

Adaptation des géotypes de luzerne pérenne à l'environnement hors oasis en vue d'améliorer les performances de l'agro-système du sud Tunisien

Adaptation of perennial alfalfa genotypes to the outside oasis environment in order to improve the performance of the southern Tunisian agro-system

Samir Tlahig^{1,2,*}, Ridha Habib², Hédi Yahia¹, Belgacem Lachiheb¹ & Mohamed Loumerem¹

¹ Laboratoire d'Aridoculture et Cultures Oasiennes, Institut des Régions Arides de Médenine, Tunisie

² Département des sciences de l'environnement, Institut Supérieur de Biologie Appliquée de Médenine, Université de Gabès, Tunisie

Article info

Histoire :

Reçu le 01/08/2022

Accepté le 22/08/2022

Mots-Clés : Luzerne, Fourrage, milieu Aride, élevage, Homogénéité, Hétérosis.

* Auteur correspondant
samirtlahig@gmail.com

Résumé

La sélection de la luzerne dans des zones à fortes contraintes abiotiques a peu progressé dans l'amélioration de la productivité et de la tolérance. La difficulté réside dans l'identification et la caractérisation des paramètres liés à la résistance aux différentes pressions climatiques. Divers processus phénologiques, morphologiques, physiologiques et chimiques sont à l'origine des stratégies d'évitement et de tolérance. Le but de ce travail était d'étudier les divergences morpho-physiologiques et chimiques entre huit géotypes de luzerne pérenne d'origines différentes : 3 géotypes locaux (*IRA*, *Gabès*, *Chenini*) et cinq exotiques (*Ameristand*, *Bami*, *Prosementi*, *Tamentit* et *Tata*) ayant montré une grande tolérance au bioclimat aride en dehors de l'oasis. Les résultats obtenus ont permis d'identifier deux groupes de géotypes suffisamment homogènes qui pourraient être considérés comme un patrimoine génétique intéressant pour les critères de sélection choisis. Ce pool pourra être le matériel génétique de départ pour la création de variétés synthétiques adaptées aux conditions arides en dehors des oasis caractérisées par des rendements frais et secs plus élevés (*Ameristand*, *Bami*, et *Tamentit*), avec une excellente tolérance à la salinité (*Gabès* et *IRA*).

Article info

Article history:

Received 01/08/2022

Accepted 22/08/2022

Keywords: Luzerne, Forage, Dryland, breeding, Homogeneity, Heterosis.



Copyright©2022 JOASD

*Corresponding author
samirtlahig@gmail.com

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Abstract

Alfalfa breeding in areas with high abiotic constraints has made little progress in improving productivity and tolerance. The difficulty lies in identifying and characterizing the parameters related to resistance to different climate pressures. Various phenological, morphological, physiological and chemical processes are the origin of avoidance and tolerance strategies. The purpose of this work was to study the morphophysiological and chemical divergences between eight perennial alfalfa genotypes from different origins: 3 native genotypes (*IRA*, *Gabès*, *Chenini*) and five exotic ones (*Ameristand*, *Bami*, *Prosementi*, *Tamentit* and *Tata*) exhibiting a high tolerance to the arid bioclimate outside oasis. The obtained results allowed to classify the genotypes into two sufficiently homogeneous groups which could be considered as an interesting breeding genetic pool for the chosen selection criteria. This pool is the starting genetic material for the creation of synthetic varieties adapted to arid conditions outside oases characterized by higher fresh and dry yields (*Ameristand*, *Bami*, and *Tamentit*), with excellent tolerance to salinity (*Gabès* and *IRA*).

1. INTRODUCTION

La durabilité des systèmes agraires se repose sur les efforts et les soucis de parvenir à obvier aux conséquences néfastes du changement climatique suite aux phénomènes météorologiques extrêmes qui menacent le secteur agricole. Les études prospectives menées au cours des dernières décennies ont mis en évidence les preuves irréfutables du changement climatique et la vulnérabilité du secteur agricole à ses impacts (Deswarte, 2015).

Au fil des décennies, la Tunisie, qui figure parmi les pays les plus vulnérables aux phénomènes climatiques extrêmes, est passée d'une relative autosuffisance alimentaire (vers la fin des années 1950) à une exposition croissante aux aléas climatiques entraînant une dépendance accrue aux marchés mondiaux de matières premières alimentaires. En 2018, les phénomènes climatiques ont coûté au secteur agricole plus de 80 millions de dinars. Entre le retour des inondations et la résurgence des sécheresses, la production agricole, tous secteurs confondus, n'échappe pas aux effets douloureux du réchauffement climatique (Saidi, 2021). Les perspectives du changement climatique ont soulevé des inquiétudes quant à l'augmentation de ces phénomènes. Cela pose la question de savoir comment mobiliser des améliorations durables en matière de sécurité alimentaire, en particulier les moyens de protéger et de renforcer les capacités productives nationales et la possibilité de réduire la dépendance aux marchés mondiaux pour l'approvisionnement en aliments de base. Toutes les régions de la Tunisie devraient connaître une augmentation significative de l'incidence des aléas tels que les journées chaudes avec pénurie d'eau affectant les parcours et entraînant une réduction de la production de fourrages, et même des précipitations irrégulières spatio-temporelles affectant le développement de la végétation, et évidemment les activités pastorales.

Les prévisions pour la production fourragère des parcours montrent une tendance plus prononcée à la baisse d'ici la fin du siècle, avec une réduction de 20 à 40 % d'ici à 2050 selon les différents scénarios du changement climatiques. A l'horizon 2100, les pertes deviendront fortes et préoccupantes, surtout dans les régions du sud tunisien, et, de surcroît, celles qui contribuent à la majorité des aires pastorales nationales disponibles et dans une moindre mesure dans les autres régions du pays. La zone climatiquement appropriée pour les parcours se rétrécira et s'élèvera vers le nord en raison du changement climatique. D'ici à 2100, la

superficie propice au pâturage diminuera en moyenne de 9 % à 19 %. Cependant, puisque les pâturages jouent un rôle inévitable dans l'élevage du bétail, l'impact sur la production de viandes ne sera pas aussi important. En revanche, dans le sud et le centre de la Tunisie, où se concentrent les pâturages, les revenus des éleveurs vont chuter sensiblement (AFD, 2021). Selon la FAO, l'agriculture durable repose sur 5 piliers : (1) améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources ; (2) protéger et valoriser les ressources naturelles par une action directe ; (3) protéger les moyens de subsistance ruraux et améliorer l'équité et le bien-être social ; (4) renforcer la résilience des personnes, des communautés et des écosystèmes, et enfin, (5) établir des mécanismes de gouvernance pour améliorer la durabilité de l'agriculture.

Dans le contexte de renforcer les capacités d'adaptation et de résilience de territoires ruraux face au changement climatique, la superficie agricole contrôlée par le ministère d'agriculture tunisienne est actuellement 7 fois plus étendue qu'aux années 1960. Elle atteint un total de 410 000 ha dont 216 000 ha sont des périmètres publics irrigués et 194 000 ha sont des périmètres privés constitués de systèmes individuels approvisionnés le plus souvent par des puits de surface et réalisés grâce à l'initiative propre des exploitants agricoles (Hamdane, 2021).

Parmi les maillons de performances de ces agrosystèmes, un recours vers des systèmes d'élevage plus durable a été prévu principalement en régime semi-intensif impliquant la culture plus large des légumineuses fourragères pérennes.

La luzerne (*Medicago sativa* L.) est la principale légumineuse vivace dans la plupart des régions tempérées (Annicchiario et al., 2015). La combinaison souhaitable de la valeur fourragère et l'adaptation de la luzerne à une grande diversité des sols et des conditions climatiques ont conduit à sa culture dans le monde avec une mesure dépassant probablement celle de toutes les autres espèces légumineuses. Cette distribution et cette adaptation à des conditions environnementales extrêmement diverses ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherche, dont la tolérance à la sécheresse (Loussaief et al., 2008 ; Abid et al., 2016 ; Kang et al., 2011 ; Pang et al., 2011 ; Tucak et al., 2017), tolérance au froid (Basafa et Taherian, 2009; Bagavathiannan et al., 2010; Castonguay et al., 2012), tolérance au sel (Peel et al., 2004).

Il y a lieu cependant de signaler que même si une variété est génétiquement supérieure, sa performance dépend de la façon dont elle est gérée, pour assurer que son potentiel génétique est atteint (Lacape et al., 2015). En Tunisie la culture de la luzerne pérenne caractérise la plante fourragère la plus cultivée et irriguée dans les oasis du pays, depuis longtemps (le Houérou, 1969). Par contre, il n'y en a pas, sur le marché de semences, des variétés de luzerne sélectionnées pour les périmètres irrigués des régions arides hors oasiennes. Le présent travail entre dans le cadre d'un programme de sélection de génotypes de luzerne en vue de la création d'une nouvelle variété synthétique bien adaptée aux conditions pédo-climatiques des zones arides en dehors des oasis (Tlahig et Loumerem, 2014 ; Tlahig et al., 2021). Il s'agit, donc, d'une étude comparative de quelques paramètres quantitatifs et qualitatifs en termes de rendement et de composition chimique et biochimique de différents génotypes de luzerne dans le cadre d'un programme de sélection afin de détecter et sélectionner les plus performantes.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel végétal

L'évaluation morpho-physiologique a concerné huit génotypes de la luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.). Trois génotypes sont originaires du sud tunisien (Une population sélectionnée pour les systèmes de cultures adoptés aux périmètres irrigués en dehors des oasis (IRA) avec la meilleure sélectionnée à partir des oasis (Gabès) et une population prise au hasard de l'oasis (Chenini)), et cinq ont été introduites (variétés étrangères sélectionnées présentent une résistance à la salinité) (Tableau 1). Le matériel végétal a été fourni par le Laboratoire d'Aridoculture et Cultures Oasiennes de l'Institut des Régions Arides (IRA) de Médenine.

Tableau 1. Description des génotypes de luzerne étudiés et leurs origines géographiques.

Nom	Origine	DESCRIPTION
Ameristand	Australie	Variété, tolérante à la salinité
Bami	Iran	Variété, tolérante à la salinité
Chenini	Locale	Population échantillonnée au hasard de l'oasis de Chenini
Gabès	Locale	Population élite des oasis
IRA	Locale	Meilleure lignée sélectionnée pour les régions arides hors oasiennes
Prosementi	Italie	Variété, sensible à la salinité
Tamentit	Algérie	Variété, tolérante à la salinité
Tata	Maroc	Variété peu décrite

2.2. Site expérimental

L'essai a été mené en plein champ dans une parcelle expérimentale appartenant au Laboratoire d'Aridoculture et Cultures Oasiennes à l'IRA de Médenine (Fig. 1).

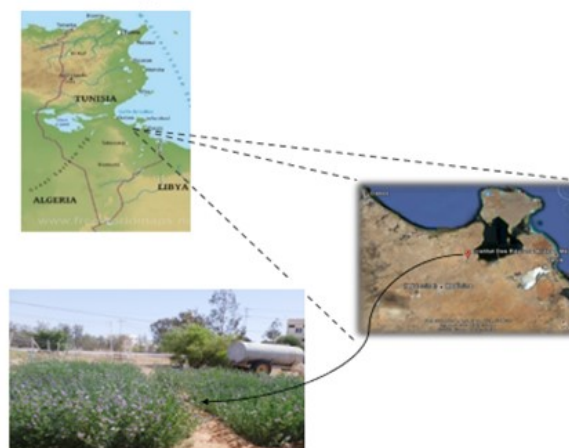


Fig. 1. Parcelle expérimentale du Laboratoire d'Aridoculture et Cultures Oasiennes de l'IRA de Médenine.

La station expérimentale se situe au Sud-Est de la Tunisie appartenant à l'étage bioclimatique aride (caractérisée par un hiver froid et un été chaud). Les précipitations annuelles ne dépassent pas 200 mm, ainsi, l'amplitude thermique est assez élevée dépassant les 30 °C.

2.3. Dispositif expérimental et conduite de l'expérience

L'essai a été conduit selon un dispositif expérimental en Blocs Aléatoires Complets (BAC) avec huit blocs. Les huit génotypes étudiés ont été plantés aléatoirement dans chaque bloc. Chaque génotype a été représenté par deux lignes de cultures espacés de 15 cm et contenant chacune 10 plantes avec un inter-plant de 15 cm. Une ligne de bordure a été installée aux contours de chaque bloc afin de diminuer l'erreur expérimentale lors de l'échantillonnage et des prises de mesures.

Le semis a été réalisé dans des plaques alvéolées le 20 février 2015 et la transplantation au champ a été effectuée durant 3 jours du 26 au 28 mars 2015. L'irrigation est effectuée une fois par semaine par l'eau de puits dont la conductivité électrique (CE) est comprise entre 8 et 9 dS/m. Chaque bloc reçoit 50 L d'eau.

2.3.1. Les paramètres évalués

Une caractérisation agro-morphologique des plantes selon le descripteur fourni par UPOV (1988) a concerné la longueur moyenne (cm), le nombre de tiges, le nombre et la longueur

moyens des entrenœuds au stade de coupe, le suivi hebdomadaire du nombre et de la longueur des repousses ainsi que l'homogénéité du développement des génotypes mesurés tous les sept jours durant la période séparant deux coupes successives durant la période hivernale.

De plus une caractérisation morphologique de feuilles (dentelure et forme des feuilles), servant comme indicateur d'homogénéité phénotypique et ayant d'éventuelles corrélations avec les paramètres agronomiques, a eu lieu précédant la récolte de différents génotypes étudiés en réalisant un simple comptage des feuilles de huit plantes au hasard de chaque génotype.

Les rendements en biomasse (fraîche et sèche) ainsi que le pourcentage en matière sèche ont été déterminés au long de l'expérimentation. Le pourcentage de matière sèche (MS) est calculé comme suit :

$$MS(\%) = \frac{P_S}{P_F} \times 100$$

Avec, PS : rendement en matière sèche ; et

PF : rendement en matière fraîche.

2.3.2. Techniques analytiques

Les paramètres du statut ionique des génotypes de luzerne étudiés concernent la détermination des teneurs en six éléments minéraux Na, K, Mg, Fe, Mn et Zn par spectrophotométrie d'absorption atomique et la teneur en matière azotée totale (MAT) par la méthode de Kjeldahl.

2.4. Analyse statistique

Les résultats obtenus ont été analysés par le logiciel SPSS version 25.0 en vue d'identifier d'éventuelle variabilité entre les génotypes de luzerne étudiés. Pour ce faire une analyse des variances (ANOVA) au seuil de 5 % a été effectuée pour chaque paramètre à part. Lorsque les différences sont significatives, des comparaisons des moyennes par le test Duncan 5 % ont été réalisées pour classer les génotypes. Enfin, une classification hiérarchique et une analyse en composantes principales (ACP) tenant en considération l'ensemble des paramètres étudiés ont été établies par le logiciel X/Stat 2019.

3. RESULTATS

3.1. Descripteurs agro-morphologiques

Les paramètres agro-morphologiques étudiés visent à évaluer le comportement de huit génotypes de luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.) durant la période hivernale (coupe 1) où les plantes entrent en phase de repos végétatif et la période de sortie de l'hivernation (début

printemps). La comparaison entre les génotypes concerne la production de biomasse (fraîche et sèche), la croissance des plantes en longueur, le nombre moyen de tiges (suivi des repousses durant la période hivernale à 7, 14, 21 et 30 jours après coupe (JAC)), le nombre et longueur moyens des entre-nœuds au stade de coupe (la veille du jour de la coupe), la dentelure, la forme des feuilles, et l'homogénéité intra-génotype.

3.1.1. Croissance en longueur des plantes

Généralement, la coupe de luzerne durant la période hivernale s'effectue dès que 50 % des individus de luzerne appartenant au même génotype atteignent 30 cm de hauteur (puisque les plantes entrent en repos végétatif et ne produisent pas de fleurs). Toutefois les récoltes les plus adéquates et raisonnables durant le reste de l'année sont effectuées au stade début floraison (10 % des floraisons apparues chez les individus du même génotype. C'est le cas de la 2^{ème} coupe réalisée dans le cadre de cette étude, où les plantes ont dépassé les longueurs moyennes enregistrées au cours de la coupe hivernale (1^{ère} coupe).

Pour montrer l'effet de la période de coupe, on a comparé les longueurs des plantes de la luzerne avant la première et la deuxième coupe qui correspondent au début de la dormance hivernale et la sortie de l'hivernation, respectivement (Fig. 2-B). Les données de cette figure ont montré une meilleure croissance en longueur des plantes subissant la 1^{ère} coupe (avant la 2^{ème} coupe) comparées à celles non récoltées (avant la 1^{ème} coupe). La longueur des plantes au stade de coupe a varié selon les génotypes entre 12,43 et 36,29 cm.

Les longueurs les plus importantes sont enregistrées chez le génotype *Gabès* (31,21 cm et 36,29 cm, aux deux coupes 1 et 2 respectivement) ; au contraire les valeurs les plus faibles sont obtenues chez *Tata* (12,43 cm et 21,51 cm, aux deux coupes 1 et 2 respectivement) (Fig. 2-B).

Durant les suivis effectués hebdomadairement à partir de la date de la première coupe (Fig. 2-A), la croissance en longueur des plantes est très lente ; les génotypes continuent à croître normalement sans qu'il y ait une floraison (période hivernale), à l'exception du génotype *Gabès* qui n'a pas subi cette dormance. La comparaison des longueurs des plantes aux stades première et deuxième coupes (Fig. 2-B) ont révélé que les génotypes *Bami*, *Gabès* et *IRA*

s'avèrent les moins dormants en montrant les croissances les plus importantes en longueur.

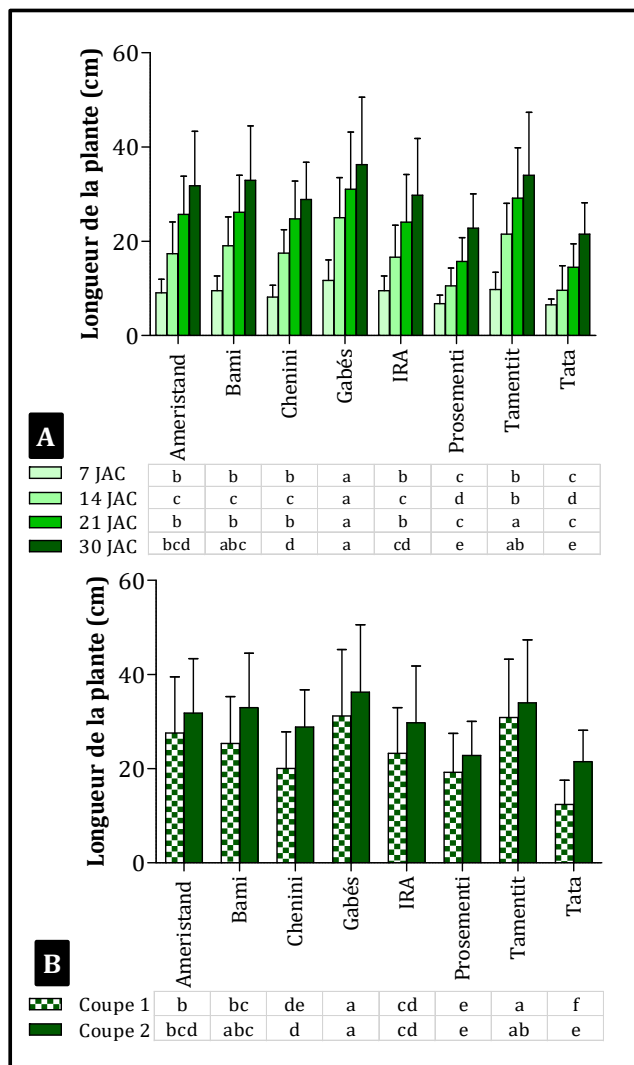


Fig. 2. Variations de la hauteur moyenne des plantes chez huit géotypes de luzerne (A) tous les 7 jours durant la période séparant deux coupes hivernales successives. (B) Les deux suivis correspondent aux mesures réalisées au stades de coupe.

Les lettres a-f désignent les différentes classes de géotypes données par le test de comparaison des moyennes de Duncan à $p < 0,05$ pour chaque date de suivi, ($n = 8$).

L'Analyse des variances des longueurs des plantes a montré des différences hautement significatives entre les différents géotypes de luzerne, suivis chaque semaine (Tableau 2).

Le test de comparaison des moyennes a permis de grouper les géotypes selon la longueur de leurs tiges dominantes. Les géotypes *Bami*, *Gabés* et *IRA* caractérisent le groupe ayant les valeurs les plus élevées. Cependant, les plantes du géotype *Tata* sont les plus courtes.

Tableau 2. Résultats de l'ANOVA à $p < 0,05$ des suivis hebdomadaires de la croissance en longueur des plantes des géotypes de luzerne entre deux coupes hivernales successives.

Source	SCE	ddl	CM	F	P
Coupe 1	9160,9	7	1308,7	27,7	<0,001
7 JAC	487,1	7	69,6	8,4	<0,001
14 JAC	6699,1	7	957,0	35,3	<0,001
21 JAC	9120,9	7	1303	29,8	<0,001
30 JAC (Coupe 2)	7376,9	7	1053,8	15,7	<0,001

SCE : Somme des carrés des écarts, ddl : degré de liberté, CM : Carré moyen, F : Variance, P : signification

3.1.2. Nombre de repousses

Le suivi du nombre de repousses après la première coupe hivernale a révélé une variabilité entre les géotypes étudiés (Tableau 3). En analysant les variances, on a constaté que les différences saisies sont hautement significatives pour l'ensemble des suivis entrepris chaque semaine (Tableau 3).

Tableau 3. Suivis de nombres moyens de repousses de différents géotypes de luzerne suivis hebdomadairement en conditions hors oasisiennes du sud tunisien entre deux dates de coupes hivernales successives en 2016

Géotypes	7 JAC	14 JAC	21 JAC	30 JAC
Ameristand	5,75 b	14,05 b	15,60 ab	14,38 a
Bami	8,98 cd	25,53 e	24,30 e	24,13 a
Chenini	5,90 b	17,68 bc	19,08 bcd	17,35 a
Gabés	10,68 d	21,23 cde	19,37 bcd	18,95 a
IRA	7,78 bc	23,38 de	21,25 cde	18,10 a
Prosementi	1,88 a	14,80 b	16,55 abc	17,98 a
Tamentit	9,10 cd	20,65 cd	22,08 de	17,53 a
Tata	1,28 a	7,75 a	13,60 a	14,70 b
P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Les lettres désignent les classes données par le test Duncan à 95 % d'intervalle de confiance. SCE : Somme des carrés des écarts, ddl : degré de liberté, CM : Carré moyen, F : Variance, P : signification.

Le suivi des nombres des repousses durant la période hivernale a révélé qu'après une semaine de la date de coupe, le géotype *Gabés* a développé le nombre moyen le plus élevé des repousses avec une moyenne de 10,68 repousses, suivi par les géotypes *Tamentit* (9,10) et *Bami* (8,98). Auxquelles s'opposent les géotypes *Tata* et *Prosementi* avec des moyennes respectives de 1,28 et 1,88 repousses qui ont subi un ralentissement d'émission des repousses (Tableau 3).

Durant la deuxième semaine qui suivait la coupe on a remarqué une émission importante des repousses chez le géotype *Bami* qui a dépassé

les 25 repousses représentant plus que le triple du nombre des repousses émises par le géotype *Tata*.

3.1.3. Nombre des entrenœuds au stade de coupe

Le suivi du nombre des entrenœuds au stade de coupe a permis de détecter une variabilité entre les géotypes de luzerne étudiés.

L'ANOVA à 5 % a révélé que les différences entre les géotypes étudiés sont très hautement significatives vis-à-vis de nombre des entrenœuds suivis aux deux dates de coupes durant la période hivernale (Tableau 4).

Tableau 4. Comparaison du nombre moyen des entrenœuds chez les géotypes de luzerne dénombrés aux stades première et deuxième coupes hivernales.

Géotypes	Coupe 1	Coupe 2
Ameristand	9,105 ± 0,25 cd	9,925 ± 0,27 bc
Bami	8,714 ± 0,24 c	9,500 ± 0,25 b
Chenini	7,600 ± 0,24 ab	9,175 ± 0,25 b
Gabès	9,143 ± 0,24 cd	10,113 ± 0,25 c
IRA	8,864 ± 0,25 c	9,700 ± 0,25 bc
Prosementi	7,857 ± 0,24 b	8,350 ± 0,25 a
Tamentit	9,229 ± 0,30 d	10,042 ± 0,31 c
Tata	6,914 ± 0,24 a	8,150 ± 0,25 a
P	<0,001	<0,001

Les lettres désignent les classes données par le test Duncan à 95 % d'intervalle de confiance. SCE : Somme des carrés des écarts, ddl : degré de liberté, CM : Carré moyen, F : Variance, P : signification.

Les nombres des entrenœuds montrent une légère augmentation au stade de la deuxième coupe par rapport à la première pour tous les géotypes étudiés (Tableau 4). Ainsi, les géotypes *Tamentit* et *Gabès* présentent le nombre le plus élevé des entrenœuds avec des moyennes respectives de 9,23 et 9,14 au stade de la première coupe contre 10,04 et 10,11 entre nœuds au stade de deuxième coupe. Les valeurs les plus faibles enregistrées chez les géotypes *Tata* et *Prosementi*.

La comparaison des moyennes a montré que le géotype *Tata* présente le groupe ayant de nombre des entrenœuds le plus faible pour les deux suivis successifs. Au contraire, le géotype *Gabès* caractérise le groupe ayant le nombre des entrenœuds le plus important.

3.1.4. Longueur moyenne des entrenœuds

Inversement proportionnelles au paramètre nombre des entre-nœuds, les longueurs moyennes des entrenœuds ont subi une diminution remarquable entre la première et la seconde coupe. Pour toutes les deux, on a

détecté une variabilité entre les géotypes de luzerne étudiés. Les résultats de l'ANOVA ont montré que ces différences sont très hautement significatives (Tableau 5).

Tableau 5. ANOVA des longueurs des entrenœuds chez les géotypes de luzerne suivies aux dates de deux coupes hivernales successives.

	SCE	ddl	CM	F	P
Coupe 1	381,640	7	54,520	5,402	<0,001
Coupe 2	167,782	7	23,969	11,428	<0,001

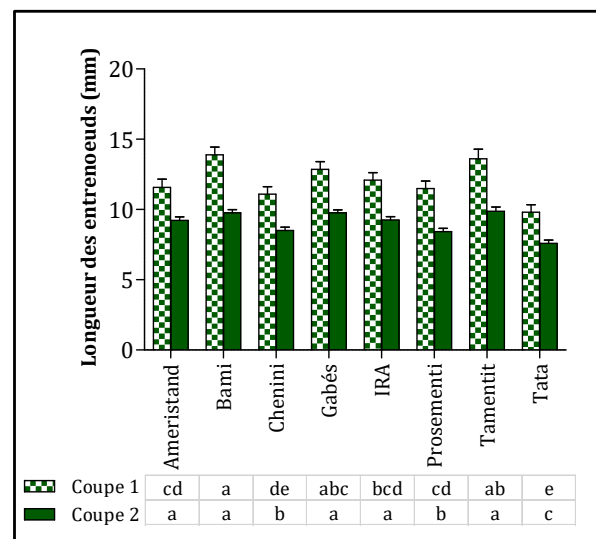


Fig. 3. Longueurs moyennes des entre-nœuds des géotypes de luzerne étudiées aux stades de deux coupes hivernales successives.

Les lettres au-dessous des histogrammes désignent les classes données par le test Duncan à 95 % d'intervalle de confiance.

Le test de comparaison des moyennes a permis de classer les géotypes selon la longueur des entrenœuds des repousses suites à deux coupes hivernales successives.

La Fig. 3 montre une diminution de longueur des entre-nœuds au contraire au nombre des entrenœuds (Tableau 4) au stade 2^{ème} coupe par rapport au stade 1^{ère} coupe. Pour les deux dates, les valeurs moyennes les plus élevées correspondent aux géotypes *Bami* (13,90 et 9,76 mm) suivi par *Tamentit* (13,60 et 9,88 mm) et *Gabès* (12,94 et 9,82 mm). Les valeurs moyennes les plus faibles caractérisent le géotype *Tata* (9,81 et 7,59 mm).

3.1.5. Dentelure des feuilles

Une variabilité a été détectée au niveau de la dentelure des feuilles entre les différents géotypes (Fig. 4). Les feuilles des plantes appartenant aux géotypes *Gabès* et *Tamentit* sont entièrement dentées (très homogène, 100 %). Cependant, le reste des géotypes sont

hétérogènes selon ce critère dont le géotype Chenini présente 75 % de dentelure de ses feuilles, suivi par les géotypes *IRA* et *Tata* avec 50 % de feuilles dentées.

Il est à noter que ce phénotype de dentelures au niveau des feuilles de luzerne est rencontré surtout chez les géotypes cultivés dans les zones arides, et c'est probablement une forme d'adaptation aux conditions ventées et sèches.

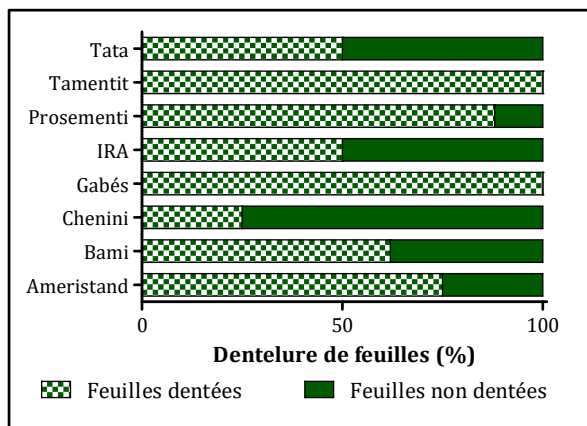


Fig. 4. Dentelure des feuilles des géotypes de luzerne étudiés. % des feuilles dentées et non dentées pour chaque géotype étudié.

3.1.6. Forme des feuilles

L'observation de la Fig. 5, illustrant la variabilité entre les géotypes pour le caractère forme des feuilles, montre que les géotypes *IRA* et *Tamentit* présentent une grande homogénéité (100 %) de la forme ovale de leurs feuilles. D'autre part, on note que le géotype *Tata* est hétérogène avec 50 % de forme ovale et 50 % de forme allongée de ses feuilles. *Ameristand* et *Gabés* présentent 12,5 % de forme ovale et 87,5 % de forme allongée de leurs feuilles. Il est à signaler que d'autres géotypes montrent des formes diverses leurs feuilles telles que chez *Bami* avec 12,5 % de forme allongée, 37,5 % de forme arrondie et 50 % de forme ovale. Selon Mauriès (2003), la forme et la composition de feuilles sont influencées par les facteurs environnementaux.

3.1.7. Paramètres de rendement

Une variabilité entre les géotypes étudiés a été détectée en termes de potentialités productives des plantes (parties aériennes) (Fig. 6-A). Les valeurs enregistrées pour la production de biomasse varient de 271,5 g à 526,5 g MF et 31,4 g et 96,0 g MS chez les géotypes *Ameristand* et *Bami*, respectivement.

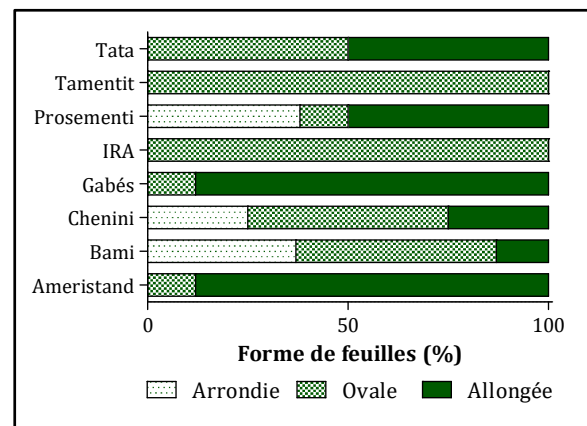


Fig. 5. Forme des feuilles des géotypes de luzerne étudiés.

Tableau 6. ANOVA des poids frais et sec de la partie aérienne, poids secs des tiges, et des feuilles des géotypes de luzerne étudiés pour la première coupe hivernale.

Variabiles	SCE III	ddl	CM	F	P
MF PA	1,70.10 ⁶	7	2,43.10 ⁵	37,449	<0,001
MS PA	4,79.10 ⁵	7	6,85.10 ⁴	2,370	<0,01
MSF	1,14.10 ⁴	7	1,63.10 ³	4,77	<0,001
MST	7,15.10 ³	7	1,02.10 ³	5,897	<0,001

L'ANOVA au seuil de 5% a montré que les différences sont hautement significatives pour les poids frais (MF PA) et sec (MS PA) de la partie aérienne, poids secs des tiges (MST), et des feuilles (MSF) des géotypes de luzerne étudiés pour la première coupe hivernale (Fig. 6-B).

La comparaison des moyennes par le test de Duncan a distingué cinq classes dont la meilleure classe est représentée par le géotype *Bami* et *IRA* avec des rendements moyens frais de 526,46 g et 501,04 g suivis par le géotype *Tamentit* avec un rendement moyen de 414,79 g. La même analyse réalisée en considérant les variations de MS a identifié sept groupes dont la production maximale est enregistrée chez *Bami* (96,02 g) et *Prosementi* (92,96 g), suivis par *Gabés* (90,06 g) et *IRA* (66,11 g). Les rendements des feuilles et tiges des géotypes sont traités pour étudier la variabilité agronomique en liaison avec la qualité fourragère de la luzerne (Annicchiarico et al., 2015).

La production maximale en biomasse sèche des feuilles est enregistrée chez les géotypes *Bami* et *Tamentit* (59,57 g et 58,114 g, respectivement). Le géotype *Tata* montre la plus faible biomasse sèche produite (23,923 g). Il est à signaler que les géotypes *Bami* et *Tata*

gardent, respectivement, les valeurs maximales et minimales de MS des tiges (Fig. 6-B).

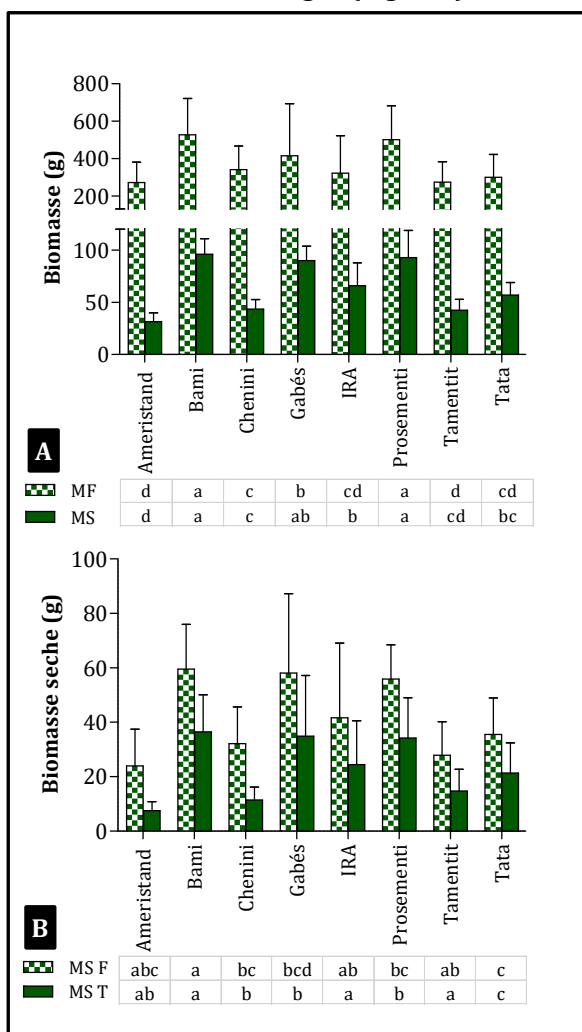


Fig. 6. Variations de la production de matière fraîche et sèche des parties aériennes des plantes de huit géotypes de luzerne pérenne (*Medicago sativa*) étudiée.

Les moyennes (n = 8) suivies par des lettres différentes sont significatives au seuil de 5 %, d'après le test de Duncan.

3.1.8. L'homogénéité du développement végétatif

On a évalué l'homogénéité du développement végétatif hebdomadaire des géotypes de luzerne cultivés sur les huit blocs en attribuant des scores (Fig. 7).

L'analyse statistique de l'homogénéité *via* le test khi-deux de Pearson et le rapport de vraisemblance intra-géotypes sur les 8 blocs à 95% d'intervalle de confiance a révélé que les niveaux d'homogénéité diffèrent significativement entre les géotypes durant l'ensemble des suivis hebdomadaires à l'exception du suivi à 30 jours après la première coupe et correspondant aussi à la date de la deuxième coupe où l'ensemble des géotypes

s'approchent d'un niveau déterminé d'homogénéité et de vraisemblance apparente (Tableau 7).

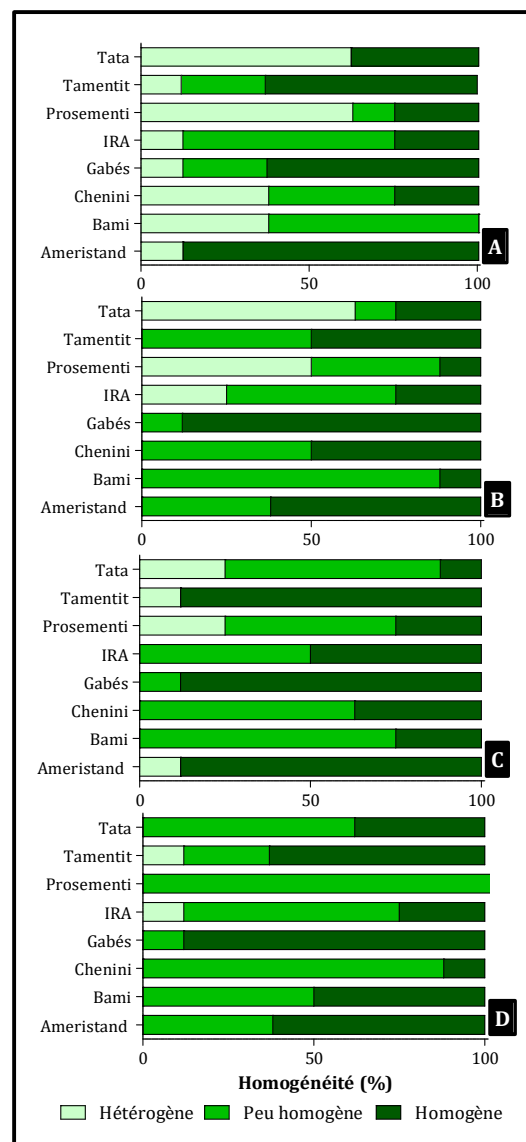


Fig. 7. Homogénéités respectives des géotypes suivies tous les 7 jours ; l'effectif désigne le nombre des blocs auxquels sont attribués les scores : hétérogène, peu homogène et homogène.

Tableau 7. Tests khi-deux ($\alpha=0,05$) de l'évaluation de l'homogénéité du développement végétatif hebdomadaire des géotypes de luzerne pendant une période qui sépare 2 dates de coupes hivernales successives.

Suivis	Tests d'homogénéité	Valeur	ddl	P
7 JAC	Khi-deux de Pearson	31,95	56	0,004
	RV	36,90	56	0,001
14 JAC	Khi-deux de Pearson	39,07	56	0,000
	RV	40,74	56	0,000
21 JAC	Khi-deux de Pearson	31,29	56	0,005
	RV	39,33	56	0,000
30 JAC	Khi-deux de Pearson	23,03	56	0,060
	RV	24,02	56	0,046

RV : Rapport de vraisemblance ; Le degré de liberté du test ddl= (n-1) géotypes*(n-1) blocs.

Durant les quatre suivis d'homogénéité de développement, les géotypes *Gabès*, *Ameristand* et *Tamentit* ont conservé un niveau très homogène qui fluctue entre les 62,5 et 87,5%. Ce sont les géotypes les plus homogènes suivis par le géotype *Bami* qui est plutôt moyennement homogène. Par contre, les géotypes *Prosementi* et *Tata* s'avèrent les plus hétérogènes le long de la période de suivi.

3.2. Statut nutritionnel des plantes

3.2.1. Teneurs en matière azotée totale

L'analyse de la variance a révélé un effet hautement significatif du facteur géotype sur les teneurs en matière azotée totale (Tableau 8). La Fig. 8 montre une variation de la teneur en matière azotée totale entre les géotypes étudiés. Chez tous les géotypes, les feuilles accumulent plus d'azote que les tiges.

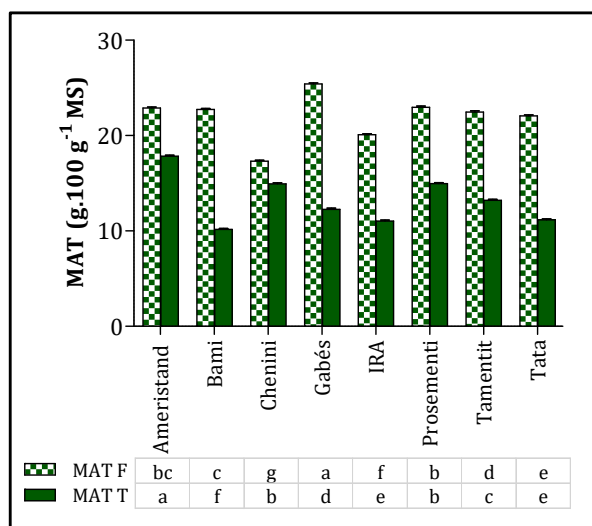


Fig. 8. Teneurs moyennes en MAT des feuilles et des tiges de huit géotypes de luzerne étudiés.

Tableau 8. ANOVA à 5% des teneurs en matière azotée totale dans les tiges et les feuilles des géotypes de luzerne étudiés.

Source	SCE III	ddl	CM	F	P valeurs
MAT F	118,984	7	16,998	1545,130	0,000
MAT T	139,941	7	19,992	1822,537	0,000

La MAT foliaire varie de 17,31 g.100 g⁻¹ MS chez *Prosementi* à 25,40 g.100 g⁻¹ MS chez *Tamentit*. Par ailleurs, celle des tiges fluctue entre 10,15 g.100 g⁻¹ MS et 17,84 g.100 g⁻¹ MS chez *Bami* et *Tata*, respectivement.

3.2.2. Teneurs en éléments minéraux

Les données du Tableau 9 montrent une variabilité du statut nutritionnel des plantes (feuilles et tiges) entre les huit géotypes considérés. L'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif du facteur géotype sur les teneurs des micro- et macroéléments des différents organes ($P < 0,001$). Les teneurs en Zn et Mn sont très faibles et leurs valeurs ne dépassent guère 2,5 mg.100 g⁻¹ MS. La présence du Fe est plus marquée que les deux autres micro-éléments (Zn et Mn) dont les teneurs atteignent 70 mg.100 g⁻¹ MS. Les feuilles et les tiges de *Tata* accumulent plus de Fe comparés aux autres géotypes. Il est à signaler que l'accumulation de Fe dans les feuilles est plus prononcée que celles des tiges, à l'exception des géotypes *IRA* et *Chenini*. Trois macroéléments ont été analysés au cours de cette étude à savoir le Mg, le K et le Na (considéré comme micro-éléments dans certains cas). Les teneurs en Na sont les plus élevées suivies par le Mg et le K. Les valeurs élevées de Na sont dues à l'irrigation par une eau de puits à conductivité électrique légèrement élevée ($EC = 8$ à 9 dS.m⁻¹). Il apparaît ainsi que ces macroéléments s'accumulent plus dans les tiges par rapport aux feuilles chez la plupart des géotypes. Comparées aux géotypes, *IRA* accumule plus de Mg dans ses tiges avec une valeur de 200 mg.100 g⁻¹ MS, celle de *Tata* présente les valeurs les plus élevées en K (384 mg.100 g⁻¹ MS), alors que l'accumulation de Na est plus marquée chez *Ameristand* (896 mg.100 g⁻¹ MS).

3.3. Classification des géotypes

D'une façon générale, l'évaluation de la diversité agro morphologique varie selon les caractères étudiés. Il serait donc intéressant d'étudier la structure de cette diversité en analysant conjointement l'ensemble des caractères (Tlahig et al., 2017; Yehmed et al., 2022). Les performances des géotypes de luzerne cultivés dans un système de culture hors oasis ont été statistiquement évaluées à l'échelle multicritères via l'analyse en composantes principales (ACP) jumelée à une classification hiérarchique ascendante (CHA). Ces deux analyses ont été effectuées par l'approche de

corrélations de Pearson. L'ACP a dégagé sept composantes dont 65,02% de la variabilité totale a été absorbée par les deux premières composantes F1 (41,23%) et F2 (23,79%) et enregistrant des valeurs propres de 5,36 et 3,09 respectivement. La CHA (Fig. 9-B) a permis de distinguer au niveau de l'origine de l'axe des corrélations, trois classes de génotypes qui sont en accord avec leur distribution sur le biplot de

l'ACP (Fig. 9-A). la première classe est constituée par les génotypes *Bami*, *Ameristand* et *Tamentit* qui se distinguent du reste des génotypes principalement par les paramètres de rendement (%MS) et la matière sèche feuille et tige très élevées. Par analogie et conformément des résultats précédents, ces génotypes se caractérisent par le nombre important des tiges et des entrenœuds.

Tableau 9. Teneurs moyennes en micro- et macroéléments (mg.100 g⁻¹ MS) des feuilles et des tiges des génotypes de luzernes étudiées.

Génotypes	Zn	Mn	Fe	Mg	K	Na
<i>Ameristand</i> Feuille	1,37±0,01 B	1,76±0,01 E	70,4±6,6 A	139,46±0,9 B	129,41±0,1 D	243,53±4,2 F
<i>Ameristand</i> Tige	1,52±0,01 a	0,45±0,00 b	22,33±0,1 a	176,86±3,3 b	384,84±2,9 a	492,54±7,9 d
<i>Bami</i> Feuille	1,17±0,00 C	1,70±0,01 F	37,30±15,6 BC	133,33±0,7 C	235,84±1,4 C	469,84±0,1 B
<i>Bami</i> Tige	0,85±0,00 f	0,25±0,00 e	10,75±0,0 d	129,93±0,9 c	298,81±36,8 b	402,68±0,9 f
<i>Chenini</i> Feuille	1,48±0,00 A	1,93±0,00 D	42,23±2,6 B	108,28±1,9 F	250,82±2,9 B	292,88±6,9 D
<i>Chenini</i> Tige	1,12±0,00 b	0,32±0,00 d	14,65±0,1 c	175,51±0,7 b	276,57±2,1 b	623,32±37,3 c
<i>Gabès</i> Feuille	0,64±0,01 H	0,84±0,01 H	14,81±1,1 EF	96,20±0,9 G	106,79±1,9 E	128,50±7,4 H
<i>Gabès</i> Tige	0,83±0,00 g	0,11±0,00 f	7,99±0,1 g	137,45±19,0 c	277,45±4,6 b	392,20±7,6 f
<i>IRA</i> Feuille	0,91±0,00 F	2,10±0,00 C	31,33±8,3 BCD	192,69±0,9 A	127,69±0,7 D	719,46±1,2 A
<i>IRA</i> Tige	0,85±0,01 f	0,24±0,00 e	10,10±0,1 e	176,83±17,9 b	177,05±5,4 c	896,03±31,0 a
<i>Prosementi</i> Feuille	0,78±0,01 G	0,97±0,02 G	12,71±1,1 F	123,78±0,5 E	107,33±0,8 E	264,56±1,9 E
<i>Prosementi</i> Tige	1,03±0,00 d	0,41±0,00 c	14,78±0,1 bc	200,09±2,1 a	173,96±2,7 c	616,45±10,9 c
<i>Tamentit</i> Feuille	0,78±0,01 D	0,97±0,02 B	12,71±1,1 CDE	123,78±0,5 C	107,33±0,8 D	264,57±1,9 G
<i>Tamentit</i> Tige	1,10±0,00 c	1,21±0,01 a	15,24±0,7 b	179,90±0,3 b	169,76±2,5 c	740,33±1,4 b
<i>Tata</i> Feuille	0,94±0,02 E	2,37±0,03 A	21,70±0,9 DEF	126,94±1,4 D	353,54±15,7 A	335,56±3,04 C
<i>Tata</i> Tige	0,92±0,01 e	0,33±0,02 d	9,08±0,0 f	172,40±0,6 b	297,88±1,4 b	454,07±21,5 e
<i>P</i> Feuille	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<i>P</i> Tige	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Les lettres qui suivent les valeurs d'erreurs standards des moyennes désignent les classes données par le test Duncan à 5%.

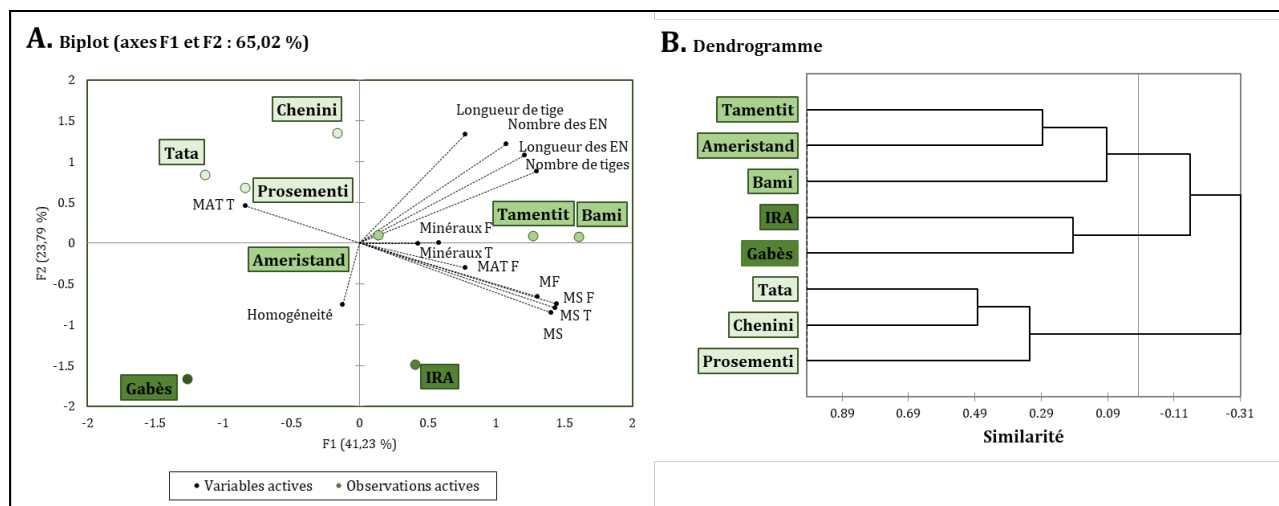


Fig. 9. Biplot de l'ACP (A) et dendrogramme résultant de la classification hiérarchique ascendante (B)

Alors que la seconde classe est constituée par les génotypes *Gabès* et *IRA* distingués par leur homogénéité tenant en compte que le génotype *Gabès* a été choisi de l'oasis de Gabès, pour sa performance dans le système de culture oasisienne; alors que le génotype *IRA* a été sélectionné pour la performance dans les

périmètres irrigués en dehors des oasis. Ce dernier a prouvé un comportement de tolérance aux facteurs environnementaux difficiles pour la réussite de cette culture. La dernière classe est constituée des génotypes *Chenini*, *Prosementi* et *Tata* caractérisés par une faible homogénéité. Les deux génotypes introduites (*Prosementi* et

Tata) présentent une faible tolérance au milieu aride Tunisien ainsi, le génotype *Chenini* été échantillonnée au hasard de l'oasis de Chenini, son comportement en dehors des oasis dans les périmètres irrigués n'est pas stable avec une performance moyennement faible.

4. DISCUSSION

Selon l'IBPGR (1984), la caractérisation d'une plante consiste à l'enregistrement de la variabilité des caractères qui sont très héréditaires, facilement visibles à l'œil et exprimés dans tous les environnements. Une meilleure adaptation aux contraintes abiotiques dans l'environnement de croissance de la luzerne a une valeur intrinsèque pour la croissance et la persistance de cette légumineuse fourragère et peut améliorer sa durabilité dans ces divers systèmes agricoles (Annicchiarico et al., 2015). Les ressources génétiques de la luzerne présentent une grande hétérogénéité phénotypique et génétique entre et au sein des génotypes en raison de la pollinisation croisée et de l'auto-incompatibilité importante de cette espèce (Tlahig et al., 2021). Par conséquent, la caractérisation et l'évaluation des ressources génétiques sont considérées comme étant au centre des efforts de sélection de la luzerne. Les caractéristiques morphologiques liées au développement de la tige, des feuilles, des fleurs et des graines sont des manifestations directes de la construction génétique des génotypes. À cette fin, la morphométrie des plantes a été utilisée dans différents systèmes de classification du matériel génétique (Loumerem et al., 2007, Moawed, 2016).

Malgré la grande variabilité intra-population de la luzerne, l'augmentation du potentiel de rendement dans des environnements de croissance favorables s'est avérée difficile et demeure un défi central dans la sélection fourragère. Le taux élevé de transmission tétrasomique et la discordance génétique non additive résultant des interactions génétiques, de la suppression sévère de la consanguinité et des importantes interactions génotype \times environnement ajoutent à la complexité de cette tâche (Annicchiarico et al., 2015).

Dans un environnement propice au système de culture semi-intensif, en particulier avec des fauchages fréquents, un bon rendement à long terme de la luzerne est garanti avec des niveaux plus élevés d'amidon et de solubilité des protéines dans les racines et les couronnes (Annicchiarico et al., 2013). La sélection directe de la biomasse aérienne est plus efficace que la sélection indirecte des paramètres racinaires en cas de coupes fréquentes (Rotili et al., 1994). Une large sélection de plantes survivantes dans des peuplements denses soigneusement gérés pour minimiser l'hétérogénéité environnementale peut assurer une augmentation des populations adaptées à des conditions de croissance spécifiques à un coût minimal (Annicchiarico, 2004).

La luzerne, étant une espèce à pollinisation croisée, est exposée à un risque de consanguinité et d'inhibition du potentiel de rendement, ce qui suggère que ces derniers effets devraient être identifiés et évalués pour les différents génotypes dans un plan de préservation et d'amélioration du germoplasme ciblé. L'hétérosis du rendement est un critère de bénéfice à long terme dans la sélection de la luzerne, et des études ont identifié des effets d'hétérosis et des effets additifs par le biais de l'aptitude générale de combinaison comme base principale (Al Lawati et al., 2010).

Toutefois, l'amélioration du rendement en biomasse du germoplasme de luzerne doit se faire sans affecter les autres composantes de la valeur agronomique qui sont principalement : la durée de vie (3 à 6 ans) et facilité d'installation, flexibilité de l'utilisation (pâturée, foin, bouchons, etc.), répartition du rendement au cours de l'année, appétibilité et souplesse des feuilles et des tiges, la teneur en protéines, la production des semences, la résistance à la sécheresse, et la résistances aux maladies.

5. CONCLUSION

Cette étude consiste à une évaluation agro morphologique et chimique de huit génotypes de *Medicago sativa* L. de différentes origines. Des paramètres quantitatifs ont été étudiés pour l'évaluation de ces populations. L'analyse de la variance pour les caractères étudiés montre une

différence hautement significative entre les populations. Mais, pour estimer la ressemblance entre les populations, on a comparé les moyennes par le test de Duncan qui permet de chercher des groupes de lignées homogènes, en considérant les caractères pour lesquels les valeurs de F (résultat de l'ANOVA) se sont avérées significatives. D'une façon générale, on a remarqué que l'évaluation de la diversité agromorphologique varie selon les caractères étudiés. En outre, l'étude de l'homogénéité, nous a permis d'identifier les génotypes les plus uniformes et plus adaptables au milieu aride Tunisien. De même, l'analyse chimique nous a permis de regrouper les populations selon leur tolérance à la salinité des eaux d'irrigation (essentiellement la teneur en sodium). Ce groupage est confirmé par l'analyse de similarité. Au terme de ce travail et en se référant à la classification multicritère des huit génotypes considérés, les résultats obtenus permettent de regrouper les génotypes en deux noyaux suffisamment homogènes pour les critères de sélection choisis; dont l'un représente le germoplasme local (*Gabès* et *IRA*), et l'autre est composé des génotypes exotiques (*Ameristand*, *Bami*, et *Tamentit*). Ces deux noyaux de génotypes sont le matériel génétique de départ pour la création des variétés synthétiques adaptées aux conditions arides hors oasis caractérisées par des rendements élevés de fourrage frais et sec, avec une excellente tolérance à la salinité. Ces génotypes constituent un matériel génétique intéressant pour les sélectionneurs de luzerne. Donc, il sera important de préserver ce patrimoine pour d'autres travaux de sélection.

REFERENCES

- Abid, M. Mansour, E. Ben Yahia, L. Bachar, K. Ben Khaled, A. Ferchichi, A. (2016). Alfalfa nutritive quality as influenced by drought in South-Eastern Oasis of Tunisia. *Italian Journal of Animal Science* 15(2), 334- 342.
- AFD (Agence Française de Développement). (2021). Impacts des effets du changement climatique sur la sécurité alimentaire : Tunisie - Contribution aux éléments de la phase préparatoire du processus du plan national d'adaptation (axe 2). 124 pages.
- Al Lawati, A.H. Pierce, C.A. Murray, L.W. Ray, I.M. (2010). Combining ability and heterosis for forage yield among elite alfalfa core collection accessions with different fall dormancy responses. *Crop Science* 50, 150-158.
- Annicchiarico, P. (2004). A low-cost procedure for multi-purpose, large-scale field evaluation of forage crop genetic resources. *Euphytica* 140, 223-229.
- Annicchiarico, P.B. Barrett, E.C. Brummer, B. Julier Marshall, A.H. (2015). Achievements and Challenges in Improving Temperate Perennial Forage Legumes. *Critical Reviews in Plant Sciences* 34(1-3), 327-380.
- Bagavathiannan, M.V. Julier, B. Barre, P. Gulden, R.H. et Van Acker, R.C. (2010). Genetic diversity of feral alfalfa (*Medicago sativa* L.) populations occurring in Manitoba, Canada and comparison with alfalfa cultivars: An analysis using SSR markers and phenotypic traits *Euphytica* 173, 419-432.
- Basafa, M. Taherian, M. (2009). A study of agronomic and morphological variations in certain alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes of the cold region of Iran. *Asian Journal of Plant Sciences* 8, 293-300.
- Castonguay, Y. Dubé, M.P. Cloutier, J. Michaud, R. Bertrand, A. et Laberge, S. (2012). Intron-length polymorphism identifies a Y2K4 dehydrin variant linked to superior freezing tolerance in alfalfa. *Theoretical and Applied Genetics* 124, 809-819.
- Deswarte, J.C. (2015). Evolution des rendements et du climat : principaux constats. Conférence-débat sur « L'agriculture face au changement climatique », 14 Octobre 2015, Paris.
- Hamdane, A. (2021). Développement et gestion de l'irrigation en Tunisie ; Réadapté et traduit du livre intitulé « Irrigation in the Mediterranean- Technologies, institutions and policies », 2019, Editors : F. Molle, C. Sanchis-Ibor and L. Avellà-Reus- Spinger.
- IBPGR. (1984). International board for plant genetic resources. Forage Legume Descriptors. Commission of European Communities: Committee on Disease Resistance Breeding and Use of Gene banks, Rome, Italy.
- Kang, Y. Han, Y. Torres-Jerez, I. Wang, M. Tang, Y. Monteros, M. et Udvardi, M. (2011). System responses to long-term drought and re-watering of two contrasting alfalfa varieties. *Plant Journal* 68, 871-889.
- Lacape, J.M., Loison, R., Foncéka, D. (2015). Amélioration de l'adaptation des cultures à la sécheresse en zone de savane africaine. In: Torquebiau E. Changement climatique et

- agricultures du monde. Collection Agricultures et défis du monde, Cirad-AFD. Editions Quae, p. 63-74
- Le Houérou, H.N. (1969). Principes, méthodes, techniques d'amélioration fourragère et pastorale en Tunisie. F.A.O. pp291.
- Loumerem, M. Tavares de Sousa, M.M. Annicchiarico, P. Hayek, T. Boubakri, C. (2007). Improvement of perennial forage plants for sustainability of Mediterranean farming systems. Lucerne (*Medicago sativa* L.) breeding work in south Tunisia. Options Méditerranéennes (Série A) 79, 453-458.
- Loussaief, L. Mezni, M. et Smiti S. (2008). Influence de l'intensité et de la durée du stress hydrique sur le comportement écophysologique de deux cultivars de luzerne pérenne (L.) Gabès et Aquarius. In: Actes du séminaire international : Gestion des ressources et applications biotechnologiques en aridoculture et cultures oasisiennes : Perspectives pour la valorisation des potentialités du Sahara. Institut des Régions Arides, Médenine 25-28 Décembre 2008, Tunisie. Revue des régions arides 21, 701-712.
- Mauriès, M. (2003). La luzerne: Culture Récolte Conservation Utilisation. Editions France Agricole. pp267.
- Moawed, M.M. (2016). Evaluation of morphological and anatomical characters for discrimination and verification of some *Medicago sativa* (L.) Cultivars. Indian Journal of Agricultural Research 50 (2), 183-192.
- Pang, J. Yang, J. Ward, P. Siddique, K.H.M. Lambers, H. Tibbett, M. et Ryan, M. (2011). Contrasting responses to drought stress in herbaceous perennial legumes. Plant Soil 348, 299-314.
- Peel, M.D. Waldron, B.L. Jensen, K.B. Chatterton, N.J. Horton, H. et Dudley, L.M. (2004). Screening for salinity tolerance in alfalfa: A repeatable method. Crop Science 44, 2049-2053.
- Rotili, P. Scotti, C. Zannone, L. et Gnocchi, G. (1994). Lucerne stand system: Dynamics of forage production, quality and demography: Consequences on the variety constitution process. Serie Technique REUR (FAO) 36, 54-62.
- Saidi, M. 2021. Impact du changement climatique sur l'agriculture: Des risques réels qui menacent le secteur. La presse, publié le 20/10/2021. Tunisie.
- Tlahig S., Karmous I., Gorai M., Jaouadi T. et Loumerem M. (2021). Effect of cutting time on the performance of alfalfa (*Medicago sativa* L.) genotypes cropped in arid environment. Polish Journal of environmental studies 30 (2), 1817-1829.
- Tlahig, S., Loumerem, M. (2014). Comparison of three-years yielding of breeding lines of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) for adaptation to outside-oases conditions in southern Tunisia. Revue des Régions Arides 35 (3/2014), 341-348.
- Tucak, M. Popovic, S. Cupic, T. Krizmanic, G. (2017). Drought stress responses of alfalfa (*Medicago sativa* L.) breeding populations. Romanian agricultural research 34(34), 1-6.
- UPOV, (1988). Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Homogeneity and Stability - Lucerne (*Medicago sativa* L. and *Medicago varia* Martyn.). UPOV, Genève.
- Yehmed, J. Tlahig, S. Ayeb, N. Mohamed, A. Yahia, H. Debara, M. Loumerem, M. (2022). Agromorphological, Yield Components and Nutritional Quality Attributes of Vicia faba L. var Minor Cropped in Tunisian Arid Regions. Polish Journal of environmental studies 31 (1), 929-946.