements de classement pour ce caractère sont plus marqués (fig. 8). Cependant, un artefact statistique ne peut être écarté dans ce dernier cas ; en effet, la mortalité entre les deux années est telle que l'effet d'interaction ainsi enregistré pour ce caractère peut tout simplement être dû au fait que les observations ont porté sur des groupes d'individus qui ne sont plus tout à fait les mêmes (ceux qui ont disparu ne participent plus à la caractérisation de la provenance à laquelle ils appartiennent). De plus, le changement de classement le plus conséquent est dû à la provenance Oued Sdar qui comporte un effectif réduit (16, la première année, 10, la deuxième).

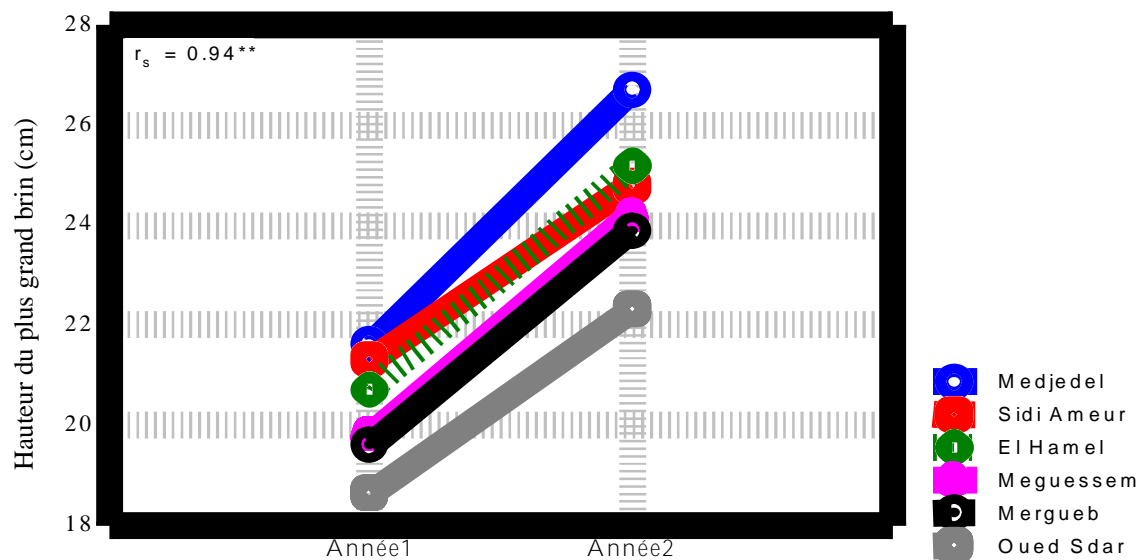


Fig. 6. Diagramme montrant l'absence d'effets d'interaction génotype x âge pour la croissance en hauteur (Hauteur du limbe).

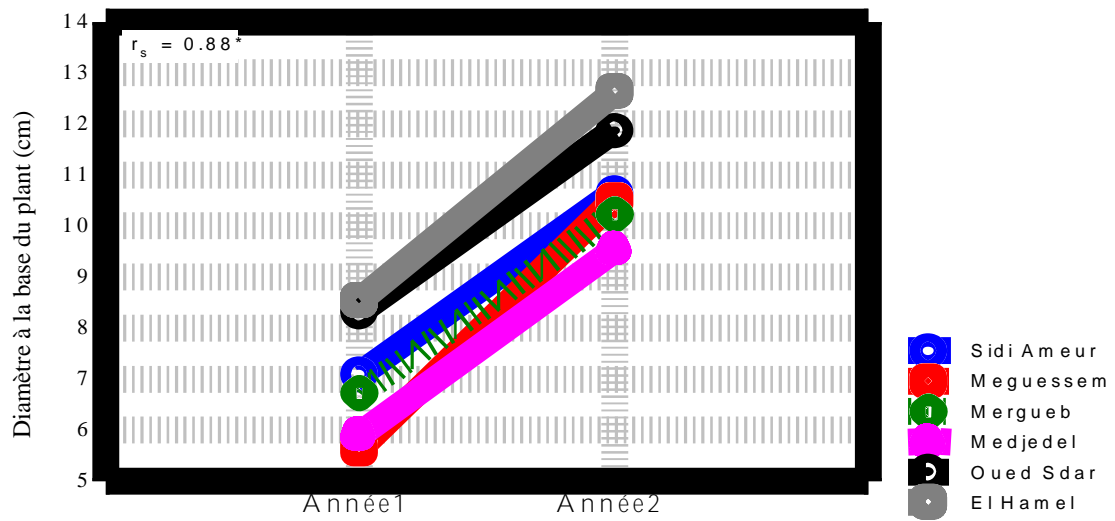


Fig. 7. Diagramme montrant l'absence d'effets d'interaction génotype x âge pour la croissance en diamètre.

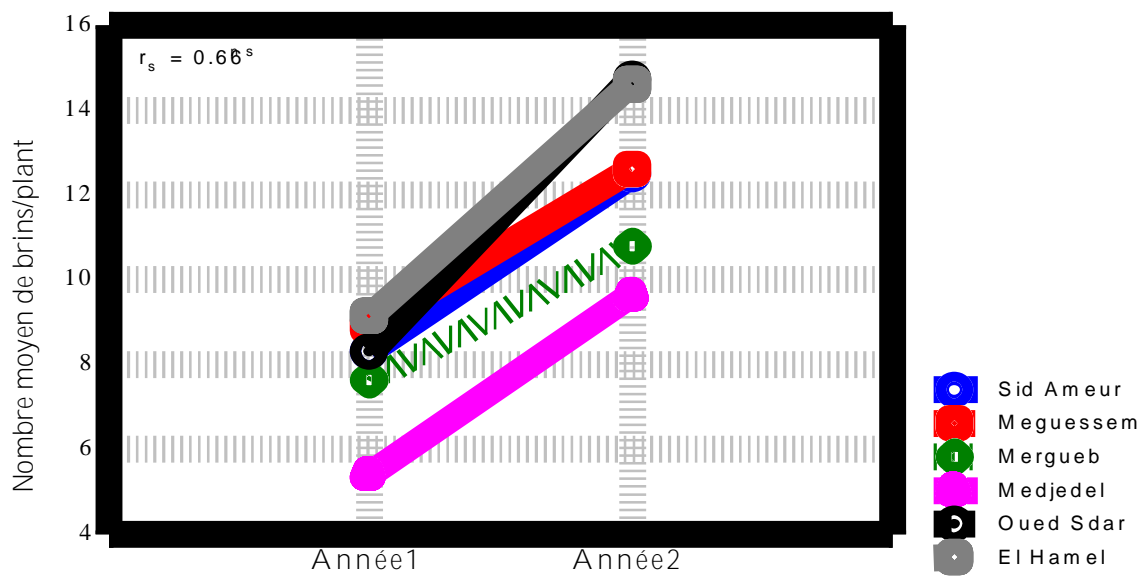


Fig. 8. Diagramme montrant l'existence probable d'effets d'interaction génotype x âge.

3.2.2. Liaisons entre caractères

Ces liaisons sont examinées à l'échelon individuel, c'est-à-dire à partir des mesures phénotypiques effectuées sur les plants.

3.2.2.1. *Evaluation en pépinière*

Les liaisons entre caractères sont illustrées par les valeurs du coefficient de corrélation simple et les diagrammes de régression linéaire reportées dans le tableau 12 et les figures 9, 10, 11 et 12 ci-dessous. L'examen de ce tableau montre des liaisons positives significatives au seuil de 5% pour les couples de caractères suivants : (Lolimb, Diam), (Lolimb, Hlig), (Lolimb, NNlimb), (Lalimb, Diam), (lalimb, Hlig), (Lalimb, NNlimb), (Diam, Hlig), (Diam, NNlimb) et (Hlig, NNlimb). Des liaisons négatives sont observées pour deux couples de caractères : (LGRac, Hlig) et (LGRac, NNlimb).

Les liaisons positives concernent des couples de caractères liés à la vigueur ou à la morphologie de la partie aérienne (Lolimb, Lalimb, Hlig et NNlimb). Bien que qu'il s'agisse de corrélations phénotypiques, il est logique de penser (d'autant plus que les conditions de culture sont relativement homogènes en pépinière) que ces caractères sont contrôlés par des groupes de gènes en partie communs ou génétiquement liés. En effet, ces caractères, en particulier ceux liés à la vigueur, déterminent en grande partie la valeur adaptative (la fitness, des auteurs anglo-saxons) des individus et, de ce fait, constituent des ensembles de gènes co-adaptés sous diverses pressions de sélection naturelle (Falconer, 1989).

Les liaisons négatives expriment des antagonismes entre différentes parties ou organes du plant. Dans le cas présent, les couples négativement corrélés impliquent un caractère de la racine (LGRac) et deux caractères de la partie aérienne (NNlimb et Hlig)). La signification adaptative de la longueur de la racine (LGRac) est évidente : dans un milieu où l'eau est le facteur limitant principal, les génotypes exprimant un plus grand développement de la racine possèdent les plus grandes chances de survivre. On peut, de même, attribuer au nombre de nervures du limbe (NNlimb) un rôle dans la vigueur des plants (on a vu que celui-ci était positivement corrélé à la longueur et à la largeur du limbe). La liaison négative entre LGRac et NNlimb exprimerait donc un antagonisme entre la vigueur de la racine et celle de la partie aérienne, la croissance de l'un se ferait au détriment de la croissance de l'autre. Nous avons déjà discuté de la relation qui existe entre

la survie des plants sur le terrain et la valeur du rapport partie racinaire/partie aérienne. Cet antagonisme entre la croissance aérienne et la croissance racinaire, si elle se vérifie sur d'autres échantillons de populations, est de nature à compliquer la sélection de provenances aux fins de reconstitution des nappes, en particulier dans les sites arides où la pression de sélection par la sécheresse est forte. En effet, on est toujours tenté de privilégier, en matière de sélection, les géotypes les plus vigoureux ; chez l'alfa, en raison de cet apparent antagonisme, ce choix devrait être plus mesuré. D'autres critères, liés notamment à la survie qui exprime la réponse adaptative globale des populations aux conditions d'introduction, devraient être considérés. On sélectionnera alors pour la survie plutôt que pour la vigueur, la priorité, dans le cas de l'alfa, étant, à notre sens, de reconstituer un couvert végétal qui protège le sol et permet une remontée biologique. La recherche d'une amélioration de la productivité des nappes reconstituées serait possible dans une deuxième phase, car alors les conditions de milieu seraient plus propice à la croissance des plants.

Tableau 12. Liaisons entre caractères au niveau individuel en pépinière. Les calculs sont effectués sur 180 individus (ddl = 178). Les coefficients de corrélation statistiquement significatifs sont marqués en gras.

Caractères	Lolimb	Lalimb	Diam	Hlig	NNlimb	NRac	LGRac
Lolimb	1						
Lalimb	0.07	1					
Diam	0.20	0.19	1				
Hlig	0.16	0.18	0.18	1			
NNlimb	0.38	0.23	0.22	0.38	1		
NRac	-0.03	-0.03	0.01	0.05	-0.01	1	
LGRac	0.07	-0.06	0.06	-0.18	-0.21	0.02	1

3.2.2.2. Evaluation en champ (Saf Saf, Tébessa)

Les calculs de corrélations individuelles (phénotypiques) entre caractères au champ ont été effectués sur un total de 232 et 147 observations, les première et deuxième année de végétation, respectivement. La disponibilité d'observations sur deux années nous a permis de mesurer l'intensité des liaisons entre caractères dans le temps (corrélations âge-âge). D'un point de vue génétique, l'existence ou non de corrélations âge-âge signifie que le pool de gènes contrôlant le caractère en question est plus ou moins stable dans le temps. A ce propos, des travaux portant sur des caractères qualitatifs comme les isoenzymes (Pasteur et al., 1987) et quantitatifs comme la hauteur ou ses composantes (Atchley, 1984 ; Kremer,

1992) ont montré que les gènes ou groupes de gènes affectant ces caractères étaient progressivement modifiés avec le temps. Ceci n'est pas la cause unique de la variation dans le temps des liaisons entre caractères ; des effets d'interaction génotype x milieu générés par des fluctuations importantes des conditions de milieu, notamment climatiques, peuvent également être invoqués (Harfouche, 2003).

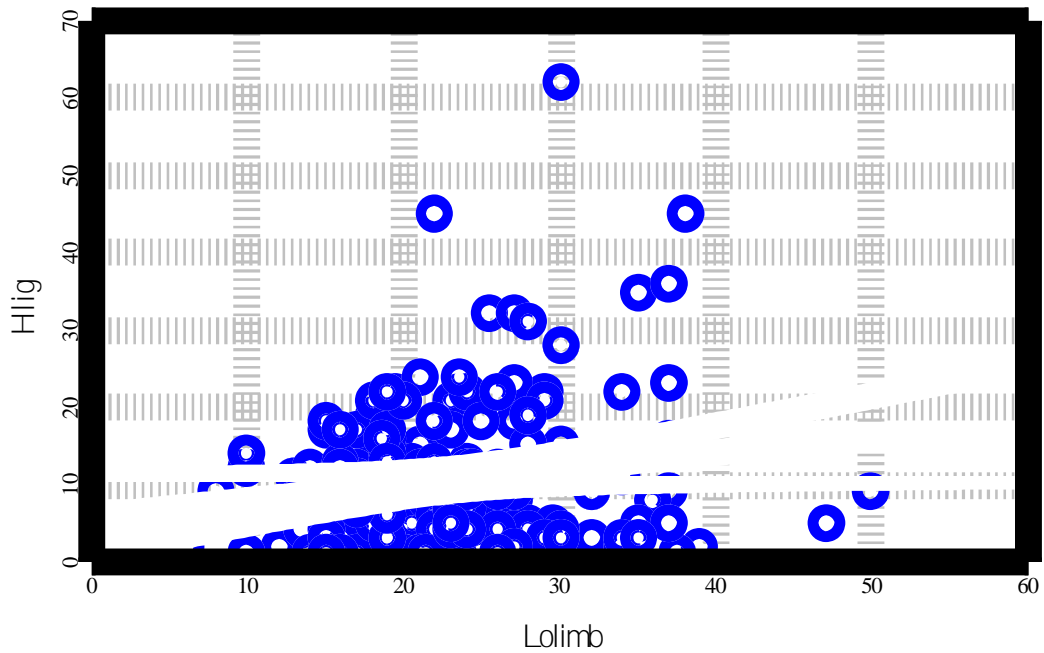


Fig. 9. Diagramme de régression de la hauteur de la ligule (Hlig) sur la longueur du limbe (Lolimb).

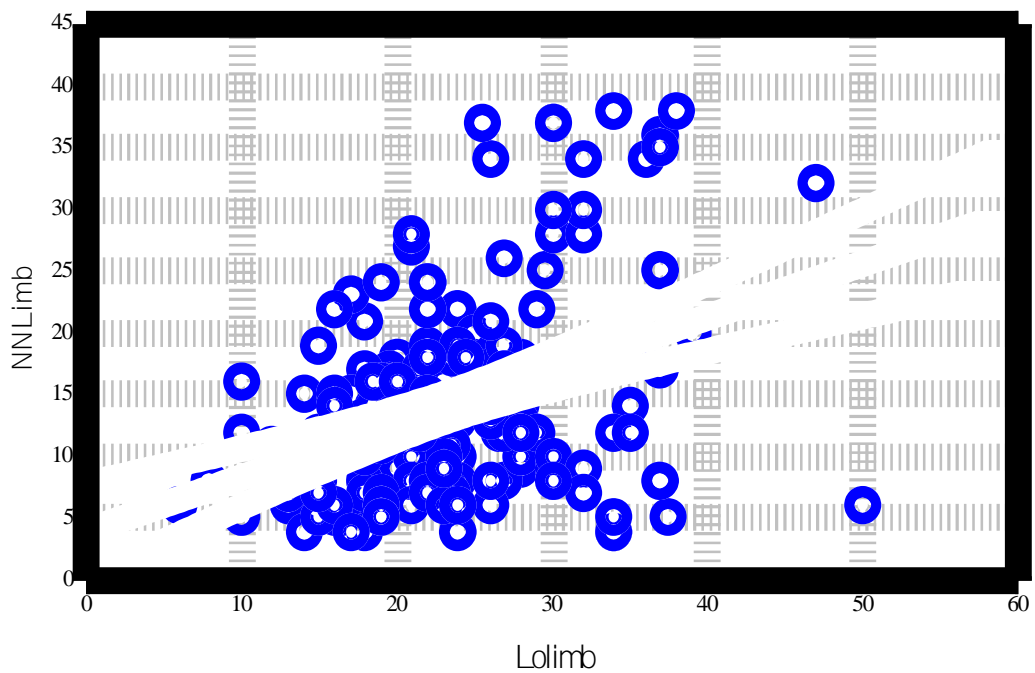


Fig. 10. Diagramme de régression du nombre de nervures du limbe (NNLimb) sur la longueur du limbe (Lolimb).

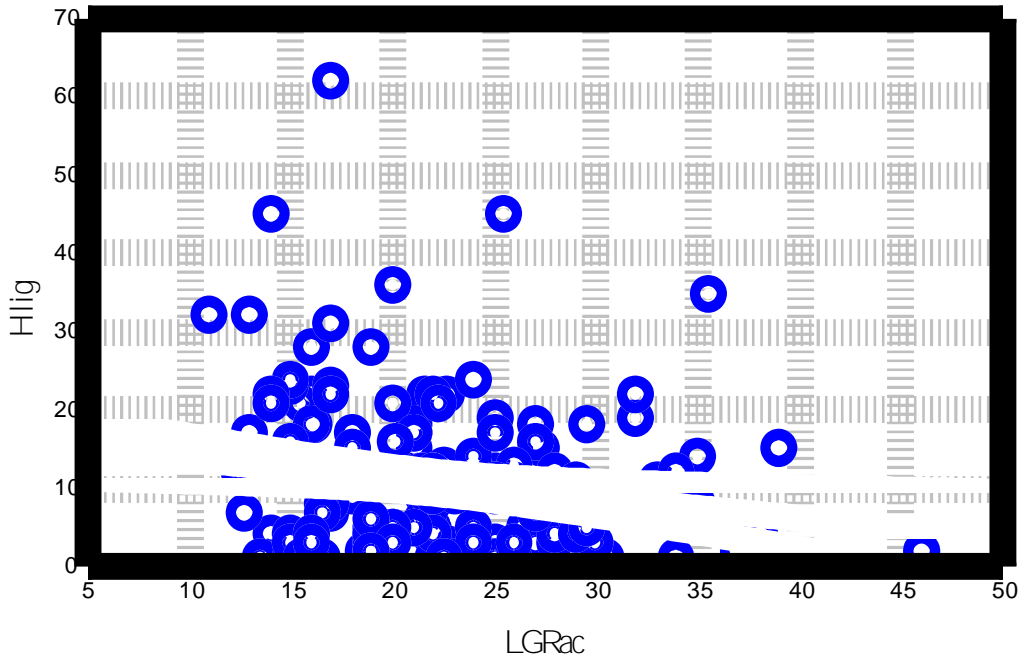


Fig. 11. Diagramme de régression de la hauteur de la ligule (Hlig) sur la longueur de la plus grande racine (LGRac).

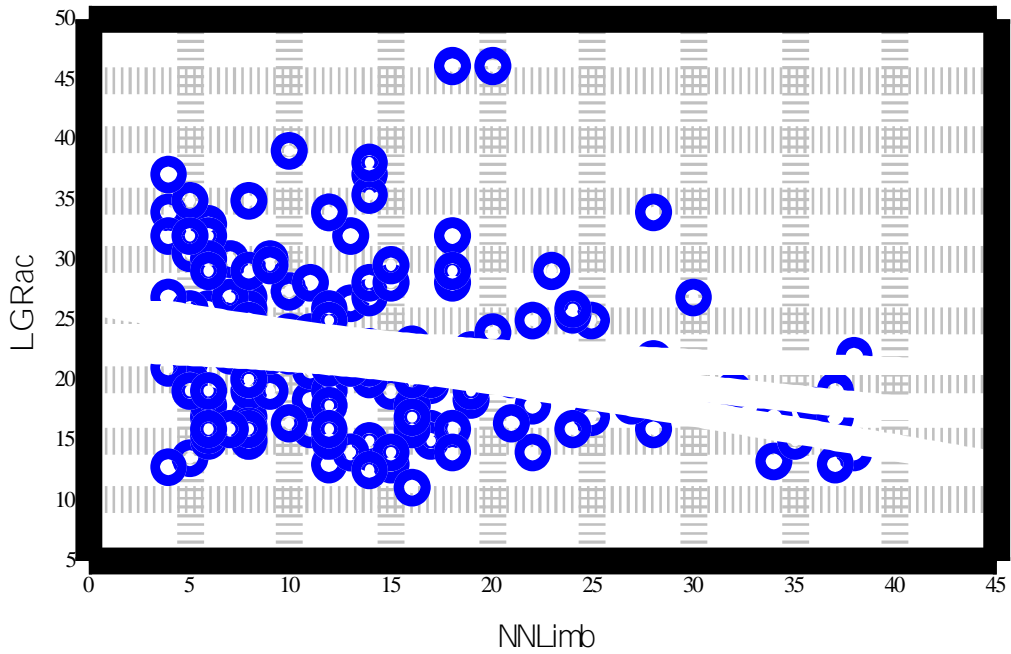


Fig. 12. Diagramme de régression du nombre de nervures du limbe (NNLimb) sur la longueur de la plus grande racine (LGRac).

Les valeurs des coefficients de corrélation entre la hauteur du brin principal (HGBrin1 & 2), le diamètre de la touffe (Diam1 & 2) et le nombre de brins (NBrin1 & 2) sont données dans le tableau 13 ci-après. Les mesures sont, respectivement, identifiées par année (1, pour les mesures de la 1^{ère} année, 2, pour les mesures en 2^{ème} année).

Tableau 13. Valeurs des coefficients de corrélation entre caractères au niveau individuel en champ (Saf Saf, Tébéssa). Les calculs sont effectués sur 232 observations (ddl = 230), la 1^{ère} année, et 147 observations, la deuxième (ddl =145). Les coefficients de corrélation hautement significatifs sont marqués en gras.

Caractères	HGBrin1	HGBrin2	Diam1	Diam2	NBrin1	NBrin2
HGBrin1	1					
HGBrin2	0.75	1				
Diam1	0.05	0.04	1			
Diam2	0.02	0.07	0.48	1		
NBrin1	0.16	0.16	0.58	0.41	1	
NBrin2	0.07	0.12	0.43	0.55	0.60	1

3.2.2.2.1. Corrélations entre caractères différents

Les corrélations phénotypiques entre caractères différents d'un même plant peuvent être d'origine génétique (interactions épistastiques et/ou linkage) comme ils peuvent provenir d'une covariance environnementale significative. Dans ce dernier cas, les deux caractères en question exprimeraient des réponses plus ou moins analogues face à l'action d'un ou de plusieurs facteurs du milieu. On notera, ici, une absence de corrélation entre la croissance en hauteur (exprimée par la hauteur du plus grand brin), d'une part, le diamètre de la touffe et le nombre de brins, d'autre part. Par contre, la liaison est forte entre ces deux derniers caractères ; cela qui est aisément interprétable puisque le diamètre de la touffe développée par le plant doit être plus ou moins proportionnel au nombre de brins qui la constituent. L'indépendance entre croissance en hauteur (exprimée par la hauteur du plus grand brin) et croissance latérale du plant (exprimée par le diamètre et le nombre de brins de la touffe) est un avantage pour la sélection car on peut alors gagner sur l'un sans forcément perdre sur l'autre.

3.2.2.2. *Corrélations entre deux mesures répétées du même caractère*

On notera que les couples de caractères corrélés expriment des liaisons positives. La liaison la plus forte ($r = 0.75$) est enregistrée pour le couple (HGBrin1, HGBrin2) ; la croissance en hauteur du plus grand brin durant les deux années est probablement sous la commande du même groupe de gènes ou de groupes largement chevauchants, d'où la relative stabilité phénotypique du caractère sur deux années successives. De plus, on peut penser que le fonctionnement de ces gènes n'aura pas été profondément modifié par les conditions de milieu durant ces deux années (stabilité des conditions de fonctionnement?). Des résultats similaires ont été obtenus chez les arbres forestiers pour de courtes périodes de croissance en hauteur ; c'est le cas, par exemple, chez le pin maritime (Kremer, 1992) ou le pin brutia (Harfouche, non publié).

De même, les corrélations entre Diam1 et Diam2 ainsi qu'entre NBrin1 et NBrin2 sont significatives, exprimant probablement une stabilité dans le temps du pool de gènes contrôlant ces caractères et d'une relative constance des conditions de croissance durant les deux années d'observation..

3.2.3. Liaisons entre caractères et variables géographiques

L'examen des liaisons entre les caractères mesurés ou observés sur les plants et les variables géographiques comme la latitude, la longitude ou l'altitude des sites de récolte apporte une information sur la structure géographique de la variation observée. Cette variation peut être de type *aléatoire* lorsque les populations ne se regroupent pas selon un ordre défini par les variables géographiques considérées ou *clinale* lorsque, au contraire, elles se répartissent selon des gradients déterminés. La structure géographique observée est fonction des facteurs d'évolution (mutation, sélection naturelle, flux de gènes par migration, dérive aléatoire) mais aussi du régime de reproduction de l'espèce (Wright, 1976 ; Falconer, 1989).

3.2.3.1. *Evaluation en pépinière (Baraki)*

Dans le cas présent, les liaisons entre des caractères de vigueur ou de morphologie des parties aérienne (Lolimb, Lalimb, Elimb, Diam, Hlig, NNlimb) et racinaire (NRac, LGRac) du plant et les variables géographiques (latitude, longitude et altitude) des provenances ont été explorées. Les résultats sont rapportés dans le tableau 14.

Tableau 14. Liaisons entre caractères et variables géographiques des provenances évaluées en pépinière à Baraki. Les coefficients de corrélation statistiquement significatifs sont marqués en gras.

Caractères	Latitude	Longitude	Altitude
Lolimb	-0.31	-0.41	0.76
Lalimb	0.84	0.20	-0.36
Elimb	0.75	0.64	-0.72
Diam	0.19	0.23	0.36
Hlig	0.26	-0.16	0.12
NNlimb	0.52	0.07	0.04
NRac	0.03	0.04	0.05
LGRac	-0.49	-0.09	0.11
LGRac/Lolimb	-0.01	0.50	-0.28

L'examen du tableau 14 ne révèle qu'une seule liaison significative au seuil de 5% entre la largeur du limbe (Lalimb) et la latitude ($r = 0.84^*$). Cependant, on enregistre des coefficients de corrélation supérieurs à 0.70 entre L'élanement du limbe (Elimb) et la latitude ($r = 0.75$, significatif au seuil de 10%), La longueur du limbe (Lolimb) et l'altitude ($r = 0.76$, significatif au seuil de 10%) et entre l'élanement du limbe et l'altitude ($r = -0.72$). Les diagrammes de dispersion respectifs sont donnés dans les figures 13, 14, 15, & 16.

Ces résultats, obtenus pour un échantillon de provenances localisées dans une portion restreinte de l'aire de l'espèce, montrent l'existence éventuelle d'un gradient sud-nord pour la largeur du limbe ; les provenances du sud auraient tendance à développer un limbe moins large que les provenances du nord de l'aire prospectée. Mais cette structuration géographique de la largeur du limbe ne serait pas stricte ; en effet, les résultats précédents (voir test de Newman & Keuls, fig. 4, p. 35) permettent de se rendre compte que la provenance Mergueb, la plus septentrionale, occupait une place intermédiaire pour ce caractère. En outre, le diagramme de régression de la largeur du limbe sur la latitude (fig. 13) permet de se rendre compte que la provenance Oued Sdar, la plus méridionale, se singularise par rapport aux cinq autres populations par sa position proximale à l'origine ; ce point du nuage de dispersion "tire" la régression et contribue fortement au coefficient de corrélation. Son élimination des calculs fait chuter la valeur du coefficient à 0.59, qui reste

à priori assez élevée en valeur absolue mais non significatif au plan statistique. C'est pourquoi un tel résultat doit être interprété avec prudence et demande une confirmation.

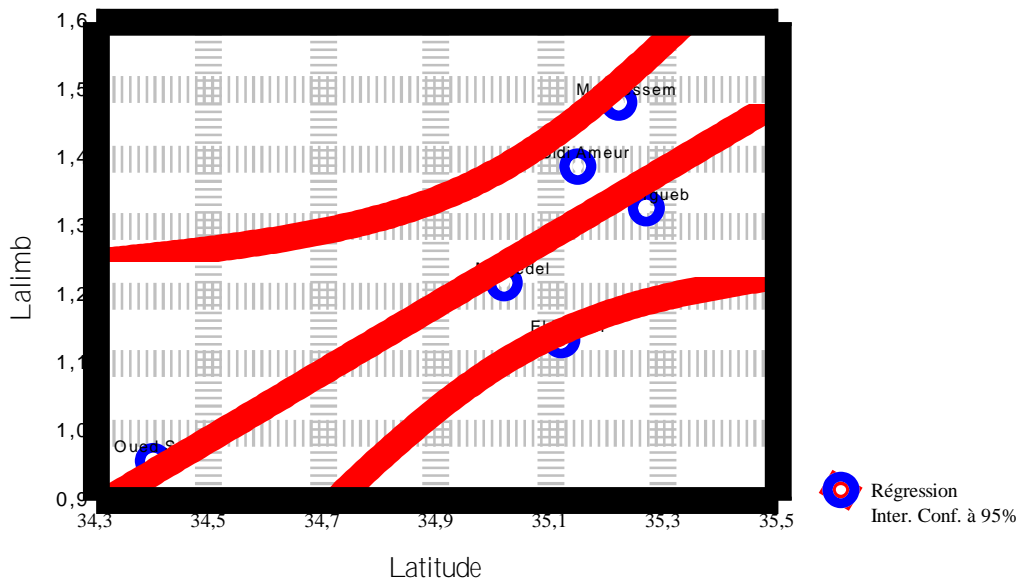


Fig. 13. Diagramme de régression du nombre de la largeur du limbe (Lalimb) sur la latitude.

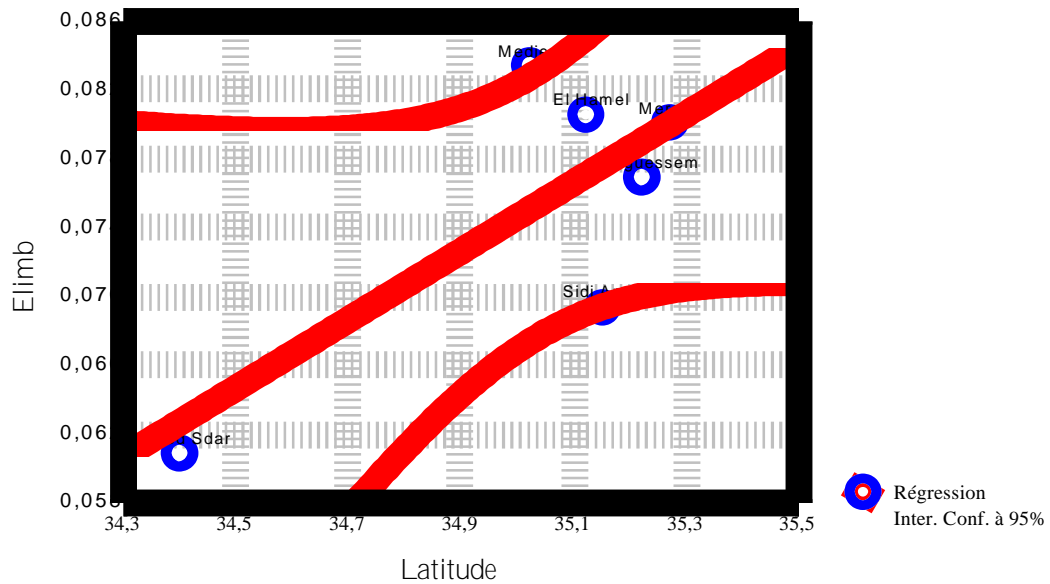


Fig. 14. Diagramme de régression de l'élançement du limbe (Elimb) sur la latitude.

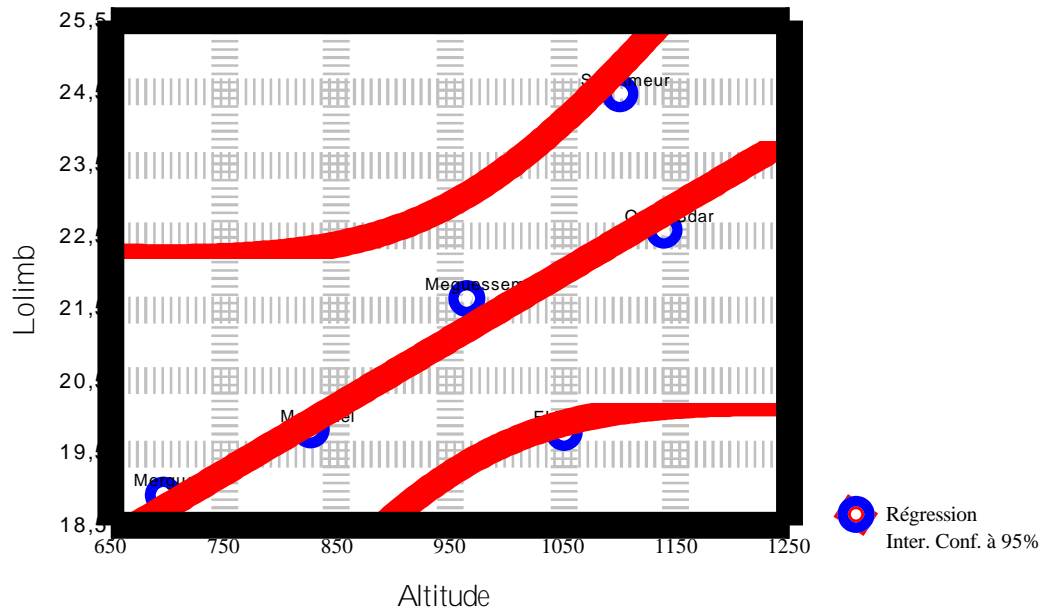


Fig. 15. Diagramme de régression de la longueur du limbe du limbe (Lolimb) sur l'altitude.

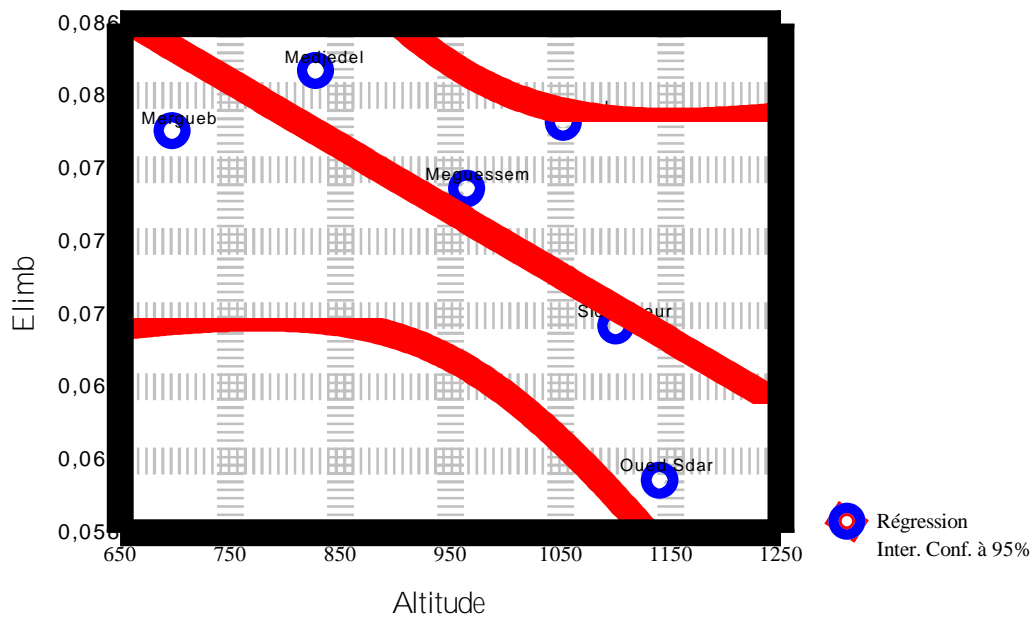


Fig. 16. Diagramme de régression de l'élanement du limbe (Elimb) sur l'altitude.

3.2.4. Variation multi-caractère

La caractérisation des provenances par le truchement de variables prises une à une comme il vient d'être fait ne donne qu'une image incomplète de son profil phénotypique global. C'est comme si on identifiait un objet composite par ses différents constituants indépendamment les uns des autres. Cette façon de faire n'indique pas comment ces différentes composantes s'agencent entre elles pour former l'objet complet ; elles occultent complètement les relations qui les unissent et qui donnent à l'objet une identité multidimensionnelle qui le distingue des autres objets auxquels il est comparé. L'un des objectifs principaux des méthodes d'analyse multi-variable est cette caractérisation multidimensionnelle qui permet d'accéder à un profil phénotypique intégré des objets étudiés. Nous avons utilisé deux méthodes complémentaires ; la première, l'analyse factorielle discriminante (AFD) dresse un classement multi-variable (discrimination) des populations dans un hyperespace ; la seconde, l'analyse hiérarchique (CHA), vient la compléter en précisant les liens de similarité qui unissent les différents objets.

3.2.4.1. Variation en pépinière

3.2.4.1.1. Analyse factorielle discriminante (AFD)

Les résultats de cette analyse sont donnés dans les tableau 15 & 16 ci-après.

Tableau 15. Résultats de l'analyse factorielle discriminante sur les 9 caractères mesurés (Lolimb, Lalimb, Elimb, Diam, Hlig, NNlimb, NRac, LGRac, Lolimb/LGRac). Valeurs propres et tests de signification.

Axe	Valeur Propre	Valeur Propre cumulée (%)	Lambda de Wilks	Chi-deux	ddl	probabilité
1	0.76	56.29	0.33	189.39	45	,000000
2	0.30	78.51	0.58	92.23	32	,000000
3	0.21	94.06	0.76	47.17	21	,000895
4	0.06	98.50	0.92	14.61	12	,263499
5	0.02	100.00	0.98	3.70	5	,593748
Total	1.35					

Le tableau 15 ci-dessous montre que seuls les trois premiers axes expliquent une part significative de la variance totale (94.06% au total pour ces 3 axes). Aussi, l'interprétation qui va suivre ne concernera-t-elle que ces axes.

Tableau 16. Résultats de l'analyse factorielle discriminante sur les 9 caractères mesurés (Lolimb, Lalimb, Elimb, Diam, Hlig, NNlimb, NRac, LGRac, Lolimb/LGRac). Corrélations caractères mesurés/axes canoniques. Les valeurs soulignées indiquent le caractère le plus explicatif de l'axe canonique considéré ; l'axe 1 est essentiellement lié au nombre de nervures du limbe ($r = -0.86$), l'axe 2 au nombre de racines ($r = 0.75$) et l'axe 3 à la longueur du limbe ($r = -0.85$).

	Axe 1	Axe 2	Axe 3
Lolimb	-0.12	-0.15	<u>-0.85</u>
Lalimb	-0.34	0.06	0.27
Elimb	-0.11	0.09	0.39
Hlig	-0.40	0.04	-0.28
Diam	-0.14	0.37	-0.27
Nnlimb	<u>-0.86</u>	-0.12	-0.25
Nrac	-0.57	<u>0.75</u>	-0.20
LGRac	0.30	0.31	-0.06
LGRac/Lolimb	0.30	0.15	0.43

L'axe 1 est essentiellement lié (négativement) au nombre de nervures du limbe (NNlimb). Les provenances situées à gauche de cet axe sont celles qui développent le plus grand nombre de nervures. L'axe 2 est surtout expliqué par le nombre de racines (NRac) ; la liaison étant positive, les provenances qui expriment le plus grand nombre de racines sont celles situées dans la partie supérieure de l'axe. Enfin, l'axe 3 est négativement corrélé à la longueur du limbe (Lolimb) ; les provenances aux limbes les plus longs sont celles qui se trouvent à l'extrémité gauche de cet axe.

Si l'on se réfère aux plans 1-2 et 1-3 (Fig. 17 & 18), il semble se dessiner une certaine structuration géographique à l'échelle de l'aire étudiée ; sur le plan 1-2, les provenances Medjedel et Meguessem constituent un groupe distinct ; sur le plan 1-3, elles semblent s'associer à Sidi Ameur. Ces trois provenances appartiennent à un même arrondissement administratif (Daïra de Medjedel) ; la proximité géographique semble donc se traduire par une proximité phénotypique multi-caractère. Il convient de noter qu'une telle structuration géographique n'a pu être clairement mise en évidence par l'analyse univariée (analyse de variance et test de Newman & Keuls) que pour le nombre de nervures du limbe. D'où l'intérêt dans ce type de recherches de combiner plusieurs méthodes statistiques.

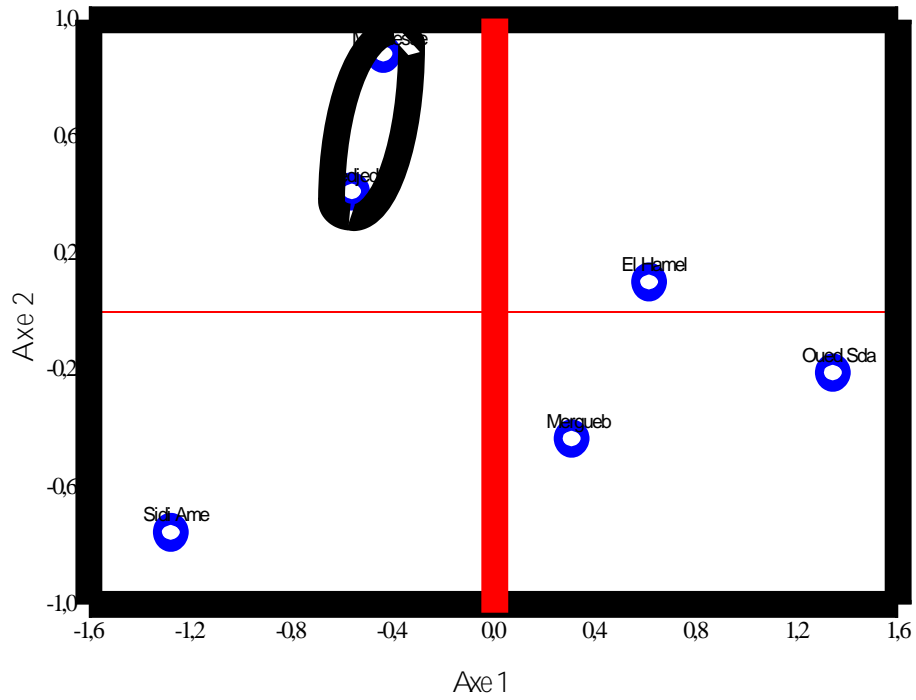


Fig. 17. Plan 1-2 de l'analyse factorielle discriminante.
Remarquer l'individualisation des provenances de la région de Medjedel.

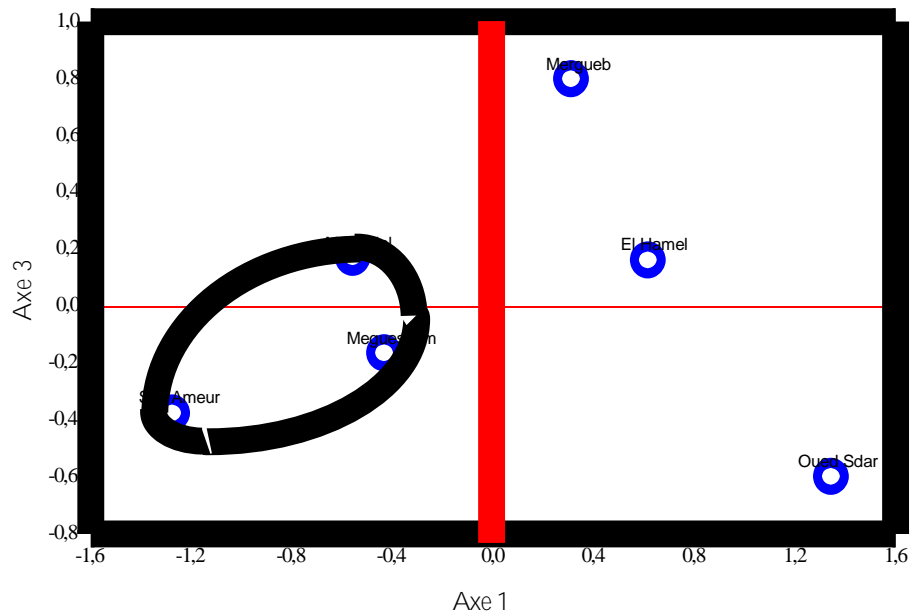


Fig. 18. Plan 1-3 de l'analyse factorielle discriminante.
Remarquer l'individualisation des provenances de la région de Medjedel.

3.2.4.1.2. Classification hiérarchique (CHA)

Les résultats de la classification hiérarchique ascendante (Matrice des distances euclidiennes, agrégation finale) sont consignés dans les tableaux 17 & 18 ci-dessous.

Tableau 17. Résultats de la classification hiérarchique sur les 9 caractères mesurés (Lolimb, Lalimb, Elimb, Diam, Hlig, NNlimb, NRac, LGRac, Lolimb/LGRac). Matrice des distances euclidiennes.

	Mergueb	Meguesse	Sidi Ame	El Hamel	Medjedel	Oued Sda
Mergueb	/					
Meguesse	10.8	/				
Sidi Ame	15.6	11.8	/			
El Hamel	3.9	8.3	15.9	/		
Medjedel	10.3	4.0	9.6	9.0	/	
Oued Sda	6.5	10.9	18.2	4.7	12.1	/

Tableau 18. Résultats de la classification hiérarchique sur les 9 caractères mesurés (Lolimb, Lalimb, Elimb, Diam, Hlig, NNlimb, NRac, LGRac, Lolimb/LGRac). Agrégation Finale (Moyennes pondérées des groupes associés : WPGMA ; distances euclidiennes).

Distance d'agrégation	Obj. No 1	Obj. No 2	Obj. No 3	Obj. No 4	Obj. No 5	Obj. No 6
3.93	Mergueb	El Hamel				
4.00	Meguesse	Medjedel				
	m					
5.57	Mergueb	El Hamel	Oued Sdar			
10.53	Mergueb	El Hamel	Oued Sdar	Meguesse	Medjedel	
				m		
13.85	Mergueb	El Hamel	Oued Sdar	Meguesse	Medjedel	Sidi Ameur
				m		

Ces résultats sont illustrés par le dendrogramme donné ci-après (Fig. 19). On y constate de prime abord la constitution de deux groupes, l'un comportant une provenance unique (Sidi Ameur), l'autre deux sous-groupes formés de Medjedel et Meguessem, d'une part, Mergueb, El Hamel et Oued Sdar, d'autre part. On peut conclure que la provenance Sidi Ameur se distingue globalement des autres provenances, y compris celles de la même zone (Meguessem et Medjedel), ce qui confirme les résultats obtenus par l'analyse univariante.

Les deux dernières provenances (Meguessem et Medjedel) constituent toujours un groupe assez étroitement associé comme déjà observé sur les plans 1-2 et 1-3 de l'AFD. La structure observée ici (CHA) est légèrement différente de celle observée sur les plans 1-2 et 1-3 de l'AFD. Cependant, ces distorsions ne sont qu'apparentes ; en effet, l'examen d'un plan issu d'une AFD n'est qu'une image imparfaite de la structure réelle des objets dans l'hyperespace puisqu'il ne peut rendre compte de la dispersion des objets sur l'ensemble des dimensions de celui-ci.

La structure géographique détectée peut être le résultat de facteurs évolutifs comme la sélection naturelle ou autre mais le facteur humain doit être fortement impliqué. En effet, le régime de reproduction de l'alfa étant l'autogamie, les échanges de gènes par flux de pollen semblent très improbables ; les similarités qui existent entre des populations aussi éloignées les unes des autres que El Hamel, Mergueb et Oued Sdar ne semblent pouvoir s'expliquer que par une migration de gènes par graine. On peut, en effet, concevoir un transport de graines par les vents et par les troupeaux d'animaux domestiques qui nomadisent dans la région depuis des siècles voire des millénaires. Le transport des graines par les troupeaux a également été invoqué chez le riz, autre graminée autogame, pour expliquer l'existence d'un continuum de formes interspécifiques dans les rizières mal entretenues au Mali (Charrier & Second, 1992). Des effets de fondation (colonisation récente?) ou des pressions de sélection naturelle particulièrement fortes et divergentes peuvent être la cause des différences observées entre les provenances de la zone de Medjedel (Sidi Ameer, d'un côté, Megussem et Medjedel, de l'autre).

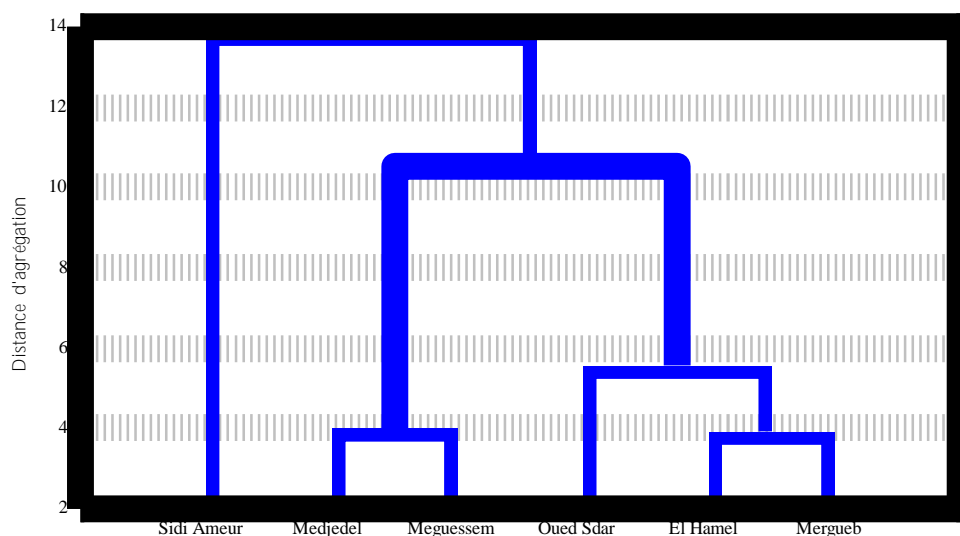


Fig. 19. Dendrogramme issu de la classification hiérarchique sur les 9 caractères. Le mode d'agrégation est celui des moyennes pondérées des groupes associés (WPGMA).

3.2.4.2. Variation en champ

3.2.4.2.1. Analyse factorielle discriminante (AFD)

Nous avons vu précédemment que les différences entre provenances étaient faibles devant les différences intra-provenances en champ pour tous les caractères de vigueur. Aussi, l'AFD effectuée sur les données de ce site (Saf Saf, Tébessa) a-t-elle pour but de vérifier si ce modèle de variabilité était oui ou non observé sur un plan multivarié. Les propriétés de l'analyse factorielle discriminante nous permettent, en effet, de juger si les différences entre provenances sur un tel plan, sont statistiquement significatives ou non.

Les résultats obtenus sur les deux années d'observation (tableau 19 & 20) confirment ceux de l'analyse univariée. Aucun des axes canoniques n'est statistiquement significatif comme l'indique la valeur des Lambda de Wilks, voisines de 1 (pas de discrimination) : la différenciation des provenances est faible pour le groupe de caractères étudiés. Nous n'irons donc pas plus loin en ce qui concerne l'exposé des résultats de l'AFD. En outre, et pour les mêmes raisons, la réalisation d'une classification hiérarchique est sans objet.

Tableau 19. Résultats de l'analyse factorielle discriminante sur les 3 caractères mesurés en 1^{ère} année de croissance en champ (HIGBrin1, Diam1, NBrin1). Valeurs propres et tests de signification. Noter les valeurs très élevées des lambda de Wilks qui témoignent d'une très faible discrimination des provenances sur les différents axes canoniques.

Axe	Valeur Propre	Lambda de Wilks	Chi-deux	ddl	probabilité
1	0.032	0.948	10.88	12	0.538
2	0.018	0.980	4.13	6	0.659
3	0.002	0.998	0.25	2	0.884
Total	0.052				

Tableau 20. Résultats de l'analyse factorielle discriminante sur les 3 caractères mesurés en 2^{ème} année de croissance en champ (HGBrin2, Diam2, NBrin2). Valeurs propres et tests de signification. Noter les valeurs très élevées des lambda de Wilks qui témoignent d'une très faible discrimination des provenances sur les différents axes canoniques.

Axe	Valeur Propre	Lambda de Wilks	Chi-deux	ddl	probabilité
1	0.048	0.942	8.19	15	0.915
2	0.011	0.987	1.77	8	0.947
3	0.002	0.998	0.28	3	0.962
Total	0.061				

3.3. VARIATION DES POPULATIONS A L'ECHELLE DE L'AIRE DE L'ESPECE

Cette variation est étudiée à partir d'un échantillon de sept provenances distribuées sur la majeure partie de l'aire de l'espèce, à savoir Sebdou, El Aricha, Mecheria, El Biod, Aïn Oussera, Djelfa et Ouled Djellal (Tableau 1, Fig. 2). Le comportement de cet échantillon de provenances a été étudié en champ sur deux sites (Moudjebara et Oued Sdar) de la région de Djelfa. Les dispositifs expérimentaux sont identiques dans les deux sites (mêmes nombres de blocs, de parcelles unitaires et d'effectifs de plants). L'analyse a été réalisée en deux étapes ; la première s'intéressant au comportement intra-site des provenances, la deuxième, à la comparaison inter-site (effet du site et interaction provenance x site).

3.3.1. Analyse intra-site

Les analyses ont été effectuées pour la survie et la vigueur des plants (HGbrin, Diam, NBrin). Les résultats de l'analyse de variance sont consignés dans le tableau 21 ci-après.

Tableau 21. Résultats de l'analyse de variance sur les tests en champ à Moudjebara et Oued Sdar, un an après plantation. Les tests F significatifs sont soulignés.

	Oued Sdar				Moudjebara			
	Survie (%)	HGBrin (cm)	Diam (cm)	NBrin	Survie (%)	HGBrin (cm)	Diam (cm)	NBrin
Sebdou	52.5	20.21	10.67	48.00	31.6	27.76	14.05	137.00
El Aricha	59.7	19.75	11.74	49.50	40.0	26.80	11.19	125.00
Mecheria	63.8	17.18	9.69	35.00	45.2	27.48	11.48	155.50
El Biod*	33.3	18.00	7.00	8.00	55.5	34.33	11.33	123.00
Aïn Oussera	53.6	17.87	10.05	41.00	45.4	27.30	12.50	161.50
Oued Sdar	47.8	19.48	10.79	55.00	44.0	24.17	11.23	131.50
Ouled Djellal	66.6	15.00	5.50	11.50	66.6	22.64	10.25	118.50
Moyenne	55.60	18.20	9.34	35.50	40.4	27.53	11.70	136.00
F	1.79	1.13	2.15	1.590	<u>4.05</u>	0.175	0.560	1.250
<i>probabilité</i>	<i>0.098</i>	<i>0.347</i>	<i>0.051</i>	<i>0.120</i>	<i>0.006</i>	<i>0.980</i>	<i>0.750</i>	<i>0.280</i>

* Les résultats pour cette provenance sont donnés pour mémoire du fait des très faibles effectifs de plants disponibles.

Le tableau 21 permet de voir que, sauf pour la survie dans le site de Moudjebara, les différences entre provenances ne sont pas significatives. Il semble donc que la variation intra-provenance soit prépondérante par rapport à la variation inter-provenance comme déjà constaté pour le test en champ sur l'échantillon de populations testé à Tébessa.

Deux analyses factorielles discriminantes ont été effectuées afin de vérifier si les résultats de l'analyse univariée était également reproduits sur un plan multivariés (la première était basée sur les données des 7 provenances, la seconde sur celles de 5 provenances seulement, El Biod et Biskra ayant été écartées pour leurs faibles effectifs de plants). Les résultats obtenus (Tableaux 22, 23, 24 & 25), pour les deux sites, ne sont qu'une confirmation du constat précédent. On remarquera que l'élimination des provenances présentant de faibles effectifs de plants (El Biod et Biskra) n'a pas amélioré la puissance des tests statistiques multivariés.

Tableau 22 Résultats de l'analyse factorielle discriminante sur les caractères de vigueur (HGBrin, Diam, NBrin) mesurés en en champ à Oued Sdar. Valeurs propres et tests de signification à partir données des 7 provenances. Noter les valeurs très élevées des lambda de Wilks qui témoignent d'une très faible discrimination des provenances sur les différents axes canoniques.

Axe	Valeur Propre	Lambda de Wilks	Chi-deux	ddl	<i>probabilité</i>
1	0.019	0.959	22.73	18	0.201
2	0.015	0.977	12.30	10	0.265
3	0.007	0.992	3.88	4	0.422
Total	0.041				

Tableau 23 Résultats de l'analyse factorielle discriminante sur les caractères de vigueur (HGBrin, Diam, NBrin) mesurés en en champ à Oued Sdar. Valeurs propres et tests de signification à partir des données de 5 provenances (El Biod et Biskra écartées pour leurs faibles effectifs de plants). Noter les valeurs très élevées des lambda de Wilks qui témoignent d'une très faible discrimination des provenances sur les différents axes canoniques.

Axe	Valeur Propre	Lambda de Wilks	Chi-deux	ddl	<i>probabilité</i>
1	0.035	0.937	19.64	12	0.074
2	0.020	0.969	9.38	6	0.153
3	0.011	0.988	3.32	2	0.190
Total	0.066				

Tableau 24 Résultats de l'analyse factorielle discriminante sur les caractères de vigueur (HGBrin, Diam, NBrin) mesurés en en champ à Moudjebara. Valeurs propres et tests de signification à partir des données des 7 provenances. Noter les valeurs très élevées des lambda de Wilks qui témoignent d'une très faible discrimination des provenances sur les différents axes canoniques.

Axe	Valeur Propre	Lambda de Wilks	Chi-deux	ddl	<i>probabilité</i>
1	0.047	0.931	17.522	18	0.487
2	0.019	0.975	6.265	10	0.792
3	0.006	0.994	1.548	4	0.818
Total	0.072				

Tableau 25 Résultats de l'analyse factorielle discriminante sur les caractères de vigueur (HGBrin, Diam, NBrin) mesurés en en champ à Moudjebara. Valeurs propres et tests de signification à partir des données de 5 provenances (El Biod et Biskra écartées pour leurs faibles effectifs de plants). Noter les valeurs très élevées des lambda de Wilks qui témoignent d'une très faible discrimination des provenances sur les différents axes canoniques.

Axe	Valeur Propre	Lambda de Wilks	Chi-deux	ddl	<i>probabilité</i>
1	0.047	0.941	14.198	12	0.288
2	0.012	0.985	3.568	6	0.735
3	0.004	0.996	0.854	2	0.652
Total	0.063				

On peut invoquer les mêmes types de causes écogénétiques et statistiques pour expliquer ce modèle de variation pour le moins surprenant étant donné les grandes distances géographiques séparant les populations utilisées et le régime de reproduction autogame de l'alfa. Il faut remarquer que les caractères liés à la vigueur sont généralement fortement soumis à l'influence du milieu, surtout lorsque les conditions écologiques sont difficiles. Ne pourrait-on, par ailleurs ou parallèlement, voir dans ce type d'évolution le résultat de l'influence séculaire de l'homme et de ses animaux domestiques qui pourraient être à l'origine de transferts (volontaires ou involontaires) de graines d'une région à l'autre des Hautes Plaines, empêchant ainsi toute différenciation géographique de l'espèce pour les caractères de vigueur?

3.3.2. Analyse inter-site

Cette analyse poursuit deux objectifs complémentaires : (i) examiner l'existence ou non de différences globales entre les deux sites pour la survie et la vigueur des provenances ; (ii) étudier les effets d'interaction provenance x site, c'est-à-dire le degré de similitude (ou de dissimilitude) des classements des provenances d'un site à l'autre.

3.3.2.1. effet site

3.3.2.1.1. Survie

Le nombre de plants initial, le nombre de plants survivants à la fin de la première année de croissance en champ et le taux de survie par provenances sont rapportés dans le tableau 26.

L'examen de ce tableau révèle un taux de survie global de 40.4% à Moudjebara et de 55.7% à oued Sdar. La différence entre les deux taux est statistiquement significative (Khi-deux = 69.31, $p < 0.00001$). A quoi cette différence peut-elle être due? Le tableau 2 de la page 13 (Caractéristiques des sites de test) montre des différences en ce qui concerne la texture de l'horizon H1 (Limono-sableuse à Moudjebara, sablo-limoneuse à Oued Sdar), le pH (8.2 à Moudjebara, 7 à 7.2 à Oued Sdar), la profondeur du sol (50 cm à moudjebara, 26 cm à Oued Sdar) et l'altitude (1150 m à Moudjebara, 1230 m à Oued Sdar, c'est-à-dire une dénivelée de 80 m).

L'alfa n'ayant pas d'exigences particulières relativement à l'alcalinité, on pourrait penser que la différence de pH entre les deux sites ne détermine pas, outre mesure, les différences de survie. La texture du sol, notamment celle de l'horizon H1 est probablement plus favorable à la végétation de l'alfa dans le site de Oued Sdar (Sablo-limoneuse) que dans celui de Moudjebara (Limono-sableuse), l'alfa préférant les sols de texture grossière aux sols fins ; la texture limono-sableuse de l'horizon H1 est susceptible de produire une croûte de battance imperméable après une pluie. Le sol est plus profond à Moudjebara qu'à Oued Sdar, ce qui peut avoir un effet important sur l'économie en eau dans le profil. Mais, comme déjà expliqué, l'éventualité de croûte de battance peut contrebalancer cet effet en privilégiant le ruissellement plutôt que l'infiltration. Enfin, la différence d'altitude de 80 m peut avoir une influence sur la quantité de précipitations totales reçues, sachant que celles-

ci augmentent avec l'altitude. Il n'y a, malheureusement, pas de stations météorologiques dans les voisinages des deux sites pour vérifier le bien-fondé de cette assertion. La caractérisation bioclimatique des deux sites a été établie à partir des données de la même station, à savoir Djelfa ; les deux sites seraient, d'après cette approximation, situés dans le semi-aride froid.

Globalement, toutefois, le site de Oued Sdar semble relativement plus favorable à la survie des plants d'alfa que le celui de Moudjebara. Il est bien entendu que cette conclusion est valable dans un sens large, la survie intégrant aussi bien l'effet de facteurs physiques, comme ceux discutés ci-dessus, que de facteurs biotiques tels les déprédateurs animaux sauvages, les maladies et les insectes. On suppose, par ailleurs, que le pâturage ne constitue pas une source de variation entre sites (Protection des plantations).

Tableau 26. Nombre de plants initial, nombre de plants survivants et taux de survie en champ à Moudjebara et Oued Sdar, un an après plantation.

Provenance	Nbre de plants initial	Nbre de plants survivants		Taux de survie (%)	
		Moudjebara	Oued Sdar	Moudjebara	Oued Sdar
Sebdou	402	127	211	31.6	52.5
El Aricha	414	165	247	40.0	59.7
Mecheria	198	89	126	45.2	63.8
El Biod*	12	7	4	55.5	33.3
Aïn Oussera	234	106	125	45.4	53.6
Oued Sdar	180	79	86	44.0	47.8
Ouled Djellal	36	24	24	66.6	66.6
Total	1476	597	823	/	/
Moyenne				40.4	55.7

* La levée de cette provenance en pépinière fut très faible ; elle n'est conservée dans l'échantillon que pour mémoire.

3.3.2.1.2. *Vigueur*

Globalement, la vigueur des plants, toutes provenances confondues, est plus grande dans le site de Moudjebara que dans le site de Oued Sdar. Les différences enregistrées pour les caractères mesurés (HGBrin, Diam et Nbrin) sont statistiquement significatives (Tableau 27). Il faut rappeler que l'altitude à Oued Sdar est plus élevée qu'à Moudjebara ; il a été fréquemment observé, chez les arbres forestiers, que la croissance des végétaux

était plus importante en basse altitude qu'en haute altitude (Wright, 1976). Cela pourrait s'expliquer par un effet indirect de l'altitude sur la durée de la croissance des plants.

Tableau 27. Effet du site sur la performance globale des provenances. Les tests *t* comparant les performances dans les deux sites sont donnés avec leur probabilité (les tests significatifs sont soulignés).

	HGBrin		Diam		NBrin	
	Oued Sdar	Moudjebara	Oued Sdar	Moudjebara	Oued Sdar	Moudjebara
Sebdou	20.21	27.76	10.67	14.05	48.00	137.00
El Aricha	19.75	26.80	11.74	11.19	49.50	125.00
Mecheria	17.18	27.48	9.69	11.48	35.00	155.50
El Biod	18.00	34.33	7.00	11.33	8.00	123.00
Aïn Oussera	17.87	27.30	10.05	12.50	41.00	161.50
Oued Sdar	19.48	24.17	10.79	11.23	55.00	131.50
Ouled Djellal	15.00	22.64	5.50	10.25	11.50	118.50
Moyenne	18.20	27.53	9.34	11.70	35.50	136.00
T	<u>- 5.83</u>		<u>- 2.44</u>		<u>- 10.62</u>	
<i>p</i>	81.10 ⁻⁶		0.031		186.10 ⁻⁹	

Nous avons vu, par ailleurs, que la survie globale des plants était plus grande à Oued Sdar qu'à Moudjebara. Les plants étant plus longuement en activité (du fait de la plus basse altitude) dans ce dernier site, on peut penser qu'ils sont plus exposés aux stress brutaux comme le gel ou la sécheresse, car il surviennent alors que les plants sont à un stade sensible de leur vie. Ces hypothèses doivent être, bien évidemment, vérifiées par des relevés *in situ*.

3.3.3. Interaction provenance x site

Les valeurs du coefficient de concordance de Kendall sont rapportées dans le tableau 28 pour les trois caractères étudiés (Hglimb, Diam, NBrin) ; les paramètres d'interactivité sont consignés dans les tableaux 29 (Hglimb), 30 (Diam) et 31 (NBrin).

Le calcul du de Kendall est la première étape de l'analyse de l'interaction provenance x site ; il permet d'estimer, globalement sur l'échantillon de provenances et pour les deux

sites, si, oui ou non, il existe une interaction provenance x site significative . Si est significatif, cela signifie que les classements des provenances dans les deux sites sont fortement concordants ; dans ces conditions, l'interaction provenance x site n'est pas significative. Si, au contraire, n'est pas significatif, les classements d'un site à l'autre ne sont pas concordants ; l'interaction provenance x site est, alors, significative. Dans un tel cas, l'analyse est complétée par l'estimation de paramètres d'interactivité qui permettent de voir lesquelles des provenances contribuent le plus à l'interaction. L'analyse de l'interaction x provenance x site est importante dans les programmes d'amélioration génétique car elle constitue une aide à la décision en ce qui concerne la constitution d'une population d'amélioration unique ou bien des populations d'amélioration propres à chaque zone d'introduction.

Tableau 28. Analyse de l'interaction provenance x site. Valeurs des coefficients de concordance de Kendall pour les trois caractères de vigueur étudiés (HGlomb, Diam, NBrin). Les coefficients estimés ne sont pas significatifs ; l'interaction provenance x site est donc statistiquement significative.

Caractères	de Kendall	Règle de décision
Hglomb	0.05 ^{NS}	Interaction P X S significative
Diam	0.24 ^{NS}	Interaction P X S significative
Nbrin	0.14 ^{NS}	Interaction P X S significative

L'interaction provenance x site étant significative pour les trois caractères, il est justifié de calculer les paramètres d'interactivité (tableaux 29, 30 & 31).

Tableau 29. Analyse de l'interaction provenance x site. Valeurs des paramètres d'interactivité pour la hauteur du plus grand limbe (HGLimb). Ri(1 & 2) : Rang de la provenance i dans les sites 1 & 2 ; ci(1,2): concordance individuelle ; di⁺(1,2) : discordance individuelle à droite ; di⁻(1,2) : discordance individuelle à gauche ; δi(1,2) : discordance individuelle brute [(di⁺(1,2) + (di⁻(1,2))] ; Δi(1,2) : discordance individuelle nette (|di⁺(1,2) - (di⁻(1,2)|) ; ∂i(1,2) : discordance individuelle cryptique [(δi(1,2) - Δi(1,2))] ; RI (%) : interactivité individuelle relative.

	Sebdou	El Aricha	Oued Sdar	El Biod	Aïn Oussera	Mecheri a	Ouled Djellal	Total
Ri(1)	1	2	3	4	5	6	7	
Ri(2)	3	5	4	6	2	1	7	
ci(1,2)	4	2	2	1	1	1	0	11
di ⁺ (1,2)	2	3	2	2	1	0	0	10
di ⁻ (1,2)	0	0	1	0	4	5	0	10
δi(1,2)	2	3	3	2	5	5	0	20
Δi(1,2)	2	3	1	2	3	5	0	16
∂i(1,2)	0	0	2	0	2	0	0	4
RI (%)	12.50	18.75	6.25	12.50	18.75	31.25	0	100.00

Tableau 30. Analyse de l'interaction provenance x site. Valeurs des paramètres d'interactivité pour le diamètre de la touffe (Diam).

	El Aricha	Sebdou	Oued Sdar	Aïn Oussera	Mecheria	El Biod	Ouled Djellal	Total
Ri(1)	1	2	3	4	5	6	7	
Ri(2)	5	6	3	4	1	7	2	
ci(1,2)	2	1	2	1	2	0	0	8
di ⁺ (1,2)	4	4	2	2	0	1	0	13
di ⁻ (1,2)	0	0	2	2	4	0	5	13
δi(1,2)	4	4	4	4	4	1	5	26
Δi(1,2)	4	4	0	0	4	1	5	18
∂i(1,2)	0	0	4	4	0	0	0	8
RI (%)	22.50	22.50	0.00	0.00	22.50	5.50	27.00	100.00

Tableau 31. Analyse de l'interaction provenance x site. Valeurs des paramètres d'interactivité pour le nombre de brins constituant la touffe (NBrin).

	Oued Sdar	El Aricha	Sebdou	Aïn Oussera	Mécheria	Ouled Djellal	El Biod	Total
Ri(1)	1	2	3	4	5	6	7	
Ri(2)	6	5	4	1	2	3	7	
ci(1,2)	1	1	1	3	2	1	0	9
di ⁺ (1,2)	5	4	3	0	0	0	0	12
di ⁻ (1,2)	0	1	2	3	3	3	0	12
δi(1,2)	5	5	5	3	3	3	0	24
Δi(1,2)	5	3	1	3	3	3	0	18
∂i(1,2)	0	2	4	0	0	0	0	6
RI (%)	27.77	16.67	5.55	16.67	16.67	16.67	0.00	100.00

L'interactivité des provenances pour chaque caractère est déterminée par son indice d'interactivité individuel (RI) en pourcentage de l'interaction totale.

La provenance Mécheria est la plus interactive pour la croissance en hauteur (HGlimb) avec un indice individuel dépassant 31.25%.; les provenances Ouled Djellal (0.00%) et Oued Sdar (6.00%) sont les plus stables.

En ce qui concerne la croissance en diamètre des touffes, c'est la provenance Ouled Djellal qui enregistre l'indice le plus fort (27.00%) puis viennent les provenances Sebdou, El Aricha et Mécheria avec un taux de 22.00%. Oued Sdar et Aïn Oussera sont les plus stables du groupe.

Enfin, Oued Sdar se révèle être la provenance la moins stable (27.78%) pour le nombre de brins, alors que El Biod (0.00%) et Sebdou (5.55%) sont les moins interactives.

D'un point de vue génétique, les provenances les plus interactives sont, probablement, celles au sein desquelles la variabilité génétique, pour le caractère considéré, est la plus réduite, ce qui diminue ses capacités de réponse aux changements de milieu. Des travaux antérieurs, chez des espèces cultivées et forestières, ont en effet montré que le degré de stabilité des entités génétiques dépendait de leur constitution génétique (lignée pure, provenance, hybride de provenance, clone, etc.) (Allard & Bradshaw, 1964 ; Magnussen & Yeatman, 1988 ; Harfouche, 2000).

Du point de vue de la sélection, Les résultats obtenus témoignent de changements significatifs dans les classements des provenances d'un site d'expérimentation à l'autre. Cette importance des effets d'interaction provenance x site ne milite pas en faveur de la sélection des mêmes provenances dans les deux sites.

CONCLUSION GENERALE

Variation à l'échelle d'une même région

Les résultats des analyses uni- et multivariées obtenus en champ ne semblent pas confirmer ceux observés en pépinière qui avaient permis de détecter une différenciation des populations au sein de la région étudiée. Les causes d'une telle discordance entre la pépinière et le champ peuvent être d'ordre écogénétique et/ou statistique.

D'un point de vue écogénétique, les conditions de végétation, plus favorables en pépinière, privilégieraient l'expression des effets génétiques (Arbez *et al.*, 1969) ; on sait, en effet, que les effets génétiques peuvent être masqués par des conditions d'environnement sévères notamment dans le cas des caractères de vigueur (Harfouche & Kremer, 2000). Dans de telles conditions, les effets environnementaux, seraient prépondérants sur le comportement des plants dont le phénotype convergerait vers un idéotype en mesure d'assurer leur survie, indépendamment de la provenance à laquelle ils appartiennent. Les différences génétiques entre provenance, si elles existent, ne pourront alors pas être mises en évidence.

Au plan statistique, il faut noter que le dispositif en pépinière est plus équilibré que celui mis en place en champ ; les effectifs de plants par provenance y sont égaux, ce qui n'est pas le cas en champ. Parallèlement, le dispositif en blocs incomplets (champ) n'assure pas l'orthogonalité des facteurs principaux, provenance et bloc ; ceux-ci sont partiellement confondus du fait de cette non orthogonalité et ce malgré la pratique d'ajustement à l'effet bloc. Comme conséquence de ces lacunes, les tests statistiques mis en œuvre (analyse de variance, comparaison multiple de moyennes, analyse factorielle discriminante) peuvent manquer de puissance, c'est-à-dire incapables de détecter des différences significatives qui existent en réalité.

Ces considérations d'ordre écogénétique et statistique ainsi que le mode de reproduction autogame² de l'alfa nous incitent à accorder du crédit aux résultats obtenus en pépinière et accepter l'hypothèse d'une différenciation géographique des populations d'alfa sur cette portion de son aire de distribution. Sur un plan expérimental, il faudra privilégier la pratique d'essais en champ de plus grande dimension (effectifs de plants par population

² Chez les plantes autogames, du fait de l'absence de migration des gènes sur de grandes distances (pas d'échange par le pollen), les différences génétiques à l'intérieur des populations sont faibles devant les différences entre populations. D'où une différenciation géographique, généralement, forte.

plus importants, plus grand nombre de répétitions) et, dans la mesure du possible, plus orthogonaux.

Variation à l'échelle algérienne de l'aire de l'espèce

A cet échelle, les caractères de vigueur utilisés n'ont pas permis de mettre en évidence une différenciation géographique nette chez l'alfa. Le régime de reproduction autogame de cette graminée devrait aboutir à une divergence importante entre populations géographiquement séparées, couplée à une variation intra-population réduite. A moins qu'il existe des flux de gènes par transport de graines sur de longues distances, par l'action du vent et de l'homme, qui ont empêché la différenciation de l'espèce. Cette hypothèse nous semble peu probable. Les conditions expérimentales en champ ainsi que le nombre et la nature même des marqueurs utilisés ont, probablement, concouru à l'obtention d'un tel résultat. En champ, les plants sont soumis à des conditions de croissance difficiles, ce qui ne permet pas une expression optimale des géotypes ; les éventuelles différences génétiques peuvent alors être masquées par les effets environnementaux. Les résultats obtenus en pépinière, où les conditions de croissance sont optimales, ainsi confortent une telle interprétation.

Peu d'études ont été effectuées sur la variation géographique des caractères morphologique et d'adaptation en Algérie comme, d'ailleurs, en Afrique du Nord. Celles existantes ont, généralement, été conduites *in situ* (sur les populations en place) ; or, il est impossible dans ce cas de séparer l'effet du géotype de l'effet de la station d'origine, surtout pour des caractères fortement soumis à l'influence du milieu. Les différences phénotypiques observées peuvent alors être très nettes, les effets génétiques et environnementaux étant confondus et concourant à séparer les populations. Les comparaisons entre résultats peuvent, par conséquent, sembler incongrues.

L'étude de Maire, réalisée en 1932 (Kadi Hanifi, 1998), a aboutit à la description de deux variétés d'alfa, la variété *typica* et la variété *villosiuscula*, différenciées sur la base de la pilosité des gaines. Les gaines de la première sont glabres, celles de la seconde couvertes de poils denses et courts. Dans le centre nord de la Tunisie, Raffaelli et Ricceri (1989) ont décrit trois nouvelles espèces qu'ils ont rattaché au complexe de *Stipa tenacissima* sur la base d'une différenciation de l'appareil végétatif et de la structure de la fleur.

On ne sait pas si les phénotypes décrits par Maire et Raffaelli & Ricceri sont caractéristiques de populations allopatriques, c'est-à-dire inféodées à des zones géographiques nettement séparées, ou si, au contraire, ils se rencontrent dans des

populations sympatriques, c'est-à-dire dans des populations d'une même zone géographique. Ces études n'apportent donc que peu d'information quant à la variation géographique de l'espèce.

Des études caryo-systématiques ont été réalisées par Fernandès et Queiros (1969) au Portugal où a été révélée l'existence, dans ce pays, d'un caryotype unique à $2n = 24$.

En Algérie, Labadie (1979), a établi un nombre chromosomique $2n = 24$ chez les populations de la région de Djelfa, alors que Bensettiti (1985) n'a mis en évidence qu'un seul caryotype de $2n = 12$ dans la même région et dans les régions de Bou Saada et Batna. Les études de ces auteurs sont limitées et reposent sur des échantillonnages réduits et très localisés qui n'ont pas beaucoup de chances de détecter une variabilité éventuelle du nombre chromosomique. Plus tard, Tazaïrt (1992) démontre l'existence de plusieurs niveaux de ploïdie chez l'alfa en Algérie (Ras El Ma, $2n = 12$; Hassasna, $2n = 18$; Tadmit, $2n = 24$ et M'zara, $2n=42$). Par ailleurs, cet auteur a révélé l'existence de deux électromorphes enzymatiques.

Ces études, menées sur des marqueurs caryologiques, probablement stables, laissent envisager l'occurrence d'une variabilité géographique des populations d'alfa en Algérie. Nos résultats, sur des caractères morphologiques et adaptatifs observés en pépinière, abondent dans le même sens tout en mettant l'accent sur la nécessité d'une planification expérimentale rigoureuse (milieu de test homogène et optimal).

En perspective, la connaissance sur la génétique, l'auto-écologie et l'évolution de l'alfa est impérative. En outre la réalisation périodique de son inventaire est également primordiale .

L'utilisation d'autres marqueurs (anatomiques, biochimiques, moléculaires et morphologiques), couplés à un nombre conséquent de provenances seraient nécessaires pour une meilleure connaissance sur la variabilité géographique chez l'alfa.

L'étude des stomates est essentielle pour comprendre la tendance d'adaptation de chaque provenance.

La multiplication des sites expérimentaux à travers l'aire naturelle de l'essence est importante. Elle permettra une meilleure appréciation de l'interaction génotype x milieu. Elle facilitera ainsi l'évaluation de la stabilité génétique des provenances étudiées.

Pour la méthode de conservation, il est nécessaire de considérer les provenances sélectionnées (fiables) comme des portes graines pour la mise en place des pépinières nécessaires à des plantations.

BIBLIOGRAPHIE

ABDELKRIM H., 1984 – Approche phytoécologique et phytosociologique de quelques nappes alfatières de la région de Djelfa et de Tebessa (Algérie). Thèse Magister, Inst. Nat. Agrono., Alger, 120p.

ABDELKRIM H. , 1988 – Les formations steppiques à alfa (Stipa tenacissima L.), autoécologie, Syntaxonomie et importance pastorale. Comm. Coll. Phytosociologiques, XVI, Paris, pp : 445 – 456.

ACHOUR H., 1983 – Etude phytoécologique des formations à alfa (Stipa tenacissima L.) au sud Oranais (Wilaya de Saïda). Thèse Doct. 3ème cycle, Univ, H. Boumediene, Alger, 216 p + ann.

AÏDOUD A., 1983 – Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du sud Oranais : Phytomasse, productivité primaire et application pastorale. Thèse Doct. 3 ème cycle. Univ. H. Boumediene, Alger, 256 p + ann.

AÏDOUD A., 1989 – Contribution à l'étude des écosystèmes pâturés (hautes plaines Algéro-oranaises, Algérie). Thèse Doct. Etat, Univ. H.Boumediene, Alger, 240 p + ann.

AÏDOUD A., TOUFFET J., 1996 – La régression de l'alfa (Stipa tenacissimaL.), graminée pérenne, un indicateur de désertification des steppes algériennes. Sécheresse, 7 (3) : 187 – 193.

AÏDOUD F., 1984 – Contribution à la connaissance des groupements à sparte (Lygeum spartum) des hauts plateaux Sud Oranais : Etude phytoécologique et syntaxonomique. Thèse Doct. 3 ème cycle. Univ. H. Boumediene, Alger, 256p + ann.

ALLARD, R. W., BRADSHAW, A. D., 1964. Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.* 4: 503-507.

ARBEZ M et al. , 1978 – Contribution à l'étude de la variabilité géographique des cèdres. *Ann. Sci. For.* 35p : 265 -284.

ATCHLEY, W. R., 1984. Ontogeny, timing of development and genetic variance-covariance structure. *American Naturalist* 123: 519-540.

BARRETTE W.H.G., 1985 – Eléments et principes génétiques. Amélioration génétique des arbres forestiers. *Etude. F. A. O.* 20, Rome, pp : 17-24.

BARRY J.P ; FAUREL. ; 1973 – Notice de la feuille de Ghardaïa : carte de la végétation de l'Algérie au 1 :500.000. *Mem. Soc. Hist. Nat. Afr. N.*, 11, 1325p.

BATTANDIER A., TRABUT L., 1890 – Flore de l'Algérie. 2 vol. Jourdan, Alger, 825 p.

BENZECRI J.P., COLL., 1973 – Analyse des données.
Tome1 : la taxonomie ; Tome 2 : l'analyse des correspondances. Ed. Dunod, Paris, 2 vol, 1234 p.

BLANKA ., 1973 – Contribution of ecology of *Stipa* species in central Europe distribution of mineal elements in soils and phytomass. *Folia. Geobot. Phyto. Proha*, pp : 362-368.

BENSETTETI F ., 1985 – Etude caryosystématique de *Stipa tenacissima* L
Dans les régions de Djelfa, Boussaâda et Batna. *Ann. INA. Alger.* 10, (2), 20-29.

BOUDJADA S., BENDJAFER A., 1994 – Les recherches sur la régénération et la mécanisation de la récolte des nappes alfatières (*Stipa tenacissima* L.). *Rapp. I.N.R.F.* 72p.

BOUDY P., 1950 – Economie forestière Nord – Africaine : Monographie et traitement des ensembles forestiers. Paris, Larose, 887 p en 2 fasc.

BOURAHLA A., GUITTONEAU G.G., 1978 – Nouvelles possibilités de régénération des nappes alfatières en liaison avec la lutte contre la désertification.
Bull.Inst. Eco. Appl., Orleans, 1, 19-40.

CAPOT REY., 1952 – Les limites du Sahara français.
Tra.Inst. Rech. Sah., 8, 23-48.

CELLES J.C., 1975 – Contribution à l'étude des confins Saharo- Constantinois (Algérie).
Thèse Doct. Univ, Nice : 364p.

CELLES J.C., 1982 – Biologie et écologie végétales des régions arides.
Bull. Sign. Centre culturel français, n°20, 1-20.

CHARRIER, A., SECOND, G., 1992. Lignes directrices du programme ORSTOM sur la génétique des riz. In : Complexe d'espèces, flux de gènes et ressources génétiques des plantes. Colloque international en Hommage à Jean PERNES, Paris, 1992 : 37-46.

CNTS. , 1989 – Centre national de télédétection spatial cartographique et inventaire des nappes alfatières sur l'ensemble des wilayates. Rapp. CNTS, 15p.

DAGNELIE P., 1975 – Théorie et méthode statistiques.
Vol2. Ed. Les presses agronomiques de Gembloux, 463 p.

DE BOLOS O., BRAUN BLANQUET J.P., 1957 – Les groupements végétaux de l'Ebre et leur dynamique. Ann. Estac. Exp de Aula dei, 5 (1-4), 266p + tabl.h.t.

DEL VILLAR H. ,1925 –Degenere nederetia hispanico-africano.
Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, 16/pp : 59-105.

DEMARLY Y., 1977 – Génétique et amélioration des plantes.

Ed. Masson, Paris, 287p.

DJEBAILI S., 1978 – Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas Saharien. Thèse Doct. Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, 229p +ann.

DJEBAILI S., 1984 – Recherches phytosociologiques et phytoécologiques sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'atlas Saharien . OPU.Alger, 177p + ann.

DJEBAILI S., 1988 – Connaissance actuelle sur l'alfa (Stipa tenacissima l).

Biocénose, 3(1/2), 43-52.

DROESBEKE, J. J., 1988 : Eléments de Statistique. Ed. Ellipses, Paris, 447 p.

EBERHARDT, S. A., RUSSEL, W. A., 1966 : Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6: 36-40.

ELHAI, H., 1968 : Biogéographie. Collection U, Armand Colin, Paris, 406 p.

EMBERGER L., 1933 – Répartition géographique au Maroc de l'alfa (Stipa tenacissima L.). Compte rendu. Sommaire des séances de la société de biogéographie, 61-63.

FALCONER, D. S., 1989. Introduction to Quantitative Genetics. Longman Scientific & Technical, UK, third edition, 438 p.

FERNANDES A., QUEIROS M., 1969 – Contribution à la connaissance cytotaxonomique des spermaphytes du Portugal. Graminée. Bull. Soc. Bot. 43, (série 2), 3-140.

FINLAY, K. W., WILKINSON, G. N., 1963 : The analysis of adaptation in a plant breeding programme. Aust. J. Agric. Res. 14: 742-754.

FLORET CH., LE FLOC'H E., 1973 – Production, sensibilité et évolution de la végétation du milieu en Tunisie présaharienne. Doc. CEPE n°71, Montpellier, 47p.

FLORET CH., PONTANIER R. ; 1973 – Relation climat-sol_ végétation dans quelques formations végétales spontanées du Sud Tunisien (production végétale et bilan hydrique des sols.) Doc. Tech. N°1. Tunis, 96p.

FRONTIER, S, PICHOD-VIALE, D., 1991 : Ecosystèmes : Structure, fonctionnement, évolution. Masson éd. Paris, 392 p.

GHRAB S., 1981 – Etude de la variabilité écophénologique de l'alfa en Tunisie centrale. Thèse Doct. Ing, Univ. Aix Marseille, 134p.

GOUNOT M., 1969 – Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson et Cie, Paris, 314p.

GUINOCHET., 1980 – Essai sur quelques syntaxons discisto-rosmarinetea et des quercetea illicis d'Algérie et de Tunisie. Phytocoenologia, 7 : 736 -466.

HARCHE M., 1978 – Contribution à l'étude de l'alfa (Stipa tenacissima L.) d'Algérie : Germination, croissance de feuilles, de différenciation des fibres. Thèse Doct. 3ème cycle, Univ, Lille, 78p.

HARFOUCHE A., 2000 – Anon parametric data analysis for studying genotype x environnement interaction effets in maritima pine (Pinus pinaster Ait). Forest. Genetics, 7(4) : 253-263.

HARFOUCHE, A. & KREMER, A. 2000 : Provenance hybridization in a diallel mating scheme of maritime pine (Pinus pinaster). I. Means and variance components. Can. J. For. Res. 30: 1-9.

HARFOUCHE, A., 2003 : Retrospective early test for adult vigor of *Pinus pinaster* families grown under two water regimes. Implications for early selection. (in press *Annals of Forest Science*).

HUEHN, M., 1990 : Non parametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. *Euphytica* 47: 189-194.

HUETZ DE LEMPS, A., 1970 : La végétation de la Terre. Collection Initiation aux études de Géographie, Masson & Cie éditeurs, Paris, 143 p.

IONESCO., 1962 – Les types de végétation du Maroc, essai de nomenclature et de définition.

Rev. Geogr. Maroc. 1-2 : 75-86.

Kadi Hanifi H., 1998 – L'alfa en Algérie : Syntaxonomie, relation milieu – végétation, Dynamique et perspectives d'avenir. Doc. Bio. Végé. Eco. Univ. H. Boumediene, Alger, 265 p.

KENDALL, M. G., 1955: Rank correlation methods. Griffin ed., London, 160 p.

KHELIL A., 1984 – Bioécologie de la faune alfatière dans la région steppique de Tlemcen. Thèse Magister. INA. El Harrach, 79 p.

KIHEL M., 1986 – Contribution à l'étude de la microflore des sols alfatières au cours de l'année. Recherches des micro-organismes cellulotiques.

Thèse Magister. Univ, Oran, 105 p.

KREMER, A., 1992. Décomposition de la croissance en hauteur du pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) : Architecture génétique et application à la sélection précoce. Thèse de Doctorat de l'université de Paris XI, 124 p.

- LABADIE L., 1979 – Etude caryosystématique de la flore de l'Algérie.
Nat. Monsp. Bot, 32 : 1-11 +pl.
- LACAZE J.F., TOUZET G., 1986 – Amélioration génétique des arbres forestiers.
Rev. For. Fra. N°sp. Pp 20-25.
- LEHOUEROU H.N., 1969 – la végétation de la Tunisie steppique.
Ann. Inst. Nat. Rech. Agro. Tunisie, 42,5, 624p.
- LE HOUEROU H.N., 1975 – The nature and causes of desertification.
Cambridge Cof. Desert., 7p.
- LONG G., 1954 – Contribution à l'étude de la végétation de la Tunisie centrale.
Ann. Ser. Bot. Agro. Tunis, 27, 388p.
- MAGNUSEN, S. & YEATMAN, C. W., 1988. Provenance hybrids in Jack pine: 15-year results in Eastern Canada. *Silvae genet.* 37: 206-218.
- MAIRE, 1926 – Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie (Notice).
Gouv. Gen. Alg. Serv. Cart, Alger : 78p.
- MALOS O., MEZIANI S.A., 1978 – Les recherches expérimentales sur l'alfa (Stipa tenacissima L.) : mesure de la production et les effets sarclage sur cette production.
Projet Alfa. Rapp, n°6, 20p. I.N.A, El Harrach.
- MELZI S., 1986 – Approche phytoécologique du processus de la désertification dans un secteur présaharien : Messad - Djelfa.
Thèse de magister, Univ. H. Boumediene, Alger, 133p.
- MELZI S. , 1990 – Polycopier sur le suivie des parcours steppiques.5p.
- METRO A., 1947 – L'alfa au Maroc.
Rev. Eaux et forêts, 85, 401-413, 478-490.

MONJAUZE A., 1947 – La touffe d'alfa.

Arch. Gouver. Série. Algérie, 1vol, 29 p.

MONJAUZE A., FAUREL L., SCOLTER G., 1955 – note préliminaire sur un itinéraire botanique dans la steppe et le Sahara Septentrional Algérois.

Bull. Soc. Hist. Nat. Afr du nord, Alger, 46 : 206 -230.

MONOD Th., 1992 – Du désert. Sécheresse, 1(4) : 7 – 64.

MORALDO B., 1986 – Révision des *Stipa* italiens.

Webbia, (40) : 203 – 278.

MORGAN J.A., BROWN R.H., 1979 – Photosynthesis in gram species differing in carbon dioxide fixation pat ways.

II : A search for species with intermediate gas exchange and anatomical characterstics.

Plant physiol, 64, 257 – 262.

NEDJAOUI D., 1980 – Evolution des éléments biogènes et valeurs nutritives dans les principaux faciès de végétation (*Artemisia herba alba* Asso, *Lygeum spartum* L. et *Stipa tenacissima* L.) des hautes plaines steppiques de la wilaya de Saida.

Thèse Doct. 3 ème cycle. Univ. H. Boumediene, Alger. 156 p+ ann.

NEDJAOUI D., 1990 – Adaptation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L) aux conditions stationnelles : contribution à l'étude du fonctionnement de l'écosystème steppique.

Thèse Doct. Univ. H.Boumediene, Alger, 240p.

OZENDA P. ; 1958 –Flore du Sahara septentrional et central. Ed. C.N.R.S. Paris, 1vol.

486p

OZENDA P., 1982 – les végétaux dans la biosphère.

Dion. Ed, Paris, 413 P.

PASTEUR, N.; PASTEUR, G., BONHOMME, F., CATALAN, J., BRITTON-DAVIDIAN, J., 1987. Manuel technique de génétique par électrophorèse des protéines. Lavoisier, Paris, 195 p.

POUGET M., 1980 Les relations sol-végétation dans les steppes sud Algéroises. Trav. Doc. ORSTOM, Paris, 555p.

QUEZEL P., SANTA S., 1962 – Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. 2 vol. Ed. C.N.R.S. Paris, 1170p.

RAMENDO., 1975 – Essais d'évaluation du taux de fertilité des graines d'alfa (Stipa tenacissima L). Projet d'alfa, Rapp, n°2, pp : 15-19.

RAFFAELLI M., RICCERI C., 1989 – Contribution à la connaissance de la flore de la Tunisie du centre nord. Candolle, 44 : 75-102.

REJEB M. N. ; 1980 – Contribution à l'étude de la matière organique dans les sols des nappes alfatières en Tunisie Centrale. Thèse. Doct. Univ. Sci., Tunis, 130p.

RIVAS MARTINEZ S., 1977 – Sur la végétation des pelouses thérophytiques de l'Europe occidentale in. La végétation des pelouses sèches à thérophytes. Colloque. Phytosociologique, 6 : 55-71.

ROGNON P., 1991 – Les sécheresses au Sahel replacés dans l'évolution climatique des vingt derniers millénaires. Sécheresse. 1991. 3 : 199 – 210.

ROUX G., LAZARE J.J., 1979 – quelques groupements végétaux des hauts plateaux du sud ouest de Boussaâda (Algérie). Doc. Phytosocio. N.S. Vol IV, Lille, pp 585 – 596.

SHARP, R. E. & DAVIES, W. J., 1979 : Solute regulation and growth by roots and shoots of water-stressed maize plants. Planta 147: 43-49.

SNEATH, P.H.A. & SOKAL, R.R., 1973 : Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. San Francisco, Freeman, 573 p.

TADJEDDINE A., 1986 – Rapport sur le projet de synthèse du xyloitol à partir du xylose extrait de l'alfa. Comm. Sem. Nat sur l'alfa, El Bayadh, 5p.

TAZAIRT K., 1992 – Etude de la variabilité morphologique, caryologique et électrophorétique de l'alfa (Stipa tenacissima L.) dans 3 régions d'Algérie selon un gradient longitudinal.

Résultats préliminaires d'un essai de révision de la systématique de l'alfa.

Thèse Magist, Univ. H . Boumediene, Alger, 130p + ann .

TRABUT L., 1889 – Etude sur l'halfa. Jourdan, Alger, 90p.

WESTGATE, M. E & BOYER, J. S., 1985 : Osmotic adjustment and the inhibition of leaf, root, stem and silk growth at lower potentials in maize. Olanta 164: 540-549.

WINTER B., 1965 – The south African stipae and aristidae (graminae) . An anatomical, cytological, and taxonomic. Study. Bothalia, 3, 401p.

WRIGHT J.W., 1976 – Introduction to forest genetics. Ed. Academic Press, 463p.

