

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة
Ecole Nationale Supérieure Agronomique - El Harrach - Alger

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences Agronomiques

Thème

Etude de la réponse des graminées fourragères, fétuque (*Festuca arundinacea* Schreb.) et dactyle (*Dactylis glomerata* L.) au déficit hydrique : structure foliaire, accumulation des osmotocums et efficience d'utilisation de l'eau.

Présentée par Mr. : MEFTI Mohammed
Soutenue le : 09 / 06 / 2012.

Devant le Jury :

PRESIDENT	Pr. ABDELKRIM H.	ENSA_ EL HARRACH
RAPPORTEURS	Pr. BOUZERZOUR H.	FSNV_ UFA_ SETIF
	Pr. ABDELGUERFI A.	ENSA_ EL HARRACH
EXAMINATEURS	Pr. KHELIFI L.	ENSA_ EL HARRACH
	Pr. BENMAHAMMED A.	FSNV_ UFA_ SETIF
	Pr. SNOUSSI S.A.	USD_ BLIDA

Année universitaire : 2011-2012

DEDICACE

A mes très chers parents, pour leurs sacrifices et leurs efforts consentis,

A ma femme et mes enfants Anes, Mehdi et Housseem

A mes frères et sœurs

A toute ma famille,

Je dédie ce travail

Mohamed MEFTI

Remerciements

A l'issue de ce travail de recherche, je tiens tout particulièrement à remercier Monsieur Bouzerzour Hamena, Professeur à l'université de Sétif, pour avoir accepté de diriger avec beaucoup d'attention et de soin cette thèse. Je lui suis très reconnaissant pour sa disponibilité, sa bienveillance et son soutien permanent, et d'avoir prêté un intérêt constant au sujet de la thèse. Je lui dois beaucoup pour le contenu du travail présenté, pour ses critiques constructives, pour sa gentillesse et ses qualités humaines. Qu'il trouve mes sincères remerciements et gratitude.

Je tiens à remercier Mr Abdelguerfi, Professeur à l'École Nationale Supérieure Agronomique, pour m'avoir intégré dans son équipe de recherche dans le cadre du projet PERMED et pour avoir accepté de co-diriger ce travail.

Mes plus vifs remerciements s'adressent à Monsieur Abdelkrim, Professeur à l'École Nationale Supérieure Agronomique pour avoir accepté de présider ce jury et de juger ce travail.

Mes remerciements vont également, à Messieurs : Khelifi, Professeur à l'École Nationale Supérieure Agronomique, Benmahammed, Professeur à l'université Ferhat Abbès de Sétif et Snoussi, Professeur à l'université Saad Dahlab de Blida, qui m'ont fait l'honneur de faire partie du jury, et qui ont accepté de juger ce travail.

Ce travail n'aurait pas pu être mené sans la précieuse collaboration de Trabelsi, Maameri, Kadri, Bouguerra, Fatmi, Brahimi et Tourkman, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je veux adresser tous mes remerciements à tous le personnel de l'ITGC de Sétif, à Mr. Makhlouf Mahfoud plus particulièrement, pour son aide durant les quatre années d'expérimentation.

Je remercie également toute l'équipe du laboratoire de biologie moléculaire de l'Unité de recherche pluridisciplinaire « Prairies et plantes fourragères » de l'Inra de Lusignan. J'exprime toute ma reconnaissance à Messieurs J.L. Durand et Philippe Barre pour leurs précieuses orientations.

Je ne saurais oublier de remercier le Professeur Nicola Pecchioni et le Dr. Enrico Francia pour leur accueil à maintes reprises au département d'agronomie de l'université de Modena et Reggio Emilia ainsi qu'au Centro di ricerca per la genomica e la postgenomica animale e vegetale (Fiorenzuola d'Arda PC.), et pour leur grande disponibilité et leurs précieuses orientations dans les analyses moléculaires.

Tous mes bien sincères remerciements vont aussi à mes collègues enseignants à l'université de M'sila pour leurs encouragements tout au long des années de travail entre M'sila et Sétif.

METTI Mohamed

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	4
I. LES FOURRAGES NATURELLES.....	4
2. LES FOURRAGES CULTIVES.....	5
2.1. L'ORGE	5
2.2. LES ASSOCIATIONS LEGUMINEUSES- CEREALES.....	6
2.3. LES LUZERNES ANNUELLES.....	7
2.4. LA PAILLE ET LES RESIDUS DES CEREALES.....	7
2.5. LES FOURRAGES SECONDAIRES.....	8
2.6. LES GRAMINEES PERENNES.....	8
2.6.1. LE RAYGRASS.....	9
2.6.2. LE DACTYLE.....	10
2.6.2.1. Présentation de <i>Dactylis glomerata</i> L.	10
2.6.2.2. Origine géographique de <i>Dactylis glomerata</i> L.	11
2.6.2.3. Caractéristiques biologiques de <i>Dactylis glomerata</i> L.	12
2.6.2.4. Intérêt agronomique de <i>Dactylis glomerata</i> L.	13
2.6.2.5. Croissance, Production et Valeur nutritive de <i>Dactylis glomerata</i> L.	14
2.6.3. LA FETUQUE	16
2.6.3.1. Présentation générale du genre <i>festuca</i>	16
2.6.3.2. Présentation de <i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	17
2.6.3.3. Aires de répartition et d'adaptation de <i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	18
2.6.3.4. Croissance saisonniere et valeur nutritive de <i>Festuca arundinacea</i> Schreb.....	19

2.6.3.5. Relation symbiotique <i>F. arundinacea</i> Schreb. et l'endophyte <i>N. coenophialum</i>	23
3. LA SELECTION DES GRAMINEES PERENNES.	25
3.1. LA TOLERANCE DU STRESS HYDRIQUE ET DES HAUTES TEMPERATURES.	25
3.2. LA TOLERANCE DE LA PATURE	26
4. MECANISMES DE TOLERANCE DES PLANTES A LA SECHERESSE	28
5. LA DORMANCE ESTIVALE	35
6. LA PERSISTANCE	37
7. LES MARQUEURS MOLECULAIRE ET L'AMELIORATION DES FOURRAGES	38
 CHAPITRE II. PRODUCTION DE MATIERE SECHE, DUREE DU CYCLE ET PERSISTANCE DES VARIETES DE FETUQUES (<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.) ET DE DACTYLE (<i>Dactylis glomerata</i> L.) EVALUEES SOUS CONDITIONS SEMI-ARIDES.	
INTRODUCTION.....	45
MATERIEL ET METHODES.....	47
1. Le site expérimental	47
2. Matériel végétal	47
2.1. La fétuque	48
2.2 Le dactyle	48
3. Conditions climatiques des campagnes d'étude	49
4. dispositif expérimental et conduite de l'essai	51
5. Notations réalisées	52
6. Analyse des données	58
RESULTATS ET DISCUSSION.....	63
I. Etude de la variabilité des caractères d'intérêt fourrager	63
1. Le rendement en matière sèche	63
2. La hauteur de la végétation et la précocité à l'épiaison	69
3. La surface foliaire (SF), la croissance relative (TCR) et la persistance de la végétation (REC)	73
4. typologie variétale	84

II.	Etude de la tolérances des stress abiotiques	88
1.	La teneur relative en eau foliaire.....	88
2.	Le contenu en sucres solubles.....	90
3.	La proline.....	93
III.	Etude de la stabilité des performances saisonnières de production fourragères.....	95
1.	Valeurs des indices de la stabilité.....	97
2.	Liaisons entre les différents indices de la stabilité.....	99
3.	Classification des variétés sur la base des indices de la stabilité.....	100
IV.	Efficacite d'utilisation des precipitations.....	103
	Synthèse	109
 CHAPITRE III. DETERMINATION DE LA VARIABILTE GENETIQUE ENTRE LES VARIETES ETUDIEES PAR LES MARQUEURS MOLECULAIRES AFLP.		
	INTRODUCTION.....	118
	MATERIEL ET METHODES	120
1.	protocole d'extraction de l'ADN.....	120
2.	Marquage par la méthode AFLP	121
2.1.	Digestion de l'ADN.....	122
2.2.	Ligation des adaptateurs.....	122
2.3.	Préamplification.....	122
2.4.	Amplification sélective.....	123
2.5.	Séparation sur gel d'acrylamide.....	124
3.	ANALYSE DES DONNEES.....	124
4.	RESUTATS ET DISCUSSION.....	125
	CONCLUSION.....	132
	CONCLUSION GENERALE.....	134
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	137

ANNEXES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques du sol du site.....	47
Tableau 2. Espèce, numéro et nom des variétés évaluées et leur randomisation en plein champ.....	51
Tableau 3. Dispositif expérimental de simple lattices employé en expérimentation.....	52
Tableau 4. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la matière sèche (MS, t h ⁻¹) récoltée par saison.....	63
Tableau 5. Moyennes de la matière sèche (MS, t ha ⁻¹) récoltée par saison.....	63
Tableau 6. Moyennes saisonnières et par cycle de la matière sèche (MS, t ha ⁻¹) produites par variété.....	64
Tableau 7. Variation de la hauteur de végétation et de la durée à l'épiaison des différentes variétés.....	71
Tableau 8. Variation de la surface foliaire (SF), du taux de croissance relative (TCR) et du taux de recouvrement (%REC) des différentes variétés.....	75
Tableau 9. Evolution du % de recouvrement modélisée par une fonction linéaire pour les différentes variétés de fétuques et de dactyles testés.....	77
Tableau 10. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau foliaire mesurée au début de l'été des quatre campagnes chez les 14 variétés évaluées.....	78
Tableau 11. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance des valeurs de la conductance stomatique mesurée au début de l'été des quatre campagnes successives, chez les 14 variétés évaluées.....	79
Tableau 12. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance des valeurs du ratio F/T mesuré au printemps de deux campagnes, chez les 14 variétés évaluées.....	80
Tableau 13. Coefficients de corrélation des variables mesurées avec les axes principaux de l'analyse en composantes principales.....	85
Tableau 14. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau foliaire mesurée au début de l'été des quatre campagnes chez les 14 variétés évaluées.....	88

Tableau 15. Moyennes des valeurs prises par la teneur relative en eau foliaire (TRE) mesurées chez les différentes variétés au cours de quatre saisons.....	89
Tableau 16. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance des valeurs des sucres solubles mesurés au début de l'été des trois campagnes successives, chez les 14 variétés évaluées.....	91
Tableau 17. Moyennes des valeurs prises par le contenu en sucres solubles (SS) mesurées chez les différentes variétés au cours des trois saisons du printemps.....	91
Tableau 18. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance des valeurs de la proline mesurée au début de l'été des trois campagnes successives, chez les 14 variétés évaluées.....	93
Tableau 19. Moyennes des valeurs prises par la proline (PRO) mesurées chez les différentes variétés au cours des quatre années.....	94
Tableau 20. Valeurs des indices de la stabilité inter saisonnières des performances.de production fourragère des différentes variétés de dactyle et de fétuque.....	98
Tableau 21. Coefficient de rang de Sperman (r_s) entre les indices de la stabilité inter saisonnières des performances de production fourragère.....	99
Tableau 22. Valeurs moyennes et extrêmes de l'EUE ($g/m^2/mm$) pour produire de la matière sèche chez les différentes variétés et les différentes saisons.....	104
Tableau 23. Durée du cycle (D, j), moyennes des températures moyennes (T_m , °C), maximales (TX, °C) et minimales (T_m , °C) saisonnières, humidité relative moyenne (RH, %) et cumul pluviométrique saisonnier (P, mm).....	106
Tableau 24. Adaptateurs et amorces utilisés pour l'analyse AFLP.....	124
Tableau 25. Distances génétiques entre les différentes variétés de fétuque basées sur l'indice de similarité de Jaccard.....	128
Tableau 26. Distances génétiques entre les différentes variétés de dactyle basées sur l'indice de Jaccard.....	129

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure 1. Développement comparé du système racinaire de la fétuque à 12 et 24 mois avec celui du blé.....32

Chapitre II

Figure 2. Pluviométrie et température moyenne mensuelle enregistrées sur le site expérimental de la Station ITGC de Sétif au cours des 4 campagnes de l'étude....50

Figure 3. Etat de la végétation après la coupe printanière..... 53

Figure 4. Etat de la végétation au mois d'aout de la première année d'installation..... 54

Figure 5. Variation de la quantité de matière sèche récoltée selon les saisons et les variétés ($ppds_{5\%} = 0.18 \text{ t ha}^{-1}$)..... 65

Figure 6. Groupage des variétés en fonction de la variation des rendements de matière sèche des différentes coupes..... 67

Figure 7. Variations des performances de matière sèche selon les coupes des différentes variétés groupées selon leur degré de ressemblance.....68

Figure 8. Groupage des variétés en fonction de la variation des rendements de matière sèche des coupes de printemps.....69

Figure 9. Variation de la hauteur de la végétation des différentes variétés au cours des différentes saisons étudiées.....70

Figure 10. Variation de la précocité à l'épiaison des différentes variétés au cours des différentes saisons de printemps étudiées.....71

Figure 11. Variation du développement foliaire des différentes variétés au cours des différentes saisons étudiées.....75

Figure 12. Variation du taux de la croissance relative des différentes variétés au cours des différentes saisons étudiées..... 76

Figure 13. Evolution du taux de recouvrement des génotypes à comportement extrême : la fétuque Flecha non endophytée et le dactyle Medly.....76

Figure 14. Variation du début de dessèchement des différentes variétés au cours des différentes saisons étudiées.....78

Figure 15. Variation de la conductance stomatique des différentes variétés au cours des différentes saisons étudiées.....79

Figure 16. Variation du ratio MSF/MST des différentes variétés au cours de la deuxième et la quatrième année d'expérimentation.....81

Figure 17. Répartition des variables mesurées et des génotypes sur le plan formé par les axes 1 (PCA 1) et 2 (PCA 2) de l'ACP.....	86
Figure 18. Répartition des variables mesurées et des génotypes sur le plan formé par les axes 1 (PCA 1) et 3 (PCA 3) de l'ACP.....	87
Figure 19. Variation de la teneur relative en eau foliaire mesurée chez les 14 génotypes au cours des quatre années.....	90
Figure 20. Variation du taux des sucres solubles mesuré chez les 14 variétés au début de la sécheresse des trois années successives.....	93
Figure 21. Variation de valeurs de la proline mesurée chez les 14 variétés au début de la sécheresse des trois années successives.....	95
Figure 22. Classification hiérarchique des différentes variétés sur la base des indices de la stabilité et des performances moyennes de l'ensemble des saisons et des saisons favorables et défavorables.....	101
Figure 23. Caractéristiques des deux groupes de variétés contrastés de par les valeurs prises par les indices de la stabilité, des moyennes de rendement fourrager de l'ensemble des saisons et des saisons favorable et défavorable.	102
Figure 24. Réponse du rendement de matière sèche des deux groupes de variétés à la fertilité des saisons.....	102
Figure 25. Valeurs de l'EUE ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) pour produire de la matière sèche des différentes variétés et au cours des différentes saisons.....	104
Figure 26. Positionnement du cycle de la culture dans le temps pour les différentes saisons.....	106
Figure 27. Relations entre le rendement de matière sèche produite par saison et l'EUE, chez des saisons à faible et fort potentiel de production.....	108
Figure 28. Ratio $T/(T+E)$ des différentes variétés, moyennes des 8 saisons étudiées.....	109

Chapitre III

Figure 29. Dendrogramme des marqueurs AFLP basé sur l'indice de similarité de Jaccard pour les variétés de fétuque élevée.....	127
Figure 30. Dendrogramme des marqueurs AFLP basé sur l'indice de Jaccard pour les variétés de dactyle.....	128
Figure 31. Analyse en coordonnées principales des données de l'AFLP des variétés de fétuque élevée basée sur l'indice de similitude de Jaccard	129

Figure 32. Analyse en coordonnées principales des données de l’AFLP des variétés de dactyle basée sur l’indice de similitude de Jaccard.....	130
Figure 33. Profil AFLP des variétés de fétuque élevée obtenu par le couple d’amorces E-ACG/M-CACG.....	130
Figure 34. Profil AFLP des variétés de fétuque élevée obtenu par le couple d’amorces E-ACA/M-CTCG.....	131
Figure 35. Profil AFLP des variétés de Dactyle obtenu par le couple d’amorces E-ACA/M-CTCG.....	131

LISTE DES ABREVIATIONS

ABA : Acide Abscissique.

ADN : Acide Désoxyribonucléique.

AFLP : Polymorphisme de Longueur des Fragments d'Amplification.

AO : Ajustement Osmotique.

CME : Carré Moyen des Ecart.

CWU : Crop Water Used = Total des précipitations utilisées par la végétation.

CTAB : Bromure d'hexadécyltriméthylammonium.

CWU : Total des précipitations utilisées par la végétation.

ddl : Degré de Liberté.

E+ : variété Flecha endophytée.

E- : Variété Flecha non endophytée.

EcoRI : Enzyme de Restriction.

EDTA : Acide Ethylène Diamine Tétracétique.

EUN : Efficacité d'Utilisation de l'Azote.

GS_{ij} : l'indice de similitude.

INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique.

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures.

LWL : Perte d'eau épculaire.

MAD : Matière Azotée Digestive.

MAT : Matière azotée totale.

MS : Matière Sèche.

MseI : Enzyme de Restriction.

MV : Matière Verte.

Pb : Paire de Bases

PCR : Polymerase Chain Reaction.

Ppds : Plus Petite Différence Significative.

Pi : Indice de Lin.

PSII : Photosystème.

QTL : Quantitative Trait Loci.

RAPD : Randomly Amplified Polymorphic DNA.

RFLP : Restriction Fragment Length Polymorphism.

rs : coefficient de rang de Sperman

SSR : Simple Sequence Repeat.

STI : Indice de la tolérance au stress.

Taq polymerase : Enzyme de Polymerisation extraite de la bactérie *Thermophilus aquaticus*.

TCR : Taux de Croissance Relative.

TGS : teneur en glucides solubles.

TRE : Teneur Relative en Eau.

UF : Unités Fourragères.

UFV: valeur énergétique.

UPGMA : Unweighted Pair Group Method using arithmetic average

Wi : Ecovalence de Wrickel

WUE = EUE : Efficience d'Utilisation de l'Eau.

Y_{ij} = rendement de la variété i de la saison j.

YSI : Indice de stabilité des performances.

ψ_w : potentiel hydrique.

$\psi\pi$: potentiel osmotique.

\sum_{rank} : Somme des classement des performances de Kang.

σ^2_i : Variance de Shukla

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie est un pays riche en ressources phytogénétiques fourragères et pastorales ; cependant, ce pays connaît un déficit fourrager chronique. L'insuffisance des productions fourragères constitue un obstacle majeur au développement de l'élevage dont l'essentiel de l'alimentation est assuré par la vaine pâture de la steppe, les parcours, les maquis et la jachère (Issolah, 2008). En effet le déficit fourrager varie, selon les zones et les campagnes de 29 à 58% (Adem et Ferrah, 2002).

Les possibilités de développement des cultures fourragères et d'amélioration des productions pastorales existent mais elles restent tributaires de la production des semences et de l'aménagement du territoire (Abdelguerfi *et al.*, 2008). Pour réduire du déficit fourrager, les alternatives sont nombreuses, dont entre autre la mise en valeur du potentiel productif des espèces fourragères natives qui constituent la flore locale et qui peuvent être conduites en pluvial. A titre d'exemple, les graminées fourragères telles que les fétuques et les dactyles offrent de grandes possibilités de développement comme cultures fourragères régulières et productives adaptées à des zones à pluviométrie moyenne (Mefti *et al.*, 2008).

Les espèces pérennes présentent la caractéristique d'être auto-régénératrices et particulièrement adaptées pour mettre en valeur les sols qui seraient marginales pour d'autres cultures plus spéculatives et exigeantes. Elles sont persistantes, occupant le sol plus de 6 voire 10 ans sous des conditions de mise en place favorables (Norton *et al.*, 2006). Elles offrent aussi une souplesse d'utilisation soit comme pâturage, foin ou ensilage (Hazard, 1996).

Les espèces pérennes peuvent jouer un rôle non négligeable dans la régénération des prairies permanentes existantes ainsi que la création des prairies temporaires nouvelles. Elles fournissent un foin de qualité, et jouent un rôle essentiel dans l'amélioration des paysages, la réduction de l'érosion et la conservation des sols (Casler et Vogel, 1999 ; Annicchiarico *et al.*, 2011). Le faible développement agronomique de ces espèces est en partie dû à l'absence de progrès fait en matière d'amélioration variétale.

Comparativement aux travaux d'amélioration et de sélection consacrés aux légumineuses telles les luzernes annuelles et pérennes, les graminées autres que les céréales à paille, ont été peu étudiées. Ceci est dû à l'absence de programmes de sélection de ces espèces

dont les techniques d'amélioration sont relativement plus difficiles, sous conditions arides, et à l'absence quasi-totale de traditions de production de semences (Adem et Ferrah, 2002 ; Mefti *et al.*, 2008).

Une des voies possibles pour améliorer la production fourragère consiste à utiliser des génotypes qui tolèrent les périodes de manque d'eau et qui valorisent l'eau en produisant plus de biomasse par unité d'eau apportée (Hayes *et al.*, 2010). Les graminées tolérantes à la sécheresse sont celles qui peuvent s'établir, croître et survivre pendant les périodes de sécheresse et qui donnent des rendements de foin élevés et de bonne qualité (Abberton *et al.*, 2008).

La période d'installation est la plus vulnérable pour le devenir et la croissance de l'herbe (Wright, 1964). Dans ce contexte la tolérance est étroitement associée aux caractéristiques morpho-physiologiques de la plante (Jones et Lazenby, 1988). Les racines sont généralement moins sensibles que les tiges au déficit hydrique et jouent un rôle plus important dans l'adaptation au manque d'eau (Turner, 1979 ; Sharp, 1990 ; Saneoka *et al.*, 1996).

L'objectif de cette recherche est l'étude des performances fourragères et de la persistance des variétés de fétuque (*Festuca arundinacea* scherb.) et de dactyle (*Dactylis glomerata* L.) de diverses origines, évaluées sur le site expérimental de la station de l'Institut technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif. La thèse s'articule autour de trois chapitres principaux :

- ✓ Le chapitre I est une revue de littérature sur la problématique des cultures fourragères en Algérie, situation actuelle et perspectives. Dans ce chapitre l'accent est mis sur le phénomène de tolérance à la sécheresse et sur la description des espèces d'intérêt étudiées du point de vue comportement, croissance saisonnière et productivité.
- ✓ Le chapitre II décrit la variabilité existante parmi les 14 variétés de fétuque élevée et de dactyle pour la production de biomasse aérienne, la durée du cycle de production et la persistance, ainsi que la stabilité des performances saisonnières de production fourragère. Il aborde aussi un des éléments les plus importants dans la réussite des prairies artificielles dans les régions semi-arides, à savoir l'efficacité d'utilisation de l'eau.

- ✓ Le chapitre III est consacré à une analyse des distances génétiques entre les variétés étudiées sur la base du polymorphisme de longueur des fragments d'amplification (AFLP).
- ✓ Une conclusion qui résume les résultats les plus importants de ce travail et son apport à la sélection des graminées fourragères pérennes dans la région des hauts plateaux, comme perspective.

Ce travail a donné lieu aux publications suivantes dans des revues internationales :

Mefiti M., Bouzerzour H., 2012. Etude des variations génétiques chez quelques variétés de fétuques élevées par les marqueurs AFLP. *Cah Agric.*, Vol. 21 (1) :1-7. doi : 10.1684/
Tirés à part : M. Mefiti agr.2012.0540.

Mefiti M., Bouzerzour H., Abdelguerfi A. Et Nouar H., 2008 : Morphological and Growth Characteristics of Perennial Grass cultivars Grown under Semi- Arid Conditions of the Algerian High Plateaus. *Journal of Agronomy* Vol. 7 (2): 138-147. **URL:** <http://scialert.net/abstract/?doi=ja.2008.138.147>

Mefiti M., Bouzerzour H., Nouar H., Maameri K., Trabelsi M., Khedim A. Et Abdelguerfi A. 2008. Ecophysiological survey of some perennial grass cultivars in the semi-arid region of Setif. . In “Sustainable Mediterranean Grasslands and their Multi-Functions” Proceeding of 12th Meeting of the Sub-network on Mediterranean Forage Resources of the FAO-CIHEAM, Elvas (Portugal), 9-12 April 2008. 149-152.
<http://ressources.ciheam.org/om/pdf/a79/00800636.pdf>

Mefiti M., Bouzerzour A., Abdelguerfi A. Et Nouar H., 2008: Dry matter production and agronomical characteristics of perennial grass genotypes grown under drought conditions in the semi-arid climate of the Algerian high plateaus. In “Sustainable Mediterranean Grasslands and their Multi-Functions” Proceeding of 12th Meeting of the Sub-network on Mediterranean Forage Resources of the FAO-CIHEAM, Elvas (Portugal), 9-12 April 2008. 219-222.
<http://ressources.ciheam.org/om/pdf/a79/00800650.pdf>

Pecetti L., Annicchiarico P., Abdelguerfi A., Kallida R., **Mefiti M.**, Porqueddu C., Simões N. M., Volaire F. And Lelievre F., 2011 : Response of Mediterranean Tall Fescue Cultivars to Contrasting Agricultural Environments and Implications for Selection. *Journal of Agronomy and Crop Science*. Vol. 197(1): 12–20.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jac.2010.197.issue-1/issuetoc>

CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. LES FOURRAGES NATURELLES

Les zones pastorales constituent une composante déterminante de la stabilité de l'équilibre économique et social du monde rural algérien. De par leur superficie et le potentiel fourrager qu'elles procurent, ces zones permettent de réduire la pression sur les terres cultivées. S'étalant sur 20 millions d'hectares, la végétation steppique est composée essentiellement d'alfa (*Stipa tenacissima* L.), de sparte (*Lygeum spartum* L) et de drinn (*Aristida pungens* L.). On trouve aussi de l'armoise blanche (*Artemisia herba alba* L.), les soudes (*Sueda fruticosa*) et l'atriplex (*Atriplex halimus* L.) (Abdelguerfi, 2001)

Les parcours des zones montagneuses et forestières, localisées plus au nord, sont relativement plus humides et de moindre étendus (Abdelguerfi et Laouar, 2001). Ces parcours forment un ensemble de pacages épars, de productivité moyenne, relativement à la productivité des zones pastorales plus au sud. Ces dernières sont trop dégradées par des décennies d'une exploitation, prenant souvent un caractère minier, sans se soucier de la durabilité de cette ressource ni de ces capacités de régénération (Adem et Ferrah, 2002).

Bien qu'elle soit en partie travaillée pour permettre de reconstituer les réserves d'eau et diminuer le stock grainier des mauvaises herbes dans le sol, la jachère joue un rôle essentiel comme une ressource fourragère (Houmani, 1999 ; Bedrani et *al.*, 2001, Abbas et Abdelguerfi, 2005). L'apport de la jachère est estimé à 1,4 milliards d'unités fourragères soit 9,3 % de l'offre fourragère totale (Houmani, 1999 ; Hamadache, 2001a ; Abbas et Abdelguerfi, 2005)

Les prairies naturelles sont en voie de disparition, suggérant que cette façon de produire du fourrage ne fait pas partie du savoir-faire paysan de la nouvelle génération d'agriculteurs. En effet, les prairies naturelles fournissent un fourrage de haute qualité nutritive (Scehovic, 1995). Le peu qui reste, de ces prairies, est localisé essentiellement en zones humides et subhumides. Il contribue au bilan fourrager autant que la jachère (Nedjraoui, 2001).

La composition floristique, du couvert végétal des jachères, est très variable et fortement influencée par la pluviométrie annuelle. Les principales graminées sont *Festuca arundinacea*, *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, et *Dactylis glomerata*. On distingue aussi,

quelques légumineuses du genre *Trifolium sp*, *Vicia sativa*, *Medicago ciliaris* et *Lotus corniculatus*.

2. LES FOURRAGES CULTIVES

Les superficies réservées aux cultures fourragères sont estimées à 25 462 ha avec une production 605 565 q. Elles sont constituées, essentiellement, par la vesce-avoine, l'avoine et l'orge. Elles sont utilisées en vert (pâturages et/ou fauche) et en sec, rarement sous forme d'ensilage (Gredaal, 2002). L'intensification de l'agriculture, initiée dès le début des années 1970, avait pour objectif d'augmenter la production et de réduire les surfaces mises au repos (MAP, 1992). Les associations à base de mélanges de vesce-avoine, pois- orge, orge, triticale et avoine ont été les cultures support de cette intensification (Abdelguerfi, 1987).

Le bersim constitue la seule ressource fourragère verte pour le bovin laitier. Il est relayé en été par la luzerne et le sorgho (Abdelguerfi et *al.*, 2008). Le maïs fourrager est rarement utilisé, sauf dans les rares endroits où l'eau ne constitue pas un facteur limitant. La paille des blés dur et tendre qui sont cultivés pour leur grain, est comptabilisée comme une production fourragère. Les espèces telles que la féтуque, le dactyle et le raygrass sont inexistantes (Abdelguerfi et Laouar, 2004).

L'unique méthode de conservation est le fanage, rares sont les agriculteurs qui pratiquent l'ensilage. Le foin conservé est généralement de mauvaise qualité, faute de synchronisation des stades végétatifs optimums des espèces en association et la recherche du rendement quantitatif au détriment de la qualité (Abdelguerfi et Laouar, 1999 ; Si Ziani et Boulberhane, 2001).

2.1 L'ORGE

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) occupe une place importante parmi les espèces fourragères. Elle est utilisée sous formes : grain, foin et paille, ensilage. Par sa production en vert, en foin (en association avec d'autres espèces), en ensilage et par son grain et sa paille, l'orge est un élément clé de toute la production fourragère en Algérie où elle a des usages multiples (INRAA, 2006). Les variétés Saida et Tichedrett sont les plus cultivées et les plus utilisées. Les variétés introduites n'ont pas eu de succès particulièrement pour l'exploitation à double fin (Yau et Mekni, 1985 ; Mossab, 2007). L'orge offre, sous conditions climatiques

et techniques variables, l'avantage d'une utilisation souple. Ceci explique l'attachement des agriculteurs à cette culture, bien que ses rendements soient souvent faibles (Hakimi, 1993).

2.2. LES ASSOCIATIONS LEGUMINEUSES- CEREALES

Le semis de céréales associées à une légumineuse fourragère à grosse graine est une solution pour réaliser un stock fourrager important au printemps. Les céréales comme l'orge, l'avoine et le triticale sont les plus fréquemment utilisées, associées le plus souvent à une vesce commune. L'association vesce-avoine et à moindre degré celle du pois-orge ont été rapidement adoptées. Elles occupaient de larges superficies au détriment de la jachère pâturée. Les avantages agronomiques de l'association sont nombreux dont, entre autre, la fertilité du sol que représente l'azote de l'air fixé par la légumineuse, qui est utilisé par la céréale associée (Abdelmoneim *et al.*, 1990).

L'utilisation de l'orge en association avec la vesce améliore la qualité du foin obtenu qui devient supérieure à celle du raygrass (Slim, 1982). Malheureusement, peu d'intérêt est accordé à la conduite de cette culture, ce qui produit un foin de qualité médiocre (Ouknider et Jacquard, 1986 ; Hamrit, 1995 ; Mebarkia, 2001). En effet, sa faible teneur en matières azotées totales, sa richesse en cellulose et la digestibilité de sa matière organique indiquent une faible valeur nutritive. Distribué seul, le foin de vesce-avoine peut constituer un aliment de base, mais uniquement pour couvrir les besoins d'entretien (Mezali, 1978).

Cette association représentait plus de 70 % des fourrages artificiels cultivés, elle a toutefois connu depuis la dernière restructuration du secteur agricole, datant de 1987, une nette régression. Les surfaces emblavées en vesce-avoine chutent de 364 000 ha en 1986 à 120 000 en 1996. La production a connu la régression, passant de 7 500 000 q à 3 500 000 q respectivement pour les campagnes 1986 et 1996 (Hamadache, 2001b). Compte tenu du prix relativement élevé de la semence de la vesce et du pois, les agriculteurs ont tendance à semer moins de légumineuses dans le mélange légumineuse-céréale (Bouzerzour et Makhoulouf, 1988). Zeghida (2001) mentionne que le pois, malgré sa productivité supérieure en association, n'est pas aussi apprécié que la vesce dont les performances, en association, restent cependant faibles. Les résultats d'essais comparatifs ont mis aussi en évidence l'effet négatif de l'association comparativement à la culture pure des légumineuses (Zeghida, 2001).

2.3. LES LUZERNES ANNUELLES

Le remplacement de la jachère pâturée par une légumineuse annuelle telle que la luzerne offre des avantages certains, ne serait-ce que sur le plan de qualité du fourrage obtenu, de la fertilité du sol et de la maîtrise de la flore adventice. Les efforts mis en œuvre pour vulgariser l'adoption et l'extension des luzernes annuelles (*Medicago* ssp L.) n'ont pas été couronnés du succès attendu (Zeghida, 1987). Les écotypes importés, le plus souvent de l'Australie, ont montré une forte sensibilité à l'altitude et aux contraintes abiotiques qui caractérisent les zones où la suppression de la jachère est souhaitée et où l'élevage est le plus pratiqué (Chatterton et Chatterton, 1996 ; Maatougui, 2001).

Actuellement aucune variété n'est cultivée à grande échelle, quoiqu'il existe près d'une vingtaine d'espèces du genre *Medicago* (Inraa, 2006). Quant aux luzernes pérennes, les variétés locales connues sont surtout mises en culture dans les oasis. La variété Témachine est la plus répandue. Les différentes introductions faites ont peu attiré l'attention des agriculteurs (Inraa, 2006)

2.4. LA PAILLE ET LES RESIDUS DES CEREALES

La faiblesse de la production des fourrages verts et secs explique le recours à la paille et à la vaine pâture de la jachère et des résidus de céréales. La paille des céréales est ramassée après la moisson, elle est mise en bottes et conservée pour être distribuée au cours de l'automne et en hiver, lorsque le froid ne permet pas une croissance suffisante de l'herbe en plein champ. A partir des 3 millions d'hectares cultivées chaque année en céréales, une importante quantité de paille est produite (Hakimi, 1993 ; Maatougui, 2001).

La paille se caractérise par un faible coefficient de digestibilité, un taux d'encombrement élevé et une faible concentration énergétique et azotée. Sa digestibilité est moyenne, elle correspond à des valeurs énergétiques de 0,45 UFL et 0, UFV par Kg de matière sèche intégrée. La teneur en MAD est pratiquement nulle d'où sa carence en azote soluble, en vitamines et sa faible contribution en éléments minéraux (Kerbaa, 1984 ; Nefzaoui, 1994). L'enrichissement de la paille avec de l'urée ou de l'ammoniac permet d'améliorer sensiblement sa qualité nutritive et ainsi de le valoriser (Nefzaoui, 1994).

2.5. LES FOURRAGES SECONDAIRES

Plusieurs autres espèces fourragères sont cultivées en Algérie mais à une toute petite échelle. Parmi les contraintes qui limitent de l'extension de la culture de ces fourrages figure la faible disponibilité des semences. En effet, l'Algérie est tributaire des importations pour au moins 75% de ses approvisionnements en semences (Laddada, 2001). Parmi ces espèces, le bersim (*Trifolium alexandrinum*) a été cultivé depuis très longtemps en Algérie et compte tenu de ses exigences, cette espèce est localisée en zone sublittoral et dans les oasis (Inraa, 2006).

Les surfaces occupées par le pois fourrager, le pois protéagineux et la gesse sont très limitées (Inra 2006). La féverole est très utilisée dans les régions montagneuses, particulièrement en Kabylie, pour l'alimentation humaine et animale. Cette espèce a fortement régressé depuis la mise au point d'aliments concentrés. Les variétés expérimentées de lupin et de sulla sont restées au stade expérimental (Annichiarico *et al.*, 2008).

2.6. LES GRAMINEES PERENNES

Les principales graminées pérennes, généralement utilisées comme prairies temporaires, sont représentées par le raygrass (*Lolium perennes* L.), le phalaris (*Phalaris aquatica* L.), la fétuque (*Festuca arundinacea* L.), le dactyle (*Dactylis glomerata* L.) et le brome (*Bromus inermis* L.) (Norton *et al.*, 2006). La culture de ces espèces est très limitée en Algérie, suite à l'indisponibilité des semences, au manque d'informations sur leur comportement sous climat irrégulier et au manque du savoir-faire en matière de production d'herbe (Mefti *et al.*, 2008).

Ces espèces montrent, ailleurs, une adaptation très particulière, principalement en Europe, aux Etats Unis et en Australie où elles sont très appréciées et utilisées en tant que prairies temporaires, pour protéger les sols, produire de l'herbe et améliorer le paysage (Chapot *et al.*, 1975 ; Mohguen et Abdelguerfi, 2004 ; Lelièvre *et al.*, 2011).

Norton *et al.*, (2004) mentionnent que des recherches très récentes ont montré que la présence d'espèces fourragères pérennes réduit l'acidification et l'engorgement des sols en hiver. Lingorsky (1994) souligne les potentialités du dactyle, ainsi que celles de la fétuque et leur agressivité vis-à-vis des adventices. L'adaptation de ces espèces est liée à leur système

racinaire très profond, qui leur permet de supporter aisément les sécheresses périodiques (Donald, 1963 ; Garwood et Sinclair, 1979).

2.6.1. LE RAYGRASS

C'est la première graminée fourragère réellement "domestiquée", son histoire agricole est liée au ley-farming qui sont des prairies temporaires en rotation avec des cultures (Balfourrier et Charmet, 1995). Le raygrass anglais (*Lolium perenne*. L) est une plante herbacée vivace de la famille des *Poaceae*s, couramment cultivée comme plante fourragère. C'est une plante à tiges dressées, formant des touffes de 20 à 60 cm de haut, les feuilles sont très allongées, glabres, à pointe aigüe, de couleur vert foncé. Les fleurs verdâtres sont regroupées en épis de 20 à 25cm de long, formés de nombreux épillets appliqués contre le rachis de l'épi. Chaque épillet compte une dizaine de fleurs.

Cette espèce résiste au froid, on la trouve en plaine et en montagne jusqu'à 1200 m d'altitude environ (Le Houérou, 1987). Le Houérou (1987) mentionne que les écotypes Nord Africains de *Lolium perenne* se rencontrent en zones semi-arides à humides, sous des pluviosités moyennes annuelles supérieures à 350 mm. Comme fourrage, le raygrass est apprécié pour sa valeur fourragère élevée. C'est une plante qui se maintient bien dans les prairies pâturées, mais qui supporte mal la concurrence des autres espèces dans les prairies fauchées. Elle est utilisée pour l'ensemencement des pelouses, notamment les terrains de sport, pour sa bonne résistance au piétinement et son aptitude à former un gazon compact quand il est fauché régulièrement (Le Houérou, 1987).

Le raygrass est une espèce qui préfère une longue saison de plus de 8 mois, avec une pluviométrie moyenne au-dessus de 650 mm. Il est relativement plus adapté à des zones plus riches et plus humides, qui sont favorables à l'élevage bovin. Sous le seuil de 650 mm, la gestion du pâturage prend de plus en plus de l'importance dans la pérennité de la prairie, et la plante, sans le recours à l'irrigation, se comporte alors comme une espèce annuelle (Lowe *et al.*, 1996).

Le travail de sélection et d'évaluation, associé à une bonne gestion de la prairie, sont les seuls moyens pour identifier des cultivars performants, adaptés et persistants. L'utilisation du germoplasme nord-africain a été dans ce cadre très intéressante (Lowe *et al.*, 1996). Ce germoplasme a montré son potentiel et son adaptation en Australie, notamment suite à sa

dormance estivale (Lowe *et al.*, 1996). Salsbury (1961) sélectionna un écotype algérien nommé Médéa, éco- dormant, qui se caractérise par la tolérance et l'esquive de la sécheresse estivale. Reed (1996) mentionne le bon rendement hivernal de ce génotype qui a été croisé avec la variété de raygrass Victorian, donnant naissance à la variété Brumby qui est largement cultivée sous climat méditerranéen.

2.6.2. LE DACTYLE

2.6.2.1. Présentation de *Dactylis glomerata* L.

La valeur fourragère des dactyles suscite, dans le monde, de nombreuses études taxonomiques, génétiques, physiologiques et écologiques. Ces études, selon plusieurs auteurs mettent en évidence toute la complexité de ce genre (Borril, 1978 ; Lumaret, 1981 ; Amirouche, 1987). Les dactyles sont des graminées vivaces rattachés à la tribu des *Festuceae*. Ils sont aujourd'hui rassemblés dans un complexe spécifique polyploïde *Dactylis glomerata* L. Tous les principaux types évolutifs peuvent être observés dans l'aire de distribution naturelle ou primaire du genre. On y distingue 15 sous-espèces diploïdes, 3 entités tétraploïdes largement distribuées et plusieurs tétraploïdes mineurs dont certains sont morphologiquement peu distinguables de la forme diploïde

Dans l'ensemble de la région méditerranéenne, *Dactylis glomerata* est surtout représenté par deux sous-espèces dont les différences morphologiques et physiologiques ont été décrites par Domin (1943), Borrill (1961) et Lumaret (1987). La sous-espèce *glomerata* a des feuilles longues et larges et sa dormance est hivernale alors que la sous-espèce *hispanica* a des feuilles courtes et étroites et une dormance estivale (Mousset *et al.*, 1992). Les études taxonomiques et cytologiques montrent que l'espèce tétraploïde ($4x = 2n = 28$) serait apparue en de nombreuses localités principalement par croisement entre sous-espèces diploïdes, suivi de doublement chromosomique.

Stebbins et Zohary (1959) ont proposé deux origines, soit une hybridation entre les sous-espèces *lobata* et *woronowii*, soit une hybridation entre *lobata* et *reichenbachii*. Ces auteurs observent, en effet, que la sous-espèce *glomerata* cumule les caractéristiques de plusieurs diploïdes. Borril (1978) indique qu'elle posséderait des caractéristiques de formes diploïdes aussi bien tempérées que méditerranéennes. Par ailleurs, des recherches plus récentes confortent l'hypothèse de l'autotétraploïde par non réduction gamétique pour une partie des populations de la sous-espèce *glomerata*, suivie ou non d'hybridation entre

différents tétraploïdes. La multiplicité des origines permettrait ainsi d'expliquer la grande diversité de cette sous-espèce dans son aire primaire de distribution (Mousset, 1993).

2.6.2.2. Origine géographique de *Dactylis glomerata* L.

Les dactyles les plus utilisés en agriculture appartiennent aux deux sous-espèces tétraploïdes ayant les plus larges aires de répartition naturelles : il s'agit de la sous-espèce *Dactylis glomerata ssp. glomerata* dit dactyle pelotonné, fréquent à l'état spontané en Europe tempérée et continentale, et de la sous-espèce *Dactylis glomerata ssp. hispanica* inféodée au bassin méditerranéen. Cependant, trois sous-espèces diploïdes ont été reconnues comme agronomiquement intéressantes : la sous-espèce *aschersoniana* en Europe de l'Est, la sous-espèce *lusitanica* et le type galicien (non formellement classé en sous-espèce) en Galice et au nord du Portugal (Mousset, 2000).

Selon Villax 1963, *Dactylis glomerata* est une espèce indigène en Europe et en Afrique du nord, cultivée dans toutes les régions tempérées de la terre, surtout en France, en Allemagne, aux Pays-Bas, en Amérique du nord, etc. Il est de même très répandu comme plante spontanée en Afrique du nord, notamment au Maroc. Il peut coloniser en grosses touffes une gamme d'habitat très étendue, hormis les sols très acides ou excessivement humides. C'est une espèce pionnière très compétitive en milieux ouverts, tels que les bords de routes et les talus (Mousset, 1993). C'est une espèce très répandue à l'état naturel dans les régions à climat tempéré et continental d'Eurasie, de même que les zones de transition vers le climat méditerranéen (Volaire *et al.*, 1990a, 1990b ; Mousset *et al.*, 1992).

Abdelguerfi *et al.*, (2004) dans une étude sur la répartition de quelques graminées fourragères selon les facteurs du milieu, indiquent que *Lolium* et plus particulièrement le dactyle ont des exigences peu marquées vis à vis du sol et méritent d'être utilisés dans différents milieux édaphiques dans le cadre de la production fourragère et/ou l'amélioration de la flore de certains parcours (enclaves forestières, parcours...). Les espèces diploïdes se localisent entre 350 et 800 m d'altitude, par contre les tétraploïdes colonisent divers habitats, mais les diploïdes sont plus tardive et restent par conséquent digestibles pour une plus longue période (Garcia et Lindner, 1998).

2.6.2.3. *Caractéristiques biologiques de Dactylis glomerata L.*

Selon Gillet (1980), les semences du Dactyle sont relativement petites, même pour une graminée : 1000 graines pèsent entre 0.9 et 1.4 g. Elles sont vêtues mais les enveloppes ne sont pas adhérentes au caryopse, de sorte que, pour imbiber ce dernier, l'eau doit traverser un petit espace d'air. Cette absence d'adhérence a une autre conséquence : on rencontre une certaine proportion de graines nues, surtout dans les lots anciens qui ont été beaucoup manipulés. L'embryon est alors sensible aux chocs qui en tuent un certain nombre. Cela diminue la faculté germinative sans diminuer l'énergie germinative. Mousset (1995) indique que c'est une plante de grande taille qui atteint souvent plus d'un mètre à la floraison. Les feuilles sont le plus souvent larges, vert glauque de couleur mate et très souple ; les tiges sont très grosses à la base et se lignifient rapidement. L'inflorescence est une panicule très caractéristique à épillets agglomérés. D'une façon générale, le dactyle est une espèce à gros organes peu nombreux, mais il existe une grande variabilité pour ce caractère. Les racines peuvent descendre très profondément.

Pour Lapeyronie (1982), le dactyle est pourvu d'un système racinaire qui vit deux ans. Son développement est plus lent mais plus important que celui du ray grass. Le dactyle forme tout au long de l'année de nouvelles racines et possède donc toujours des racines fonctionnelles. On le considère comme une plante très résistante à la sécheresse, pouvant donner en situation sèche une production d'été et capable de supporter l'ombrage. Il s'adapte à des sols variés, sauf trop acides ou marécageux. L'espèce est assez sensible au froid en début de développement, c'est pourquoi même en zones méditerranéennes froides les semis d'automne doivent être précoces. Elle craint les gelées tardives qui risquent de compromettre une production printanière précoce.

Pour ce qui est des populations algériennes, Mousset (1993) décrit deux groupes de populations de dactyle. Les populations à nombreuses talles et au feuillage vert clair, à panicules courtes, situées dans les zones montagneuses y compris les vallées de l'intérieur du pays, dans les régions les plus arrosées (1 100 à 2 000 mm) tels que l'Atlas de Blida, les Gorges de Kerrata et qui s'apparentent à *D. glomerata* ssp. *mairi*. Les populations à feuillage vert foncé, à grosses panicules provenant de régions plus proches des côtes, de la Grande et la Petite Kabylie et de Annaba, régions plus perturbées par la civilisation, mais aussi moins arrosées que dans le groupe précédent et qui s'apparentent à *D. glomerata* ssp. *castellata*. Les populations du groupe 1 sont moins sensibles aux maladies, ont une meilleure repousse à

la sortie de l'hiver ainsi qu'à l'automne. Toutes les populations sont très sensibles au froid et ne peuvent être croisées directement avec du matériel déjà élaboré sans risque de perte de valeur agronomique.

2.6.2.4. Intérêt agronomique de *Dactylis glomerata* L.

Le dactyle est une graminée de grand intérêt en raison de la variété des types adaptés à des conditions pédoclimatiques très diverses. Depuis les climats continentaux à hivers plus ou moins rigoureux, où les dactyles ont un repos hivernal et une croissance estivale, jusqu'au climat méditerranéen où la sécheresse estivale a façonné des types à dormance estivale et croissance hivernale, on peut trouver toute une gradation ; certains types Portugais ont même une croissance continue pendant toute l'année (Mousset, 1995).

Il présente donc une grande variabilité génétique de résistance à la sécheresse (Knight, 1973 ; Mousset *et al.*, 1992 ; Volaire et Lelièvre, 1997). Sous climat tempéré, où les déficits climatiques (généralement < 300 mm) ne menacent pas la pérennité, le critère de résistance est le maintien de la croissance et de l'offre fourragère pâturable en été. Sous les climats méditerranéens à déficit climatique très marqué (>600 mm), ce critère n'a pas d'intérêt car le développement et la croissance sont bloqués pendant tout l'été ; le principal critère de résistance est la pérennité (taux de survie) et la vitesse de reprise après le retour des pluies d'automne pour un pâturage précoce.

La pérennité après des sécheresses intenses étant négativement corrélée au potentiel de croissance au printemps et en été (Knight, 1973), la sélection par réduction du potentiel de croissance global ou temporaire (dormance estivale) pour favoriser la pérennité tend à limiter la productivité fourragère. Sous les climats intermédiaires (déficit climatique entre 300 et 600 mm), les deux critères sont importants : les cultivars doivent être non dormants afin de valoriser les étés humides en maintenant une croissance élevée tant que les conditions hydriques le permettent ; mais ils doivent aussi pouvoir survivre aux étés totalement secs, aptitude qui est liée à l'origine écologique (méditerranéenne-tempérée) et à la phénologie (floraison précoce-tardive) (Voltaire et Lelièvre, 1997).

Des travaux comparant des cultivars non dormants à résistance contrastée en leur imposant un même volume d'enracinement et une même disponibilité hydrique ont conclu que les réponses des parties aériennes pour limiter la transpiration (croissance, sénescence,

conductance stomatique, ...) ont une faible variabilité interspécifiques et n'expliquent pas les importantes différences de survie observées au champ (Volaire *et al.*, 1998 ; Volaire et Lelièvre, 2001). Ces travaux suggèrent que les caractères racinaires sont les plus déterminants.

En régions tempérées et continentales, le dactyle est l'une des quatre graminées pérennes les plus utilisées avec le raygrass anglais, la fétuque élevée et la fétuque des prés (climat continental). Ses principales qualités sont sa pérennité, sa productivité en culture pure ou en associée, sa bonne teneur en protéines, l'appétence relative de ses feuilles, sa résistance à la sécheresse ; son aptitude à bien utiliser l'eau en été est liée à ce système racinaire toujours fonctionnel, très dense dans les 20 à 30 premiers centimètres du sol, et à sa capacité de croissance jusqu'à des températures relativement élevées, puisqu'il n'atteint son optimum qu'entre 25 et 30°C (Mitchell, 1956).

2.6.2.5. Croissance, production et valeur nutritive de *Dactylis glomerata* L.

En culture pure ou associée, le dactyle s'adapte aussi bien aux sols desséchants avec peu d'intrants qu'à des conditions de production intensives (forte fumure azotée, irrigation, exploitations fréquentes). Dans ces dernières conditions, après un premier cycle destiné à la conservation ou à la pâture, il peut fournir, toutes les 5 à 6 semaines, de 1,5 à 3 t MS/ha d'une herbe feuillue, de bonne qualité et bien consommée, et ce, jusqu'à début novembre, soit une production annuelle de 12 à 15 t MS (Matière Sèche). Sous réserve d'une bonne fertilisation azotée, la teneur en protéines du fourrage produit peut avoisiner celle de la luzerne. C'est la graminée qui peut produire le plus de protéines par hectare et par an, soit 20 à 25% de plus qu'un raygrass hybride ou anglais, hormis dans les régions à étés humides de l'Europe du Nord océanique (Mousset, 2000).

Le dactyle est une plante à haut potentiel de production. Dans des conditions favorables, il n'est pas rare d'observer des rendements annuels de 15 à 18 tonnes de MS par hectare. Sa croissance est longue et bien étalée au cours de la saison de végétation. Il produit beaucoup au printemps, n'interrompt pas sa croissance en été (pour les variétés non dormantes) et pousse encore à l'arrière-saison. En outre, il repousse très vite après une exploitation. En automne, le dactyle est une des espèces qui répond le mieux au retour des pluies. Puis il se met en repos avant l'hiver : il ne pousse pratiquement pas au-delà d'octobre en régions moyennes (Gillet, 1980).

C'est aussi une espèce particulièrement adaptée à la fauche exclusive avec des coupes fréquentes. Il convient également pour un régime mixte fauche-pâture à condition cependant qu'il soit pâturé à un stade jeune, surtout au printemps. Sa montée en épis est, en effet, très rapide à partir du début de la montaison et ses tiges durcissent très fort à l'épiaison, ce qui rend la plante peu appétente et peu digeste pour les animaux qui la consomment. Il est donc préférable de l'exploiter en fauche au premier cycle. Les repousses, entièrement feuillues, sont ensuite appréciées par les animaux lors des pâturages d'été et d'arrière-saison. Le dactyle présente également une bonne tolérance au froid et résiste bien à une couverture de neige (Decamps *et al.*, 2004).

Dans des sols relativement sains, une prairie de dactyle bien conduite aura une bonne productivité pendant 5 à 8 ans. Le dactyle est donc une des espèces primordiales pour l'agriculture durable. Il est très utilisé dans les associations et les mélanges. Bien que d'implantation lente, une fois mis en place, il est très compétitif et productif dans les associations binaires ou plus complexes. Il résiste particulièrement bien à l'ombrage périodique provoqué par la légumineuse ou la graminée associée. Sa capacité de production, à fertilisation égale, est légèrement inférieure à celle de la fétuque élevée en toutes saisons, sauf en été. Mais s'il lui faut une plus forte teneur en azote, il est possible que son rendement maximum soit comparable à tout moment à celui de la fétuque élevée (Gillet, 1980).

Quant à sa qualité fourragère, Mousset (2000) le signale comme la graminée qui peut produire le plus de protéines par hectare et par an (20 à 25% de plus qu'un raygrass hybride ou anglais, hormis dans les régions à étés humides de l'Europe du Nord océanique). De plus, la digestibilité des limbes en début du printemps dépasse les 810 g/kg, cette valeur est supérieure à celle observée chez la fétuque d'au moins 100 g/kg en conditions de nutrition azotée non limitantes (Duru *et al.*, 2008). Néanmoins, il semble que le dactyle perd sa valeur nutritive plus rapidement que les autres graminées fourragères, s'il n'est pas pâturé (Bland et Dent, 1964).

Davies (1976) a noté que la digestibilité *in vitro* du dactyle était d'environ 10% inférieure à celle du raygrass anglais. Pour remédier à ce problème, il est possible de faire associer le dactyle avec une luzerne, Leurs cycles de pousse et leurs stades d'exploitation s'accordent bien, notamment quand le dactyle est d'épiaison tardive ; la production de la prairie dans ce cas sera mieux répartie sur l'année : au début du printemps, le dactyle fournit la plus forte part du rendement, alors qu'en été la luzerne prend le relais. De plus cette

association permet d'obtenir des rendements plus réguliers d'une année sur l'autre et d'obtenir un fourrage plus appétant, de valeur alimentaire plus stable et moins perturbée par la chute rapide de qualité du dactyle.

2.6.3. LA FETUQUE

2.6.3.1. Présentation générale du genre *Festuca*

Le genre *Festuca* est l'un des plus larges de la famille des graminées fourragères, avec plus de 400 espèces (Clayton et Renvoize, 1986), il est regroupé au sein de la famille des *Poaceae* avec le genre *Dactylis*, *Lolium* et *Poa*, dans la tribu des *Fustaceae* (Ghesquière et Jadas-Hecart, 1995). Ce genre des espèces en très grande majorité pérennes, allogames et souvent polyploïdes, avec un nombre chromosomique ($x=7$) allant de $2n = 2x = 14, 28, 42, 56$ à 70 (Lewis *et al.*, 1980); la majorité d'entre elles étant diploïdes, tétraploïdes ou hexaploïdes. Sur le plan botanique, les espèces du genre *Festuca*, se caractérisent par une inflorescence en panicule d'épillets étalée, assez flexible et dont les rameaux sont allongés. Les glumes sont carénées, plus courtes que les fleurs. Les épillets, pédonculés sur le rameaux, portent au moins deux fleurs dont la lemme est arrondie à trois ou cinq nervures faibles et parfois très aristée. La ligule, membraneuse, peut également être très réduite (Ghesquière et Jadas-Hecart, 1995).

Sur le plan agronomique, (Lapeyronie, 1982) classent le genre *Festuca* en deux groupes : (1) Les grandes fétuques (*Festuca elatior*) regroupe deux sous-espèces, la fétuque des prés (*F. elatior ssp pratensis* Hachel) est d'origine Européenne et la fétuque élevée ou fétuque roseau (*F. elatior ssp arundinacea* Shreb), d'origine Méditerranéenne. (2) Les petites fétuques qui comprennent la fétuque rouge (*F. rubra*) et la fétuque ovine (*F. ovina*) ainsi que la fétuque hétérophylle (*F. heterophylla*). Ghesquière et Jadas-Hecart, (1995) ainsi que Charmet *et al.* (1997) optent pour une classification à large utilisation agronomique, basée sur les travaux de Hackel (1882), qui classe les fétuques en deux groupes (sections). Le groupe *Bovinae* comprend les fétuques à grandes feuilles et à limbe plan, elles sont fourragères. Le groupe *Ovinae* renferme les fétuques à petites feuilles et limbe plié, utilisées comme gazon.

2.6.3.2. Présentation de *Festuca arundinacea* Schreb.

Festuca elatior L. était le premier nom de la fétuque, donné par Linné en 1753 dans « *Species Plantarum* » mais qui recouvrait en réalité la fétuque des près et la fétuque élevée. C'est l'aspect robuste de cette dernière qui a permis à Schreber en 1771 de faire la distinction en la désignant *Festuca arundinacea*. Levitsky et Kuzmina (1927) mirent les premiers en évidence l'hexaploïdie de la fétuque élevée ($2n = 6x = 42$), tandis que Evans (1926) identifiait la fétuque des près comme diploïde ($2n = 2x = 14$). Des résultats récents d'hybridation *in situ* confirment que la fétuque élevée dériverait de l'hybridation entre les formes ancestrales de *Festuca pratensis* subsp. *pratensis* ($2n = 2x = 14$) et *festuca arundinacea* var. *glaucescens* ($2n = 4x = 28$) (Humphreys *et al.*, 1995 ; Sleper et Bucker, 1995 ; Ghesquière et Jadas-Hecart, 1995 ; Gibson et Newman, 2001).

C'est une espèce fourragère pérenne majeure dans les régions tempérées du monde (Saha *et al.*, 2006). Selon ACTA (1987) la fétuque élevée est une graminée fourragère allogame à pollinisation anémophile, pouvant atteindre 2 m de hauteur à la floraison. Elle possède un système racinaire puissant, pouvant descendre jusqu'à 1.5 m de profondeur. Elle présente une tendance naturelle au drageonnement. Les gaines sont à section circulaire et sont persistantes. Les oreillettes sont embarrassantes et légèrement ciliées avec des ligules courtes. Les limbes sont généralement larges, d'un vert franc, souvent rude, à nervation très marquée et la face inférieure luisante. Le nombre et dimension des talles sont très variables selon les variétés. L'inflorescence est en panicule et les épillets sont lancéolés.

Gillet (1980) indique que les botanistes considèrent l'ensemble des fétuques élevées comme une seule espèce : *Festuca arundinacea* Schreb. En réalité, il s'agit, génétiquement d'un groupe d'espèces assez proches, mais différentes, originaires de diverses régions du globe. Cette espèce présente une extrême variabilité, à tout point de vue, elle offre une large gamme de précocité ; nous la retrouvons de plus en plus sous forme de variétés (i) de types d'origine méditerranéenne, (ii) des hybrides européens x méditerranéens, et (iii) des hybrides fétuque élevée x raygrass d'Italie.

La plupart des variétés existantes que nous pouvons considérer comme classiques appartiennent à un type européen. Ghesquière et Jadas-Hecart (1995) décrivent deux races géographiques au sein de l'espèce *F. arundinacea* qu'ils classent encore en sub. sous espèce *arundinacea* ($2n = 6x = 42$) : La race européenne qui couvre une grande partie de l'Europe et

maintenant introduite un peu partout dans le monde, et la race méditerranéenne qui est plus répandue en Afrique du Nord et au sud de l'Espagne. A l'intérieur d'une race, il existe une grande diversité morphologique qui peut être reliée à des origines géographiques différentes.

Jadas-Hecart et Poisson (1992) précisent que les fétuques comportent de nombreuses séries polyploïdes, l'ensemble des espèces se classe dans une série polyploïde allant de $2n = 2x$ à $2n = 12x$; la majorité d'entre elles étant diploïdes, tétraploïdes ou hexaploïdes ; on retrouve : *F. arundinacea* var. *glaucescens* Boiss à $2n = 4x = 28$; *F. arundinacea* var. *genuina* Schreb à $2n = 6x = 42$; *F. arundinacea* var. *atlantigena* St Yves à $2n = 8x = 56$; *F. arundinacea* var. *Letourneuxiana et cistensis* à $2n = 10x = 70$.

La variété *genuina*, hexaploïde est de loin la plus répandue et presque toutes les variétés cultivées en sont issues (Jadas-Hecart, 1993). Les variétés les plus cultivées de par le monde sont la variété Kentucky 31 qui couvre aux Etats Unis d'importantes superficies. Les variétés Manade, Lubrette, Ondine, Soplone, Pastelle, Kasbah, Barcel, Jebel sont cultivées dans beaucoup de pays tempérés.

2.6.3.3. Aires de répartition et d'adaptation de *Festuca arundinacea* Schreb.

La fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) est une graminée très répandue. On la trouve du cercle polaire au Sahara et elle a été introduite dans de nombreuses régions du globe, en particulier en Amérique du Nord et en Nouvelle Zélande (Ghesquière Jadas-Hecart, 1995). Fribourg *et al.*, (1991) signalent que grâce à sa facilité d'implantation, sa faculté d'adaptation à différents types de climat et de sols ainsi que sa résistance aux maladies, la fétuque élevée introduite aux Etats-Unis d'Amérique aux environs 1880 a pu conquérir plus de 14 millions d'hectares en fin du XX^{ème}. Selon Abdelguerfi *et al.*, (2002), la répartition pratiquement universelle actuellement de la fétuque élevée, dans toutes les zones cultivées tempérées, confirme la réalité de ce potentiel d'adaptation et que les facteurs limitant sa distribution sont plus d'ordre climatique (température et précipitations) puis géographiquement (altitude) qu'édaphiques ou biotiques.

Hartley (1954) considère que c'est la température hivernale qui représente le facteur de diversification de la distribution des fétuques avant les précipitations et les facteurs historiques. En effet, la majeure partie de ce groupe se rencontre au-delà des isothermes 10 °c du mois de janvier pour l'hémisphère nord et du mois de juillet pour l'hémisphère sud.

Ghesquière et Jadas-Hecart (1995) indiquent que le niveau et le rythme des précipitations annuelles a été un second facteur important de différenciation climatique, bien visible en zone méditerranéenne.

La fétuque des prés est absente de ces régions, préférant les sols argileux humides de l'Europe du Nord et se caractérisant par une excellente tolérance au froid hivernal. En revanche, la fétuque élevée s'est diversifiée en Afrique du Nord en écotypes jusqu'à des niveaux décaploïdes. Il est vraisemblable que l'existence de populations isolées autour des points d'eau ou dans des bas-fonds ait été propice à l'émergence de ces *taxa* qui se caractérisent tous par une dormance estivale en opposition à une croissance hivernale mais avec en contrepartie une sensibilité au froid en climat tempéré, à l'exception des populations marocaines d'altitudes du Haut Atlas. Elles présentent une très grande variabilité pour de nombreux caractères : cytogénétique, morphologie, rythme de végétation. On distingue en particulier 4 variétés botaniques qui diffèrent par leurs ploïdies et leurs localisations mais elles se comportent toutes cytogénétiquement comme des diploïdes.

Villax (1963) signale la fétuque élevée un peu partout, en Afrique du Nord, sauf dans les sols désertiques et subdésertiques. Pour le même auteur, la fétuque élevée présente de moindres exigences écologiques par rapport au dactyle ; elle supporte mieux l'hiver rigoureux, la sécheresse et la chaleur. Carrow et Duncan (2003) considèrent la fétuque élevée comme l'une des espèces les plus résistantes à la sécheresse et la plus tolérante pour les températures élevées parmi les graminées fourragères utilisées dans le Sud des USA. Ceci est permis grâce aux différentes adaptations notées sur les écotypes de cette région du monde, parmi lesquelles nous pouvons citer : un moindre développement des limbes en période de stress, une grande profondeur radriculaire, une densité élevée du système racinaire. En Algérie, Maire (1955) la signale dans une aire assez étendue, dans les prairies humides, bords des eaux, allant du littoral jusqu'à environ 2500 m d'altitude ; commune partout sauf au Sahara.

2.6.3.4. Croissance saisonnière et valeur nutritive de *Festuca arundinacea* Schreb.

La vitesse de reconstitution du couvert végétal dépend d'une part des réserves accumulées, au cours du cycle de croissance précédent, dans les gaines de graminées, elle dépend d'autre part de la présence de méristèmes apicaux et des capacités de croissance que permet l'état physiologique qu'ils ont acquis au cours du cycle précédent.

Cette vitesse est chez les graminées corrélée avec le nombre de talles, du rythme d'apparition des feuilles et de la vitesse de leur élongation (110°C-jour pour le raygrass anglais, 240 pour la fétuque élevée) (Poisson 1992). Lemaire (1987) rapporte que la quantité de matière sèche accumulée sur pied dépend de la durée moyenne de vie d'une feuille (22 jours à 15°C en moyenne pour le raygrass anglais mais 32 jours pour la fétuque élevée), après une coupe ayant réalisé une défoliation quasi-totale, les pertes par sénescence interviendront plus tardivement sur la fétuque élevée que sur le raygrass anglais et l'accumulation de matière sèche pourra ainsi se poursuivre plus longtemps.

La fétuque élevée peut être utilisée comme espèce fourragère pour la fauche ou le pâturage à divers degrés d'intensification. Son potentiel de tallage et ses qualités de rusticité permettent en effet une large gamme d'utilisations. Utilisée en gazon, c'est sa capacité à maintenir un aspect vert en conditions hydriques limitantes qui met en valeur la fétuque élevée, principalement en zone méditerranéenne (Ghesquière et Jadas-Hecart, 1995). Le jugement des espèces et variétés comporte plusieurs critères d'évaluation : la production totale, sa répartition saisonnière et la valeur alimentaire du fourrage. La production exprimée en UFL/ha permet de situer l'intérêt des espèces et variétés prairiales. Si le raygrass anglais demeure l'espèce de référence, la plus digestible et d'une bonne productivité, il convient, en conditions difficiles ou en l'absence de fertilisation, de reconsidérer la place de certaines graminées secondaires. La majorité des graminées prairiales est sensible au stress hydrique. Seules quelques espèces, tels les bromes et la fétuque élevée, se comportent mieux que le raygrass anglais en conditions sèches (Leconte *et al.*, 2004).

En plus, ces mêmes auteurs mentionnent que la production des prairies présente des variations importantes au cours de la saison. Certaines espèces sont en moyenne sur l'année plus productives que les raygrass anglais (indices supérieurs à 100 : fétuque élevée, dactyle, brôme, fléole, fromental, vulpin) alors que d'autres le sont moins (indices inférieurs à 100 : pâturin des prés, fétuque des prés, agrostides, crételle, orge faux seigle, flouve). Selon Lecomte et Simon (2004), le départ rapide en végétation assure une mise à l'herbe plus précoce chez des espèces cultivées (fétuque élevée, brôme, pâturin des prés) que chez des variétés à gazon (fétuque rouge gazonnante).

La longueur des limbes, le nombre de feuilles par talle et le potentiel de tallage conditionnent le démarrage foliaire. La production printanière est particulièrement abondante chez les espèces sélectionnées à cet effet (fétuque élevée, brôme, dactyle), ce qui leur permet

de réaliser des stocks conséquents. En période estivale, la productivité des graminées est limitée par les stress hydriques et thermiques. En automne, quelques espèces conservent une productivité supérieure au raygrass anglais : fétuque élevée (indice 161), brôme, dactyle, fromental et agrostide stolonifère.

La fétuque élevée est l'espèce qui pousse le plus régulièrement tout au long de l'année. Elle reste facilement verte l'hiver, démarre tôt au printemps, pousse l'été en moyenne autant que le dactyle et est la dernière à s'arrêter en automne nettement après le dactyle, la repousse qui suit la coupe des tiges au printemps est peu retardée, la crise du tallage étant assez faible. Le rythme de croissance est généralement supérieur à celui du dactyle, les exceptions se situent à l'implantation, au milieu du printemps quand il fait beau ou en été compte tenu de ce rythme et de sa longue saison de végétation, la fétuque élevée est l'espèce qui a le plus fort rendement annuel, elle peut fournir jusqu'à 13 à 18 tonnes de MS ha⁻¹ en conditions favorables, mais là encore la production dépend surtout de la date de semis, puis de la pluviométrie et enfin un peu de la variété (Gillet, 1980).

La facilité d'exploitation des fétuques élevées dépend de leur tardivité d'épiaison, car les variétés très précoces dont les différents stades se succèdent rapidement sont très difficiles à exploiter en pâturage, à l'opposé les variétés semi-tardives et tardives ont des feuilles très longues, leur exploitation en pâture est plus facile (Chelbi, 1989). La fétuque élevée s'exploite avant le stade épiaison pour le premier cycle, à ce stade on obtient le maximum d'UF ha⁻¹ sous forme d'un produit de bonne valeur alimentaire et 5 semaines après chaque coupe (repousse) pour les cycles suivants, elle a une valeur nutritive assez bonne, à condition d'être consommée avant l'épiaison car si on dépasse cette date les feuilles se durcissent et se dessèchent (Demarquilly, 1969 ; Anonyme, 2002).

De la Tunisie Septentrionale a été rapporté un rendement de prairie à fétuque en exploitation mixte de 3000 UF ha⁻¹, dont 1500 UF provenaient du pâturage hivernal, 1300 UF de la fauche et 200 du Pâturage printanier (Jaritz, 1982). Rondua *et al.* (1985) ont obtenu des rendements plus élevés dans le subhumide Tunisien à savoir environ 40 T MV ha⁻¹ broutée, plus 75 kg ha⁻¹ de semences ou environ 6 T de foin ha⁻¹ plus 100 kg de gain de poids vif d'agneaux (Jaritz et Bounejmate, 1997).

Néanmoins la fétuque élevée devient parfois source de problèmes de toxicité pour les animaux, et ce, si la plante en question est infectée par des champignons endophytes.

Fribourg *et al.* (1991) signalent que les bovins consommant de la fétuque infectée par *Acremonium coenophialum* ont une croissance et une tolérance à la chaleur plus faible que les animaux nourris avec de la fétuque saine. Chez les vaches allaitantes, on constate une fertilité réduite et une baisse de production de lait.

Des efforts ont porté sur l'amélioration de la valeur alimentaire, en particulier l'appétence qui est le point faible de la fétuque élevée (Jadas-Hécart, 1982). Des facteurs répulsifs (composés phénoliques) agissent probablement sur l'appétibilité et des alcaloïdes sur la digestibilité. La teneur en lignine des parois végétales, les différences dans sa composition, ainsi que les liaisons la liant aux hemicelluloses, constituent les facteurs majeurs limitant leur digestibilité (Verdaguer *et al.*, 2005). A ce sujet, Jadas-Hécart et Poisson, 1992 affirment qu'il est difficile de faire consommer de la fétuque élevée dès que le feuillage vieillit et, lorsqu'ils ont le choix les animaux préfèrent d'autres espèces.

Ce caractère peut être amélioré par plusieurs méthodes de sélection individuelle sur la souplesse des feuilles et de sélection familiale sur l'appétence (Gillet *et al.*, 1983), et qui ont permis de proposer des variétés "Lubrette" , "Sopline" nettement améliorées sur ce plan (Emile *et al.*, 1992). De même des programmes d'hybridation interspécifique ont tenté d'exploiter des hybrides amphiploïdes doublés entre *F. arundinacea* subsp. *arundinacea* x *F. gigantea* (Buckner *et al.*, 1976 ; Eizenga *et al.*, 1990) ; ainsi que des variétés analogues entre races européennes et méditerranéennes de fétuque élevée ("Lutine" et "Lunibelle") ont pu être inscrites (Jadas-Hécart et Gillet, 1978). Ce type de matériel, à précocité d'épiaison tardive, se caractérise en conditions océaniques par un démarrage en végétation précoce tout en alliant une bonne résistance au froid, du fait de son niveau de ploïdie élevé (de 10x à 12x) et se caractérise par une digestibilité améliorée (Emile *et al.*, 1995), ainsi qu'une bonne appétence, alors que la souplesse des feuilles, qui est le critère habituel, n'a pas été modifiée (Ghesquière et Jadas-Hécart, 1995).

Au niveau intergénérique, ce sont des hybrides fétuque x raygrass d'Italie qui ont été exploités, donnant de nouvelles variétés qui associent la productivité et la digestibilité du raygrass, à la pérennité de la fétuque. Deux stratégies sont possibles pour la création des *festulolium* : (i) *l'amphiploïdie*, qui consiste à additionner dans une seule structure le génome entier d'une espèce de fétuque et d'une espèce de raygrass. Les hybrides directs obtenus doivent subir un doublement de leurs stocks chromosomiques afin de rétablir leur fertilité et de leur conférer un comportement disomique (Zwierzykowski, 2004).

2.6.3.5. Relation symbiotique *F. arundinacea* Schreb et l'endophyte *N. coenophialum*

Neotyphodium coenophialum Morgane-Jones et Gams est un champignon de la fétuque élevée *Festuca arundinacea* Schreb. C'est un champignon vivant dans les tissus de la plante, d'où son qualificatif d'endophyte, assez proche des *Epichloe* (quenouille des graminées) et des *Claviceps* (ergots) (Clay, 1988). Il vit en symbiose avec la fétuque en bénéficiant de la plante pour son développement et en lui apportant certains avantages comme une meilleure croissance, une pérennité accrue et une certaine résistance aux stress abiotiques et biotiques (Rudgers et Clay, 2007). Selon Fribourg *et al.*, (1991) la présence de ce champignon n'est préalablement pas étrangère à la place qu'a rapidement occupée la fétuque élevée dans l'est des Etats-Unis (près de 14 millions d'hectares) depuis son introduction à la fin du 19^{ème} siècle.

N. coenophialum occupe les espaces intercellulaires des tissus de la partie aérienne de l'herbe, en se concentrant dans les parties basales de la tige et la gaine de la feuille (Siegel *et al.*, 1984). Ces endophytes, qui ont co-évolué avec les graminées en C3 et ont établi une véritable symbiose mutualiste (Clay, 1988), s'avèrent bénéfiques pour la production de l'herbe. L'herbe fournit à l'endophyte un abri et une source d'énergie organique sous forme de photosynthétats (Clay, 1990). En échange, les endophytes synthétisent des métabolites secondaires, tels que les alcaloïdes, qui servent comme des composés de défense des plantes contre les insectes et d'autres herbivores (Bultman et Bell, 2003 ; Vicari *et al.*, 2002), et se disséminent uniquement via ses semences. Ainsi la fétuque élevée devient une source de problème de toxicité pour les animaux, suite à la synthèse de ces alcaloïdes insecticides et nématocides.

Le principal inconvénient de l'association graminée-*Neotyphodium*/endophytes est donc la production de mycotoxines néfastes pour le bétail. Bovins et ovins sont les plus touchés. Les premiers cas de toxicoses liés à la fétuque endophytée Kentucky 31 ont été répertoriés aux Etats Unis. Ce cultivar mis au point dans les années 30, prédomine dans les pâtures et les espaces verts de l'est des Etats-Unis. Vers les années 50, des symptômes et de mauvaises performances techniques furent enregistrés sur le bétail alors que rien dans les analyses classiques de qualité des fourrages ne permettait de comprendre ces phénomènes (Fribourg *et al.*, 1991). La découverte des endophytes des graminées et de leurs mycotoxines permit, bien plus tard, d'expliquer ces troubles causés au bétail.

La principale mycotoxine qui se trouve dans la fétuque infectée par *N. coenophialum* est l'ergovaline (Arechavaleta *et al.*, 1992) qui est responsable de ces symptômes de type "ergotisme". L'ergovaline, par son action agoniste de la dopamine, induit une baisse de la prolactine, hormone adeno-hypophysaire intervenant dans différents processus métaboliques (Paterson *et al.*, 1995), aboutissant à l'apparition des syndromes estival "summer syndrome" et hivernal "fescue foot disease", bien connus des éleveurs dont les animaux consomment de la fétuque élevée contaminée (Raynal, 1991).

A l'inverse, les endophytes peuvent apporter des bénéfices aux graminées du point de vue agronomique. En effet, le raygrass endophyté (E+) se révèle plus résistant que les plantes non infectées (E-) en conditions de stress hydrique et de carence azotée, en particulier grâce à un meilleur tallage (Ravel *et al.*, 1997), un bon développement racinaire (De Battista *et al.*, 1990) et une meilleure absorption minérale (Malinowski *et al.*, 1998).

De ce fait, la fétuque élevée résiste mieux à la sécheresse lorsqu'elle est porteuse de *N. coenophialum*, présente une meilleure pérennité (West *et al.*, 1993 ; Elbersen et West, 1996) et apparaît plus compétitive que la fétuque E⁻ lorsqu'elle se trouve en mélange (Hill *et al.*, 1991). Une augmentation de la production de semences peut également être enregistrée chez la fétuque élevée et la fétuque des prés (*F. pratensis*) endophytées par rapport à des clones E⁻ (Rice *et al.*, 1990 ; Schmidt et Guy, 1997).

Cependant les effets agronomiques bénéfiques des endophytes ne sont observables que dans des conditions particulières. Des études concernant la croissance en fonction de la nutrition azotée, l'alimentation en eau, le pH du sol font état d'une absence de différences significatives dans des résultats obtenus entre clones de fétuque et raygrass E+ et E-, et ceux-ci sont dépendants du génotype de l'association plante/endophyte (Lewis *et al.*, 1996 ; White *et al.*, 1992 ; Lewis, 2004 ; Hesse *et al.*, 2004). Des efforts récents ont utilisé les outils de la biologie moléculaire pour créer de nouvelles souches d'endophytes non toxiques pour le bétail et dont les voies de production et de synthèse des alcaloïdes sont bloquées (Panaccione *et al.* 2001; Young *et al.* 2005).

3. LA SÉLECTION DES GRAMINÉES PÉRENNES.

3.1. *La tolérance du stress hydrique et des hautes températures*

A l'exception de certaines d'entre elles, comme les bromes, ou de leurs apparentés (*Lolium temulentum*, par exemple) qui sont autogames ou même apomictiques comme *Poa pratensis*, la grande majorité des espèces fourragères est allogame. La fécondation est généralement anémophile. L'autofécondation est souvent possible, l'allogamie est alors favorisée par la vitesse de croissance différentielle des tubes polliniques, celle-ci étant largement en faveur de l'allo-pollen. Le maintien de l'hétérozygotie est encore accentué par le fait que l'autofécondation entraîne, dans tous les cas, une dépression consécutive à la consanguinité (Gallais et Bannerot, 1992).

L'aire d'adaptation de ces espèces, telle que *Festuca arundinacea*, couvre de larges étendus, allant de la Scandinavie à l'Afrique du Nord. Cette extension conduit à des situations d'isolement géographique ou écologique plus en moins radicales entraînant des phénomènes de spéciation. C'est ainsi que, chez la fétuque élevée, les hybrides entre écotypes d'Europe du Nord et certains écotypes nord-africains sont stériles (Evans *et al.*, 1973). Cette stérilité est due à des réarrangements chromosomiques et à l'altération des mécanismes de régulation des appariements (Jauhar, 1975).

La sélection chez les graminées pérennes, pour les environnements où l'eau est un facteur limitant, reste basée sur la recherche d'une meilleure persistance, conditionnée par la tolérance de la pâture et du manque d'eau (Casler *et al.*, 1999). Cette tolérance est, dans la plupart des cas, liée à l'origine géographique du matériel végétal utilisé (Vogel *et al.*, 2002). En effet toute amélioration future de la tolérance au déficit hydrique chez ces espèces doit tenir compte de l'origine géographique qui impose des limites à l'amélioration recherchée.

Un autre aspect non moins important chez ces espèces est la recherche d'une meilleure persistance ou pérennité. En effet, Harper (1978) fait remarquer que du point de vue évolution les graminées pérennes dépendent de la pâture pour persister, quoique la plus part d'entre elles ne sont pas parfaitement résistante à un pâturage intensif.

L'amélioration de la tolérance de la pâture et de la sécheresse se base sur la physiologie de la plante. Elle touche à la fois le végétal et sa gestion pour obtenir une prairie durable

(Harper, 1978). La dormance estivale est une condition vitale pour toutes les graminées vivaces à utiliser en culture pluviale en zone méditerranéenne (Piano et Pusceddu 1989). Sans ce caractère, il manquerait la résistance à la sécheresse estivale qui est indispensable pour la persistance.

La précocité constitue un important caractère en sélection ce qui permet d'avoir une gamme étendue de précocité de démarrage de la végétation et d'épiaison. Une étendue de près de deux mois existe entre les dates extrêmes d'épiaison chez des variétés hybrides obtenus par croisement entre les races européennes et méditerranéennes. Ces variétés sont résistantes au froid, elles se caractérisent par un bon démarrage à la sortie de l'hiver et une grande résistance aux maladies (Jadas –Hecart, 1993 ; Ghesquière et Jadas-Hécart, 1995).

3.2. *La tolérance de la pâture*

L'amélioration de la tolérance à la pâture est un important objectif en sélection des graminées pérennes. La pâture affecte la croissance de l'herbe. Ces effets se manifestent sur le nombre de plantes, le nombre de tiges par plante et le nombre de feuilles par talle. La tolérance de la pâture est définie comme l'action de minimiser la mortalité du feuillage, des talles et des plantes après pâturage en améliorant la reprise de l'herbe pâturée (Rogers et Lush, 1989). La talle est l'unité primaire de production de la prairie, il faut maintenir la densité de talles à son optimum après pâturage.

La phase reproductive est comprise entre le stade initiation des bourgeons floraux de l'apex jusqu'à la formation des graines. Pour qu'une talle devienne reproductive, elle passe par une phase juvénile. Une fois cette phase touche à sa fin, la talle devient réceptive aux stimuli environnementaux qui favorisent son passage à la phase reproductive.

C'est la phase d'initiation qui est le plus souvent dépendante des besoins en températures vernalles et de photopériodes courtes. Une fois ces besoins satisfaits, la phase d'initiation, pour se terminer, a besoin de jours relativement plus longs. Une fois la talle passe au stade reproductif, l'initiation foliaire est suspendue sur cette talle et tous les bourgeons foliaires deviennent des bourgeons floraux.

Les talles principales peuvent avoir jusqu'à 6 à 7 feuilles avant de passer au stade reproductif. Le taux d'apparition des feuilles, le phyllochron est de 100°C jours par feuille en

moyenne (Kemp et Guobin, 1992). Par conséquent les basses températures de l'automne et de l'hiver réduisent la production fourragère. En plus, sur la même talle, la croissance des bourgeons secondaires, donnant des talles secondaires, est suspendue une fois, la talle concernée commence à monter, à moins que cette talle soit coupée. Après la pâture, les bourgeons peuvent ne pas monter si les réserves venant des feuilles basales ne sont assez suffisantes pour soutenir cette croissance (George *et al.*, 1989).

La rentrée en phase reproductive rend les talles montantes des graminées pérennes très sensibles à la pâture parce que les apex sont susceptibles d'être endommagés ou coupés. La production de l'herbe de la prairie dépend alors de la capacité de croissance des nouvelles tiges émergeant des bourgeons axillaires qui sont dormants, sur les talles décapitées. Le nombre de ces nouvelles talles émergentes des talles décapitées est plus important à mesure que le pâturage est plus tardif et réalisé vers l'anthèse (George *et al.*, 1989).

Les variétés capables d'exprimer un grand nombre de talles reproductives se montrent très sensibles à la fréquence des coupes/pâture au printemps (Hume, 1991). Ainsi le phalaris est affaibli par des coupes fréquentes au cours du printemps, au moment où ses tiges montent (Culvenor, 1994). La gestion de la fréquence des coupes de la prairie affecte la survie de la végétation restante au cours de l'été qui suit, en réduisant le nombre, la taille et le niveau de dormance des bourgeons axillaires ainsi que la quantité des assimilats stockés dans les feuilles encloses à la base des talles (Culvenor, 1994). Culvenor (1994) montre que le cultivar "Sirolan" produit plus de talles montantes et donc reproductives que le cultivar "Australian". Ces deux génotypes montrent des différences de réponse de reprise après coupe ou pâture, et par conséquent des différences de régénération après la période de dormance (persistance).

La densité des talles produites par unité de surface de sol dépend de la densité foliaire, qui est dépendante du taux d'apparition des feuilles. Il y a une relation inverse entre la durée de la croissance de la feuille et le nombre de feuilles par unité de surface. De ce fait la taille de la feuille est utilisée comme un indice de sélection indirecte pour améliorer la densité des talles, qui doit être élevée si on cherche à améliorer la tolérance de la pâture (Culvenor, 1994).

Les cultivars aux feuilles de faibles dimensions, de port prostré, avec une densité de tallage élevée sont plus aptes à une utilisation intensive de la prairie, notamment la fréquence

des coupes ou intensité de la pâture. Par contre, les géotypes ayant de longues feuilles érigées et de port dressé s'adaptent plus à une utilisation moins intensive (Chapman *et al.*, 1992). Ainsi le cultivar 'Australian' est de type prostré ayant une densité élevée de talles, il est plus adapté à supporter des charges animales élevées (Culvenor, 1994).

Dans les environnements favorables, il faut maintenir la végétation à une hauteur de 10 à 30 cm, au printemps, pour garantir une longue persistance de la prairie. Sous climat plus rude et sec, il faut laisser monter en épi les talles dominantes pour assurer le développement des bourgeons axillaires et stocker les assimilats à la base des tiges. Il est recommandé de nettoyer la prairie des débris végétaux morts pour promouvoir une régénération rapide dès la fin de l'été (Culvenor, 1994).

4. Mécanismes de tolérance des plantes à la sécheresse

Les stress environnementaux, notamment le stress hydrique, limitent la croissance des plantes ainsi que la productivité végétale (Wang *et al.*, 2003). Le déficit hydrique est susceptible d'affecter l'ensemble des fonctions physiologiques : photosynthèse, nutrition minérale, transport d'assimilats, morphogenèse (Bradford et Hsiao, 1982). Ces fonctions ne sont pas toutes également sensibles à la sécheresse, de sorte que la vitesse de croissance de la plante peut être limitée d'avantage par l'une ou l'autre selon les conditions liées notamment à l'intensité de la sécheresse et à la position de celle-ci par rapport au cycle de croissance (Merrien *et al.*, 1981).

Afin de lutter contre le risque de dessèchement, les plantes ont recours à des comportements qui leur permettent de survivre à des situations de déficit hydrique par des mécanismes d'adaptation. Ces mécanismes permettent aux plantes de préserver l'intégrité des fonctions physiologiques et d'assurer un état productif et la survie. Gillet (1980) indique que la plante se défend contre la sécheresse et pour ce faire, elle tend à égaliser l'absorption et la transpiration. De ce fait, elle doit soit augmenter l'absorption ou bien diminuer la transpiration.

En effet, l'installation d'une sécheresse se manifeste par la combinaison d'une part, de la restriction de la disponibilité en eau du sol et, d'autre part, de l'augmentation de la demande de l'air ambiant. Dans les zones arides, les plantes ont développé des régulations assurant leur survie, en général au dépens de la productivité. Ces régulations sont de nature

différente chez les plantes cultivées des régions tempérées qui ont été sélectionnées pour leur productivité.

D'un point de vue agronomique, la tolérance à la sécheresse est la capacité de la plante à croître et donner des rendements satisfaisants dans des zones sujettes à des déficits hydriques épisodiques (Turner, 1997). Plusieurs auteurs (Levitt, 1980 ; Ludlow, 1989 ; Jones, 1992 ; May et Mithorpe, 1962) ont défini et établi une classification des 'stratégies' d'adaptation des plantes à la sécheresse en trois catégories de résistance :

- l'esquive ou l'échappement au stress hydrique est un mécanisme d'adaptation des plantes vis à vis des contraintes abiotiques. Les variétés qui adoptent cette caractéristique, se développent en dehors de la période de contrainte intense, grâce à la modulation du cycle de développement pour l'adapter à la situation contraignante (Simane *et al.*, 1993 ; Araus *et al.*, 2002). C'est le cas des plantes désertiques éphémères, dont la durée de vie est courte. Les éphémérophytes germent, croissent et fleurissent immédiatement après les pluies saisonnières. Elles accomplissent donc leur cycle de développement durant une période humide favorable et produisent des graines dormantes avant l'arrivée de la saison sèche.

Comme ces plantes ne sont jamais confrontées réellement à la sécheresse, on dit qu'elles échappent au stress (Hopkins, 2003). C'est une manière efficace d'obtenir des plantes qui peuvent produire une biomasse acceptable malgré le manque d'eau, en raccourcissant la durée de leur cycle. Ceci réduit la consommation totale d'eau, si bien que des stades importants comme la floraison et l'épiaison se produisent alors que l'humidité du sol permet encore une transpiration importante.

L'inconvénient est que si la transpiration est réduite, le rayonnement intercepté pendant la période levée-floraison l'est aussi, aboutissant à un rendement plus faible. Le rendement fourrager est généralement corrélé avec la durée de vie des végétaux sous conditions favorables, et toute réduction de cette durée sous le seuil optimal se répercute sur le niveau rendement (Turner *et al.*, 2001).

La plus part des graminées pérennes réduisent leur surface foliaire pour esquiver partiellement la sécheresse. Elles comptent sur les bourgeons dormants et les organes souterrains pour se régénérer rapidement dès que la pluie revienne. Les bourgeons, enclos dans la gaine des talles coupées ou pâturées, sont mieux protégés du stress hydrique

et croissent rapidement dès le retour des premières pluies. La dormance des bourgeons est le mécanisme le plus utilisé pour améliorer la survie des graminées pérennes à la sécheresse (Oram, 1983).

Selon Oram (1990) cette stratégie a permis la sélection de génotypes tels le raygrass "Brumby", le dactyle "Berber" et le phalaris "Sirocco". Le dactyle et la fétuque possèdent aussi la capacité de se régénérer, en automne, à partir des apex végétatifs des talles dont la croissance s'arrête en été. Ceci réduit leur dépendance des bourgeons dormants. Biddiscombe *et al.*, (1977) mentionnent qu'une forte densité de talles et de bourgeons axillaires, associée avec une dormance totale au cours de l'été, sont des caractéristiques désirables pour la survie à la sécheresse estivale.

- L'évitement de la déshydratation des tissus est la situation où la plante fait appel à différents mécanismes pour se maintenir à un niveau de la contrainte nettement inférieur à celui exercé par l'environnement. C'est en fait la capacité qu'a la plante à maintenir un état hydrique satisfaisant. La stratégie de l'évitement est principalement liée, d'une part, à la réduction de la transpiration et d'autre part, à une optimisation de l'absorption d'eau par les racines. Les substrats carbonés produits sont, dans ce cas, dirigés en priorité vers les racines pour leur développement au profit de la partie aérienne (Housley *et al.*, 1982 ; Siddique *et al.*, 1990 ; Al-Hakimi *et al.*, 1995 ; Turner *et al.*, 2001 et Kavar *et al.*, 2007).

La diminution de la transpiration est principalement liée à la fermeture des stomates. Il s'ensuit une chute de l'assimilation de CO₂, d'où une baisse de production de la biomasse. Elle peut être due également à une diminution des surfaces évaporantes. Parmi les mécanismes permettant de réduire la transpiration, la réduction de la surface foliaire et la diminution de la conductance stomatique jouent un rôle déterminant. Lors des sécheresses précoces, la réduction de la surface foliaire est associée à une diminution de l'expansion foliaire plus qu'à une sénescence accélérée des feuilles.

La régulation de la conductance stomatique constitue en effet, un mécanisme majeur intervenant à court terme pour limiter les pertes d'eau: le potentiel hydrique foliaire sera maintenu d'autant plus longtemps que la fermeture des stomates est précoce. Celle-ci peut intervenir à des potentiels hydriques foliaires différents en fonction du génotype (Mojayad, 1993) et du stade de développement (Morizet et Merrien, 1990).

La régulation de la conductance stomatique dépend du potentiel hydrique foliaire et de l'humidité de l'air ambiant (Turner, 1997). Les génotypes à faible conductance sont plus sensibles au déficit de vapeur et à la baisse du potentiel hydrique foliaire que les génotypes à conductance élevée. Une faible conductance est généralement proposée comme un caractère favorable à l'adaptation à la sécheresse (Jones, 1987 ; Turner, 1986, Ludlow et Muchow, 1990).

Si la fermeture des stomates n'est pas totale, en raison de la différence entre les coefficients de diffusion de l'eau et du CO₂ dans la feuille, la transpiration est plus réduite que l'assimilation nette: l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE) s'améliore. En revanche, une telle sensibilité des stomates à la diminution de potentiel hydrique peut augmenter la fréquence des épisodes de photo-inhibition.

La chaîne de transport des électrons est alors rétro-réglée afin de dissiper l'énergie lumineuse en excès. Il est admis que le photosystème II (PSII) joue un rôle central dans les processus d'utilisation et de régulation de l'énergie lumineuse (Baker, 1991). Lorsque la fixation du CO₂ ne consomme plus assez d'énergie, d'autres voies métaboliques, telles que la photo respiration, peuvent contribuer au maintien du transfert non cyclique des électrons.

Lorsque cette 'voie photochimique' est saturée, la dissipation thermique, par l'intermédiaire du cycle des xanthophylles, joue un rôle important au sein des mécanismes photo-protecteurs en limitant la destruction des PSII (Demmig-Adams et Adams, 1992). Cependant, une augmentation supplémentaire de l'énergie lumineuse absorbée, conduit à une inactivation des PSII plus ou moins réversible, liée à des modifications structurales des protéines spécifiques (Critchley et Russel, 1994). Ces modifications du fonctionnement photochimique peuvent être associées à une altération de la biochimie du chloroplaste. En effet, l'activité photosynthétique est un processus complexe impliquant de nombreuses étapes photochimiques, au cours desquelles l'énergie lumineuse absorbée par les pigments chlorophylliens, regroupés au sein des photosystèmes est transformée en énergie chimique utilisable par la plante (Lawlor, 1987).

Une partie de l'énergie captée par les chlorophylles est dissipée sous forme de chaleur et de fluorescence. Cette altération du fonctionnement chloroplastique, plus ou moins réversible, peut contribuer à réduire le bilan journalier d'assimilation nette, suite à la dépression de la conductance stomatique à la mi-journée ou en période de post-sécheresse.

L'optimisation de l'absorption d'eau est liée à un ensemble complexe de caractères morphologiques des racines : masse, volume, ramification et profondeur (Ramanjulu et Bartels, 2002). De nombreuses plantes adaptées aux zones arides ne contrôlent que très peu leurs pertes en eau par transpiration, mais possèdent un enracinement très profond capable d'extraire l'eau du sol (Figure 1).

La croissance racinaire en conditions sèches peut être maintenue par l'ajustement osmotique qui limite la baisse du potentiel de turgescence (Turner, 1986). Cependant plusieurs difficultés limitent de l'utilisation de la croissance racinaire comme critère de criblage par les sélectionneurs (Turner *et al.*, 2001). Ainsi l'impraticabilité du criblage au champ pour cette caractéristique sur une grande échelle et la difficulté de corrélérer des observations au champ à celles qui sont faites en pots, figurent parmi ces difficultés.

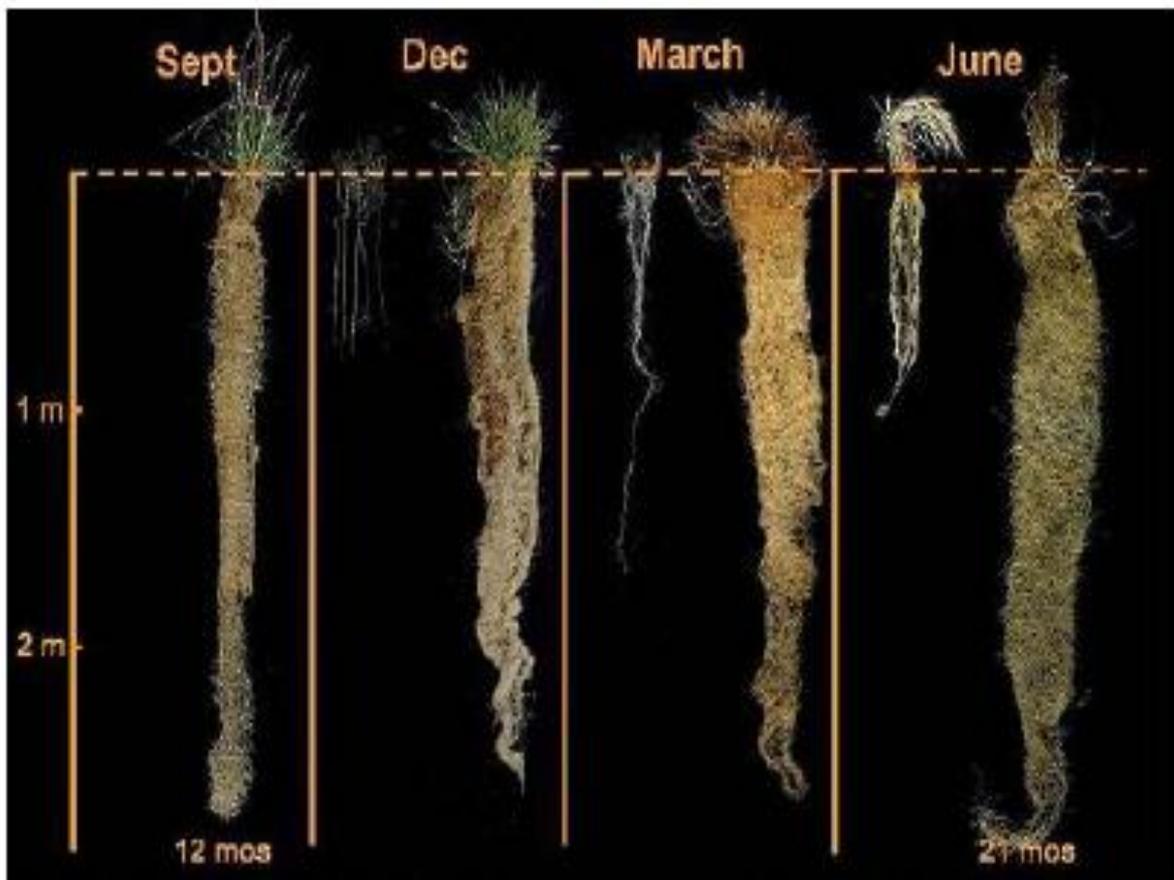


Figure 1. Développement comparé du système racinaire de la fétuque à 12 et 24 mois avec celui du blé.

L'acide abscissique (ABA), synthétisé et accumulé par la plante en réponse à différents types de stress, est impliqué dans certains mécanismes de résistance à la sécheresse (Zhang *et al.*, 2006). C'est ainsi que de nombreux mécanismes d'évitement de la déshydratation

(abscission, fermeture stomatique, enroulement foliaire) peuvent résulter de l'effet de cette hormone, ce qui provoque des changements physiologiques limitant les pertes en eau mais diminuant, par ailleurs, le rendement en accélérant la sénescence et en réduisant l'activité photosynthétique (Davies et Mansfield, 1983 ; Bunce, 1987 ; Cattivelli *et al.*, 2008). C'est le cas de la réduction de la conductance stomatique induite par l'ABA, qui limite la disponibilité en CO₂ dans la feuille et inhibe ainsi la photosynthèse (Prioul *et al.*, 1984 ; Cornic *et al.*, 1987).

-L'ajustement osmotique (AO) est un mécanisme clé permettant aux plantes sous stress hydrique de maintenir une absorption hydrique et une certaine pression de turgescence cellulaire, contribuant ainsi à garder un taux d'activité photosynthétique et de croissance assez élevés (Morgan, 1984 ; Cattivelli *et al.*, 2008). Ce phénomène permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques. L'ajustement osmotique se réalise grâce à l'accumulation des solutés conduisant au maintien du potentiel de turgescence (Turner, 1986 ; Morgan *et al.*, 1986). Il en résulte la protection des membranes et des systèmes enzymatiques des jeunes organes.

L'accumulation des solutés dans le cytoplasme permet à la plante de maintenir sa turgescence et d'éviter sa déshydratation (Morgan *et al.*, 1986), dans ces conditions le taux de croissance cellulaire est réduit (Pattanagul et Madore, 1999). Les solutés responsables de l'ajustement osmotique sont essentiellement des acides organiques, des acides aminés et des sucres. Eckhart (2002) note que les solutés dont l'accumulation permet la diminution du potentiel osmotique et qui contribuent ainsi à l'ajustement osmotique sont des ions inorganiques tel que le potassium, les nitrates, les sucres solubles, les acides aminés et les acides organiques comme l'acide malique.

La plante peut recourir à la réduction de son potentiel hydrique (ψ_w) par ajustement de son potentiel osmotique (ψ_π) grâce à l'accumulation de molécules solubles compatibles. Dans ce cas, la turgescence cellulaire est maintenue et la plante est capable de continuer ses fonctions métaboliques avec une quantité d'eau moindre (Morgan, 1984). L'accumulation de la proline en réponse au stress est un phénomène largement répandu chez les plantes (Singh *et al.*, 1972 ; Stewart, 1981 ; Yancey *et al.*, 1982 ; Pearson et Stewart, 1987 ; El Jaafari et Paul, 1993). La proline joue un rôle d'osmoticum de part les fortes concentrations qu'elle atteint sous stress. Elle agit aussi comme un soluté compatible qui s'accumule à des fortes concentrations dans le cytoplasme sans interférence avec les activités métaboliques

cellulaires (Samaras *et al.*, 1995). Sa présence pourrait être associée à la survie des feuilles et la reprise de végétation après la période de stress hydrique (Aspinall et Paleg, 1981).

Samaras *et al.*, (1995) notent que l'accumulation de la proline dans la région apicale des racines de maïs (*Zea Mays* L.) stressé intervient suite à l'augmentation de la vitesse de déposition de cet acide. Ils démontrent que l'accumulation de la proline dans la zone apicale des racines est due à un transfert. Il n'y a pas synthèse *de novo* au niveau de ce site, comme il n'y a pas d'évidence d'une réduction du catabolisme de cet acide. Hare et Cress (1997) signalent que sous stress, la proline est transférée à partir des cellules sources, qui possèdent seules la capacité de synthétiser la proline, vers des cellules cibles qui ont une forte demande en énergie. Ober et Sharp (1994) mentionnent que l'ABA est nécessaire pour l'accumulation de la proline sous faible potentiel hydrique.

L'ABA joue probablement un rôle de régulateur dans le transport inter-sites, source et utilisateur. Certaines protéines, dont les dehydrines sont associées à l'adaptation aux stress sévères chez plusieurs espèces végétales (Riccardi *et al.*, 1998 ; Ozturk *et al.*, 2002 ; Volaire, 2002 ; Volaire *et al.*, 2005). Ces protéines semblent jouer un rôle dans la protection des cellules des effets négatifs de la déshydratation (Bray, 1993 ; Close, 1997).

D'autres mécanismes interviennent dans le maintien de la turgescence cellulaire, comme l'élasticité membranaire, la réduction de la taille des cellules et la résistance protoplasmique (Tyree et Jarvis, 1982). Cette dernière dépend de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique et à la dénaturation des protéines au niveau membranaire ou cytoplasmique (Gaff, 1980). La résistance protoplasmique est mesurée par l'efflux des électrolytes à partir de segments foliaires exposés à un stress hydrique (Martin *et al.*, 1987).

En effet, les membranes sont souvent la première cible des stress abiotiques. Le maintien d'une intégrité et une stabilité membranaire sous contrainte est une composante majeure de la tolérance chez les plantes (Bajji *et al.*, 2002). C'est une caractéristique physiologique largement utilisée pour l'évaluation de la tolérance aux stress (Premachandra *et al.*, 1991 ; Reynolds *et al.*, 2001 ; Dhanda *et al.*, 2004 ; Farooq *et al.*, 2009).

5. LA DORMANCE ESTIVALE

La dormance est une forme de réponse physiologique adaptative visant principalement à assurer la survie, ce qui permet à la plante de minimiser son exposition à la saison dont les conditions de vie sont les plus stressantes (Vegis, 1964). C'est donc, une forme d'évitement du stress du fait que le métabolisme des plantes diminue considérablement durant cette période et que la croissance végétative et reproductrice sont supprimées (Ofir et Kigel, 1998 ; Volaire *et al.*, 2005 ; Ofir et Kigel, 2007). La dormance est définie comme une cessation temporaire de toute croissance végétative visible des structures de la plante portant des méristèmes. Lang *et al.*, (1987) mentionnent que la dormance prend trois formes différentes: l'endo- dormance, la para- dormance et l'éco- dormance.

La régulation du phénomène, dans le cas de l'endo-dormance, a une origine physiologique interne à la structure de la plante concernée par la dormance (méristème apical, bourgeon). Dans le cas de la para-dormance, la régulation fait intervenir des signaux biochimiques endogènes à la structure de la plante concernée par la dormance (cas de la dominance apicale). Les stimuli environnementaux sont les facteurs intervenant dans la régulation de l'éco- dormance.

L'avènement de la dormance estivale est précédé, en fin de printemps, par l'arrêt de la croissance foliaire, la sénescence de la biomasse aérienne et la déshydratation des jeunes feuilles à la base des talles végétatives qui portent les tissus méristématiques. Il est précédé aussi par la formation soit d'entre- nœuds moelleux au niveau de la couronne basale, soit d'organes souterrains bulbeux où sont stockées les réserves servant pour la survie au cours de l'été et pour la régénération des bourgeons, en fin d'été- début automne. Ces changements ont lieu indépendamment de l'humidité du sol.

Les graminées pérennes soumises à une sécheresse répondent classiquement par une décroissance graduelle d'élongation foliaire et une réduction de l'évaporation au travers de la sénescence des limbes; et finalement, la survie des méristèmes est fonction de leur tolérance à la déshydratation (Volaire *et al.*, 1998 ; Volaire et Lelièvre, 2001). Ces réponses sont observées pour faire face à tout type de stress hydrique quelque soit la saison. La dormance estivale ne s'exprime qu'en été car son induction répond à des variations de photopériode et de température. Elle est endogène, car sous contrôle hormonal. Elle est observée aussi bien en conditions sèches qu'en irriguées (Laude, 1953).

Rees (1992) note que l'induction de la dormance estivale et la transition de l'état de croissance active à l'état de repos végétatif impliquent des changements majeurs dans l'organogenèse, tels que l'augmentation des stocks dans les parties basales des tiges et des racines, ainsi que la formation d'organes de stockage spéciaux (bourgeons, bulbes, tubercules...). Il s'en suit immédiatement un début de la sénescence et la mort des feuilles (Ofir et Kigel, 1998).

En outre, la dormance estivale a été souvent corrélée à une survie supérieure après des sécheresses estivales sévères et répétées chez plusieurs graminées pérennes (Volaire et Norton, 2006). Ce caractère est souvent associé à une consommation réduite en eau (Lolicato, 2000) et pourrait avoir une grande importance dans le développement des graminées pour les régions méditerranéennes (Volaire *et al.*, 2005). Néanmoins, une dormance estivale complète semble être associée à une faible productivité (Volaire *et al.*, 2007).

Volaire *et al.*, (2005) notent que la dormance estivale chez *Dactylis glomerata* s'accompagne par une réduction de l'activité métabolique associée avec une baisse précoce du contenu en monosaccharides de la base des feuilles et une accumulation des déhydrines. Selon Norton *et al.*, (2006), les conditions requises pour induire la dormance estivale chez les graminées pérennes ont été peu étudiées.

Cependant il semble que les facteurs inductifs entrent en action précocement dès l'hiver, sous l'effet des hormones comme l'acide gibbérellique ou l'acide abscissique (Ofir et Kigel, 1998). Ces hormones s'accumulent dans les embryons dormants des semences (Le Page-Degivry *et al.*, 1996). L'ABA est signalé comme un élément clé dans la régulation de la dormance (Volaire *et al.*, 2009). Selon la combinaison de réponses, trois groupes principaux de graminées pérennes peuvent être distingués (Volaire *et al.*, 2007):

1. Les populations qui maintiennent une croissance active sous irrigation avec des taux de sénescence équivalents à ceux du printemps. Ces populations sont non dormantes, d'origine continentale.

2. Les populations dont la croissance des tissus aériens est totalement arrêtée pendant un minimum de quatre semaines et pour lesquelles on observe une forte sénescence des limbes et une déshydratation endogène des tissus méristématiques. Ces populations ont une dormance complète comme le dactyle Kasbah.

3. Les populations dont la croissance aérienne est réduite, avec une sénescence partielle des limbes mais pas de déshydratation des bases de feuilles. Cette dormance incomplète est exprimée dans de nombreux cultivars d'origine méditerranéenne comme le cultivar Flecha.

6. LA PERSISTANCE

La persistance de la prairie est une préoccupation majeure de l'éleveur car les plantes subissent de nombreux stress d'origines variées, tels que le tassement des machines de récolte, les rythmes d'exploitation intensifs, le surpâturage, les effets mécaniques de l'arrachement ou de piétinement, ainsi que les stress climatiques qui amplifient les effets liés aux problèmes d'exploitation. La capacité de reprise après l'avènement épisodique de la contrainte hydrique est une caractéristique importante dans le domaine de la sélection des graminées pérennes. Une bonne reprise après une période sèche est plus importante que la croissance au cours de la période sèche. La capacité de reprendre croissance permet à la végétation et donc à la prairie de persister (Norris et Thomas, 1982).

Sous climat méditerranéen, où la sécheresse estivale est intense et continue pendant plus de 3 mois, il n'y a pas de croissance significative pendant cette période. Les plantes survivent la saison de l'été grâce à des glucides de réserve qui sont mis à contribution pour la repousse, avant que l'activité photosynthétique prenne le relais (Gillet *et al.*, 1984). Sachant que le climat, sous lequel la production est envisagée, est très variable avec des étés torrides et secs, il est important de cibler, en sélection, la survie associée à une reprise rapide dès que la pluie revienne.

Une fois ce type de plantes identifié, il serait plus aisé de lui adjoindre des caractères de productivité (densité de talles et des bourgeons axillaires), d'esquive (précocité) et d'évitement (réduction de la surface foliaire et progression en profondeur du système racinaire), sous contrainte hydrique, pour une meilleure utilisation de l'eau (Buckland *et al.*, 2001 ; Garnier *et al.*, 2004 ; Adler *et al.*, 2004).

7. LES MARQUEURS MOLECULAIRES ET L'AMELIORATION DES FOURRAGES

Les premières graminées transgéniques de raygrass et de fétuque élevée, longtemps récalcitrante à la culture *in vitro*, ont été obtenues en 1995 par micro-bombardements (Spangenberg *et al.*, 1995; Wang *et al.*, 2003 ; Chen *et al.*, 2004). La méthode utilisant *agrobacterium* a été développée pour ces espèces (Bettany *et al.*, 2003). La création d'une variété transgénique implique dans un premier temps l'obtention d'une plante transformée exprimant le gène d'intérêt et dans un deuxième temps le transfert de celui-ci par croisement à la variété receveuse (Verdaguer *et al.*, 2005).

La génomique est sans doute un champ disciplinaire qui a connu des bouleversements au cours des deux dernières décennies. La technique de la PCR (*Polymerase Chain Reaction*) qui permet la réplication de l'ADN, connaît une grande diversité d'utilisation. Elle est à la base du développement de diverses techniques de marquage moléculaire, d'identification des zones du génome impliquées dans le contrôle de caractères quantitatifs, conduisant à l'identification des gènes responsables des variations de caractères d'intérêts agronomiques (Cattivelli *et al.*, 2008).

Certains travaux de recherche suggèrent que les gènes responsables de la résistance aux stress abiotiques du riz et autres céréales ont un rôle similaire chez les graminées fourragères (Humphreys *et al.*, 2004). Trois principaux champs d'application sont identifiés en ce qui concerne les marqueurs moléculaires: (i) l'analyse de la diversité et la caractérisation des ressources génétiques, (ii) l'identification de marqueurs ADN liés aux caractères d'intérêts pour la sélection, (iii) l'identification et la protection des variétés (Roldán-Ruiz *et al.*, 2005).

Pour les espèces fourragères pérennes, les caractères étudiés sont des résistances ou tolérances à des stress biotiques (maladies fongiques ou bactériennes) et abiotiques (froid, sécheresse, faible nutrition azotée), des caractères morphologiques (croissance foliaire, caulinaire, ramification, tallage, rendement, phénologie), ainsi que la valeur alimentaire (digestibilité, teneur en sucres solubles et en protéines).

Chez le raygrass par exemple, de nombreux marqueurs liés à des caractères agronomiques importants sont rapportés : efficacité d'utilisation de l'azote, valeur nutritive, teneur en glucides solubles, date d'épiaison, résistance à la verse (Van Loo *et al.*, 2003 ; Humphreys et Turner, 2003 ; Yamada *et al.*, 2004 ; Inoue *et al.*, 2004a ; 2004b ;

Armstread *et al.*, 2004 ; Barre et Julier, 2005). Les dates d'épiaison et de floraison sont des caractéristiques qui ont un effet direct sur le rendement, la qualité fourragère et la persistance. Un QTL pour la date d'épiaison a été observé sur le groupe de liaison 4 de la population de la famille de référence p115/112 du raygrass (Yamada *et al.*, 2004 ; Julier et Barre, 2005).

Une trentaine de QTL pour les caractères quantitatifs ont été identifiés chez le raygrass. Pour la fétuque 57 QTL ont été trouvés pour la hauteur, la date de montaison, le poids de grains par plante, le nombre de talles fertiles, le poids de 1000 graines, la longueur de la panicule, la fertilité des panicules, la longueur et la largeur de la feuille culinaire. La variation expliquée par les QTL pris individuellement varie de 5% à 58,5% de la variance phénotypique (Fang, 2003).

7.1. Marqueurs moléculaires

Les marqueurs moléculaires, directement issus du polymorphisme existant au niveau de l'ADN, sont fréquemment utilisés pour l'analyse des ressources génétiques et dans les programmes d'amélioration des plantes. Elles sont d'une grande importance dans l'amélioration des cultures à valeur agronomique et dans les programmes de sélection assistée par marqueurs chez les céréales (Eagles *et al.*, 2001 ; Langridge *et al.*, 2001 ; Dekkers et Hospital, 2002). Les applications des marqueurs moléculaires dans la génétique des populations concernent l'étude des centres d'origine, la diversité génétique, les flux des gènes, la structure des populations et les rapports de parenté au sein des espèces. En écologie et en systématique, la description des relations génétiques parmi les espèces et entre les différents genres, la caractérisation des espèces, la cartographie des gènes et la sélection ont été largement décrites dans la littérature (Weising *et al.*, 1995).

De nombreuses techniques de marquage moléculaire sont aujourd'hui disponibles, et de nouvelles sont régulièrement publiées (Gupta *et al.*, 2001 ; Langridge *et al.*, 2001 ; Rafalski, 2002a,b). Les caractéristiques de chacune de ces techniques, ses domaines d'applications, son principe et son coût sont largement détaillés dans plusieurs articles de synthèse (Gupta *et al.*, 1999 ; Santoni *et al.*, 2000 ; Langridge *et al.*, 2001). Ces méthodes peuvent être regroupées en deux grandes catégories : les marqueurs de type RFLP (*Restriction Fragment Length Polymorphism*) et les marqueurs basés sur la méthode de PCR (*Polymerase Chain Reaction*).

7.1.1. Marqueurs RFLP (*Restriction Fragment Length Polymorphism*)

La technique RFLP développée par Botstein *et al.* (1980) repose sur la mise en évidence de la variabilité de la séquence nucléotidique de l'ADN génomique après digestion par des enzymes de restriction, qui coupent l'ADN en des sites spécifiques comprenant en général, un nombre pair de bases (4, 6 ou 8). La spécificité est telle que le remplacement d'une seule base dans un site suffit à empêcher la coupure de l'ADN par l'enzyme utilisée. Une multitude de fragments d'ADN de tailles variables est générée par digestion enzymatique, puis séparée sur gel d'agarose et transférée par capillarité sous forme dénaturée sur une membrane de nylon. Cette membrane est mise en contact avec une solution contenant un fragment d'ADN ou sonde qui permet de repérer, par hybridation moléculaire, des fragments d'ADN génomique qui lui sont complémentaires. La différence entre deux génotypes est révélée par autoradiographie si la sonde est marquée par le phosphore radioactif ou par réaction colorée est associée à un conjugué enzymatique. Pour être utilisée, une sonde doit permettre d'obtenir un profil RFLP lisible et éventuellement de révéler du polymorphisme (De Vienne et Santoni, 1998). Bien que cette technique soit co-dominante et permet une analyse génétique complète, elle est lente et laborieuse. Les étapes de transfert et d'hybridation empêchent une automatisation du travail.

Au début des années 1990, des essais ont été réalisés pour générer des marqueurs RFLP sur la fétuque élevée dans le but de réaliser une carte de liaison génétique (Xu *et al.*, 1995), des cartes de comparaison (Chen *et al.*, 1998), des analyses de la diversité génétique (Xu *et al.*, 1994), des analyses phylogénétiques (Xu et Sleper, 1994), analyse de l'hybride festulolium (Chen *et al.*, 1995), ainsi que l'identification des cultivars et l'identification de lignées monosomiques (Eizenga *et al.*, 1998)

7.1.2. Marqueurs de type PCR

Le développement de la technique PCR offre l'avantage d'analyser les marqueurs moléculaires en un temps court tout en utilisant des concentrations faibles d'ADN. Les marqueurs basés sur la technique PCR tendent à remplacer les systèmes classiques (les marqueurs morphologiques, iso-enzymatiques et RFLP) et deviennent très nombreux. Les plus largement utilisés sont les microsatellites ou SSR (*Simple Sequence Repeat*) ; l'AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) et la RAPD (*Randomly Amplified Polymorphic DNA*).

- **Les microsatellites ou SSR : Single Sequence Repeat** (Morgante et Olivieri, 1993).

Ils sont constitués de séquences de di-, tri- ou tétra-nucléotides répétés en tandem. Les plus courantes sont (A)_n, (AT)_n, (GA)_n, (GT)_n, (TAT)_n, (GATA)_n, etc., la valeur de n pouvant aller de quelques unités à plusieurs dizaines. De tels motifs sont très abondants dans le génome des organismes eucaryotes (Santoni *et al.*, 2000). Ces éléments sont uniformément répartis en plusieurs exemplaires sur l'ensemble du génome d'une espèce et présentent un taux de polymorphisme élevé.

Ce polymorphisme repose sur la variation du nombre d'unités de répétition constituant le microsatellite. Les séquences flanquant ces éléments répétés permettent de définir les amorces qui seront utilisées pour l'amplification PCR. L'analyse des produits amplifiés s'effectue sur gel d'acrylamide. C'est la paire d'amorces spécifiques des bordures droite et gauche du microsatellite qui constitue le marqueur.

Les microsatellites sont parmi les marqueurs les plus puissants pour révéler du polymorphisme. Ils sont de plus en plus fréquemment utilisés pour de nombreuses études. Ils constituent d'excellents marqueurs génétiques, spécifiques de locus, codominants et hautement polymorphes. Ils marquent essentiellement les régions non codantes ; cependant, leur répartition est assez uniforme sur le génome (Santoni *et al.*, 2000). Des marqueurs SSR ont été développés à partir de séquences de fétuque élevée (Saha *et al.*, 2004, 2006) et utilisés pour la construction de cartes de liaison génétiques des fétuques élevées (Saha *et al.*, 2005) et du raygrass d'Italie (*L. multiflorum* L.) (Warnke *et al.*, 2004), ainsi que pour l'étude de la diversité génétique et l'analyse phylogénétique des espèces fourragères (Saha *et al.*, 2004 ; Zwonitzer *et al.*, 2004 ; Hopkins et Saha, 2005 ; Mian *et al.*, 2005).

- **La technique AFLP : Amplified Fragment Length Polymorphism** (Vos *et al.*, 1995).

Elle est fondée sur la mise en évidence conjointe de polymorphisme de sites de restriction et d'hybridation d'amorces arbitraires. Cette technique utilise à la fois les enzymes de restriction et l'amplification PCR. L'ADN génomique est clivé par deux enzymes de restriction, généralement *EcoRI* et *MseI*, ayant des sites de restriction respectivement de 6 et 4 bases. Des adaptateurs de séquences connues et spécifiques des enzymes de restriction utilisées sont ajoutés aux extrémités des fragments de restriction par une réaction de ligation, générant ainsi une matrice pour l'amplification.

Une première amplification, dite pré-amplification, est réalisée à l'aide d'amorces de séquences complémentaires à la séquence des adaptateurs et des sites de restriction. La deuxième amplification, dite sélective, utilise des amorces identiques aux premières mais prolongées à l'extrémité 3' de quelques nucléotides arbitraires (de 1 à 3 nucléotides). Ainsi, seuls sont amplifiés les fragments possédant les bases complémentaires de ces bases arbitraires. Ces amorces sélectives permettent de réduire le nombre de fragments amplifiés à une centaine.

Ces fragments sont séparés par électrophorèse sur gel d'acrylamide dénaturant puis visualisés par coloration au nitrate d'argent ou révélés grâce à un marquage radioactif ou fluorescent réalisé lors de l'amplification sélective. C'est la combinaison enzyme de restriction/amorce qui permet de révéler le polymorphisme entre les individus et constitue donc le marqueur AFLP. Les profils sont généralement complexes (50 à 100 bandes).

Le nombre de bases arbitraires des amorces de l'amplification détermine le nombre de bandes produites en fonction de la taille du génome de l'organisme étudié.

Cette technique est puissante, stable et rapide. En outre, l'AFLP ne nécessite aucune connaissance préalable de séquences du génome de la plante étudiée ni la construction des banques génomiques ou cDNA, à l'encontre des SSR ou des RFLP. Elle connaît une large application dans le *fingerprinting*, l'identification des cultivars et la détermination de leur relation phylogénétique, la cartographie des génomes et le clonage. Toutefois, la dominance, le coût élevé (elle est couverte par un brevet de la société néerlandaise Keygene qui a mis au point cette technique) et les difficultés techniques liées au marquage par AFLP limitent son utilisation à grande échelle pour des applications comme la sélection assistée par marqueurs. En plus, un marqueur AFLP lié à un trait spécifique chez une population est rarement utile pour marquer le même trait chez une autre population (Saha *et al.* 2005). Une centaine de marqueurs AFLP chez la fêtuque élevée sont développés et utilisés pour la construction d'une carte de liaison génétique (Saha *et al.*, 2005) et pour l'analyse de la diversité génétique des graminées fourragères (Mian *et al.*, 2002, 2005).

- **La technique RAPD : Random Amplified Polymorphic DNA** (Williams *et al.*, 1990).

Elle consiste en l'amplification par PCR de fragments de l'ADN génomique en utilisant des amorces arbitraires de taille courte (10 pb). Une amorce RAPD permet généralement

l'amplification d'une dizaine de fragments correspondant à des locus dominants. Les produits d'amplification sont généralement visualisés par électrophorèse sur gel d'agarose. Le polymorphisme décelé est dû à des mutations soit dans les régions amplifiées soit au niveau des sites de fixation des amorces. Le polymorphisme révélé est un polymorphisme de sites d'hybridation d'amorce. Les amorces constituent donc les marqueurs.

Dans la majorité des cas, le polymorphisme révélé par la technique RAPD est de type présence/absence. Dans ces conditions, les homozygotes pour l'allèle "absence de bande" sont repérés sans ambiguïté, tandis que la présence de bande ne permet pas de trancher entre l'hétérozygote et l'homozygote pour l'allèle "présence de bande". Ces marqueurs sont donc qualifiés de "dominants" (Santoni *et al.*, 2000).

En revanche, Cette technique est simple, rapide et ne nécessite ni un marquage radioactif ni une connaissance préalable de la séquence nucléotidique. Néanmoins, la RAPD manque de reproductibilité puisqu'elle est très sensible à la concentration de l'ADN et aux conditions d'amplification. Cette technique a été utilisée chez les graminées fourragères pour l'analyse du complexe *festulolium* (Charmet *et al.*, 1997) et pour la détection de l'introgession du génome du genre *Festuca* au genre *Lolium* (Wang *et al.*, 2003).

CHAPITRE II

**Production de matière sèche, durée du cycle et persistance des variétés de fétuques
(*Festuca arundinacea* Schreb.) et de dactyle (*Dactylis glomerata* L.) évaluées sous
conditions semi-arides**

INTRODUCTION

L'une des particularités des systèmes fourragers algériens est la faible présence des prairies permanentes à base de graminées pérennes. Ces dernières se caractérisent par l'aptitude à fournir un foin de qualité. Elles assurent aussi une souplesse d'utilisation dans le temps : ensilage, pâture, foin ; tout en protégeant le sol de l'érosion éolienne et hydrique (Reuter *et al.*, 2002). Elles sont cependant dépendantes de l'irrigation et lorsque l'eau se fait rare, comme c'est souvent le cas sous conditions semi-arides, elles se dessèchent progressivement sous l'effet de la longue sécheresse estivale qui caractérise ces zones. Leur régénération devient onéreuse en l'absence de matériel végétal approprié et résilient vis-à-vis des stress abiotiques (Casler et Vogel, 1999 ; Anderson *et al.*, 1999 ; Pecetti *et al.*, 2011).

Une meilleure connaissance du matériel génétique disponible aide à sélectionner des génotypes adaptés. De tels génotypes doivent se caractériser par une bonne aptitude à valoriser l'humidité du sol lors de la période de croissance de la végétation et être capables de survivre aux sécheresses estivales pour pérenniser la production (Volaire et Norton, 2006). La dormance estivale chez les graminées pérennes est un mécanisme permettant aux plantes de survivre lors de la sécheresse estivale (Shaimi *et al.*, 2009). En plus, pour produire sous conditions semi-arides, le matériel végétal doit présenter de la résilience vis-à-vis de la variation climatique du milieu de production.

La tolérance génétique assure le maintien des fonctions vitales de la plante sous stress et adapte cette dernière aux changements brusques de son environnement. Un développement excessif en début de cycle se traduit par une surface foliaire importante qui exagère les pertes d'eau, facteur limitant de la production, par transpiration. A l'inverse, un développement relativement lent laisse le sol nu, et augmente la part des pertes par évaporation (Copper *et al.* 1983). Un rythme de développement approprié en début de cycle devient, de ce fait, une caractéristique désirable pour les milieux variables où la plante doit compter entièrement sur les réserves d'eau stockées dans le sol pour produire. La fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) et le dactyle (*Dactylis glomerata* L.) sont les deux espèces pérennes qui répondent le mieux à un tel objectif.

La fétuque est sans doute la graminée la plus pérenne et la plus productive. Elle supporte aussi bien le froid que la chaleur, la sécheresse que l'excès d'eau (Porqueddu *et al.*, 2008). Cette espèce présente une grande variabilité pour la plupart des caractères

physiologiques et phénotypiques (Jadas-Hecart et Gillet, 1987). Quant au dactyle, c'est une graminée d'intérêt en raison de la diversité d'adaptation à des conditions pédoclimatiques diverses. En effet, on rencontre cette espèce depuis les climats continentaux à hivers plus ou moins rigoureux, où les dactyles ont un repos hivernal et une croissance estivale, jusqu'au climat méditerranéen où la sécheresse estivale a façonné des types à dormance estivale et croissance hivernale (Jafari et Naseri, 2007).

L'introduction et l'évaluation de ces nouvelles espèces et variétés fourragères en Algérie sont à favoriser pour augmenter les alternatives contribuant au renforcement de la production fourragère. La sélection doit tendre vers les variétés performantes, présentant le maximum de chances de réussir sous des conditions climatiques de plus en plus contraignantes, en prévision des changements climatiques. Les sélections doivent se distinguer par la souplesse d'implantation, d'exploitation et la persistance pour éviter le retournement trop fréquent des pâturages. L'objectif de ce chapitre est d'analyser :

1. la variabilité des caractères d'intérêt fourrager dont la production de la biomasse et la persistance, chez les variétés de fétuque et de dactyle de diverses origines,
2. la tolérance des stress abiotiques mesurée par l'accumulation des osmolytes (les sucres solubles et la proline) et le contenu relatif en eau.
3. la stabilité des performances saisonnières de production fourragère
4. L'efficacité d'utilisation des précipitations.

MATERIEL ET METHODES

1. Le site expérimental

Le site de la station de l'Institut Technique des Grandes cultures -ITGC- de Sétif est situé aux coordonnées 36° 12'N et 5° 24' E à une altitude de 1023 m, dans une région appartenant à l'étage bioclimatique semi- aride, caractérisée par un climat de type méditerranéen (Chennafi *et al.*, 2006). L'essentiel du cumul pluviométrique est enregistré au cours de la saison froide. L'été est chaud et sec, alors que le printemps et l'automne sont brefs et peu marqués.

Les températures moyennes hivernale et printanière sont de 6.6 et 12.5°C respectivement (Annichiarico *et al.*, 2002). Le cumul des pluies enregistré au cours du cycle de la culture représente, en moyenne, 85% du total de la campagne agricole (Mekhlouf *et al.*, 2006). Le sol, de nature limono- argileuse et dont les caractéristiques sont données au tableau 1, se caractérise par une capacité au champ de 25%, un point de flétrissement de 12% et une densité apparente de 1.35 g cm⁻³ (Chennafi *et al.*, 2006).

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques du sol du site.

Caractéristiques du sol		Résultats analytiques
Caractéristiques chimiques	pH eau	8.26
	pH Kcl	7.20
	Calcaire total (%)	31.58
	Matière organique (%)	3.29
	CE (mmohs/cm)	0.175
	Azote total (%)	0.099
Complexe adsorbant (meq /100 g de terre)	Phosphore	17.17
	Potassium	7.85
	Sodium	42.72
	Magnésium + Calcium	182.51
Caractéristiques physiques (%)	Argile	42.25
	Limon fin	29.75
	Limon grossier	14.22
	Sable fin	8.15
	Sable grossier	5.63

2. Matériel végétal

L'étude a été conduite au niveau de la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes cultures -ITGC- de Sétif, au cours de quatre campagnes agricoles, de 2005/2006 à 2008/2009. Le matériel végétal est constitué de 14 variétés de graminées fourragères

pérennes, dont 7 variétés de fétuque (*Festuca arundinacea* Schreb.) et 7 variétés de dactyle (*Dactylis glomerata* L.) de diverses origines. Les caractéristiques et origines des variétés étudiées sont les suivantes.

2.1. La fétuque

- **Tanit** est un cultivar italien de type méditerranéen. Il est considéré comme un cultivar semi dormant qui ralentit fortement son développement en période estivale, sélectionné à l'ISCF Lodi en Sardaigne au sud de l'Italie (Pecetti *et al.*, 2011).
- **Sisa** est une variété d'origine italienne, elle est considérée comme un type intermédiaire (tempéré / méditerranéen).
- **E-542** est la variété Flecha dont les semences sont infectées par le champignon endophyte *Neotyphodium Cenophyalum* AR542 obtenu par le laboratoire AgResearch (AR) Grassland, Palmerston North, Nouvelle Zélande (Bouton *et al.*, 2002).
- **Centurion** est une variété créée par l'INRA de Montpellier, de type méditerranéen, elle est caractérisée par un développement hivernal vigoureux et une croissance très réduite.
- **Flecha** est une variété aux feuilles fines, à dormance estivale, sélectionnée à partir du cultivar Lironde, issu de parents tunisiens. Elle est très résistante à la sécheresse, grâce à son système racinaire qui peut aller en profondeur, dépassant les 2 m. C'est une sélection de Gentos SA, Buenos Aires, Argentine (Malinowski *et al.*, 2005).
- **Lutine** est un amphiploïde (hybride entre le type continental et méditerranéen), créé par l'INRA de Lusignan (France). Il se caractérise par un bon niveau de production et une bonne résistance à la sécheresse (Lelièvre *et al.*, 2008).
- **Fraydo** est un cultivar australien, qui se distingue par une bonne croissance hivernale et une faible activité estivale (Reed *et al.*, 2004).

2.2. Le dactyle

- **Jana** est une variété synthétique issue de 10 parents, d'origines nord-africaine et italienne (Sardaigne). Elle exhibe un comportement vis-à-vis de la sécheresse estivale similaire à celui de Currie (Oram, 1990).
- **Medly** est d'origine méditerranéenne, c'est un cultivar précoce, produit par l'INRA sous les conditions du sud de la France. C'est une variété qui présente une grande capacité de résistance à la sécheresse dans les zones subhumides, mais supporte moins que Kasbah les sécheresses estivales sévères (Volaire, 2002).

- **Kasbah** est un cultivar complètement dormant en été, de floraison précoce, créé en Australie à partir de parents d'origine sud marocaine, collectés de la vallée d'Oum rabiaa. Kasbah est un tétraploïde méditerranéen avec un port érigé, dont le feuillage persiste en hiver et disparaît complètement en été. Il montre une bonne croissance tard en automne jusqu'à la première moitié de l'hiver, par contre le développement de la fin de l'hiver et du printanier est moins bon. Les tiges prennent une forme bulbeuse à la base, accumulant plus de sucres comparativement aux autres dactyles. Ses racines peuvent aller jusqu' à 1.5 m de profondeur (Oram, 1990).
- **Delta 1** est un cultivar portugais obtenu à partir d'écotypes méditerranéens (Lelièvre et Volaire, 2009).
- **Currie** est une variété issue d'un matériel végétal d'origine algérienne, dont les semences ont été collectées en 1937. Ce génotype fut certifié par le Département de l'Agriculture de l'Ouest Australien en 1958. Il se caractérise par une faible capacité de tallage herbacé, ses talles sont, cependant, plus vigoureuses. Currie est un dactyle semi-dormant en été (Oram, 1990).
- **Porto** est un cultivar Portugais, il fut introduit en Australie en 1955. Son enregistrement eu lieu en 1972. C'est un dactyle de type intermédiaire tempéré/méditerranéen, à feuillage vert bleuâtre, de largeur moyenne et une bonne capacité de tallage. La caractéristique principale de ce dactyle est le ratio feuilles/tiges qui est élevé aux premiers stades végétatifs. C'est un cultivar non dormant en été (Oram, 1990).
- **Ottava** est une population italienne de Sardaigne (Ledda *et al.*, 2004).

3. Conditions climatiques des campagnes d'étude

La variation de la température est bimodal, basse en hiver, au cours des mois de janvier, février et mars et élevée au cours des mois de l'été (Figure 2). La campagne 2005/06 a été la plus froide avec des moyennes proches de 5°C en hiver, moyennes qui restent inférieures à 10 °C, pratiquement de novembre au mois de mars, pour l'ensemble des campagnes. Ces basses températures limitent de la croissance de la végétation au moment où l'humidité du sol est relativement plus disponible (Figure 2). La pluviométrie est quantitativement très variable au cours des années d'expérimentation. Ainsi le cumul au cours de la période septembre - août varie de 338.0 à 422.8mm, respectivement pour les campagnes 2005/06 et 2008/09. Les mois les plus pluvieux sont tantôt septembre, tantôt janvier, tantôt mars, avril ou bien mai. Les mois les plus secs sont invariablement juin, juillet, et août (Figure 2).

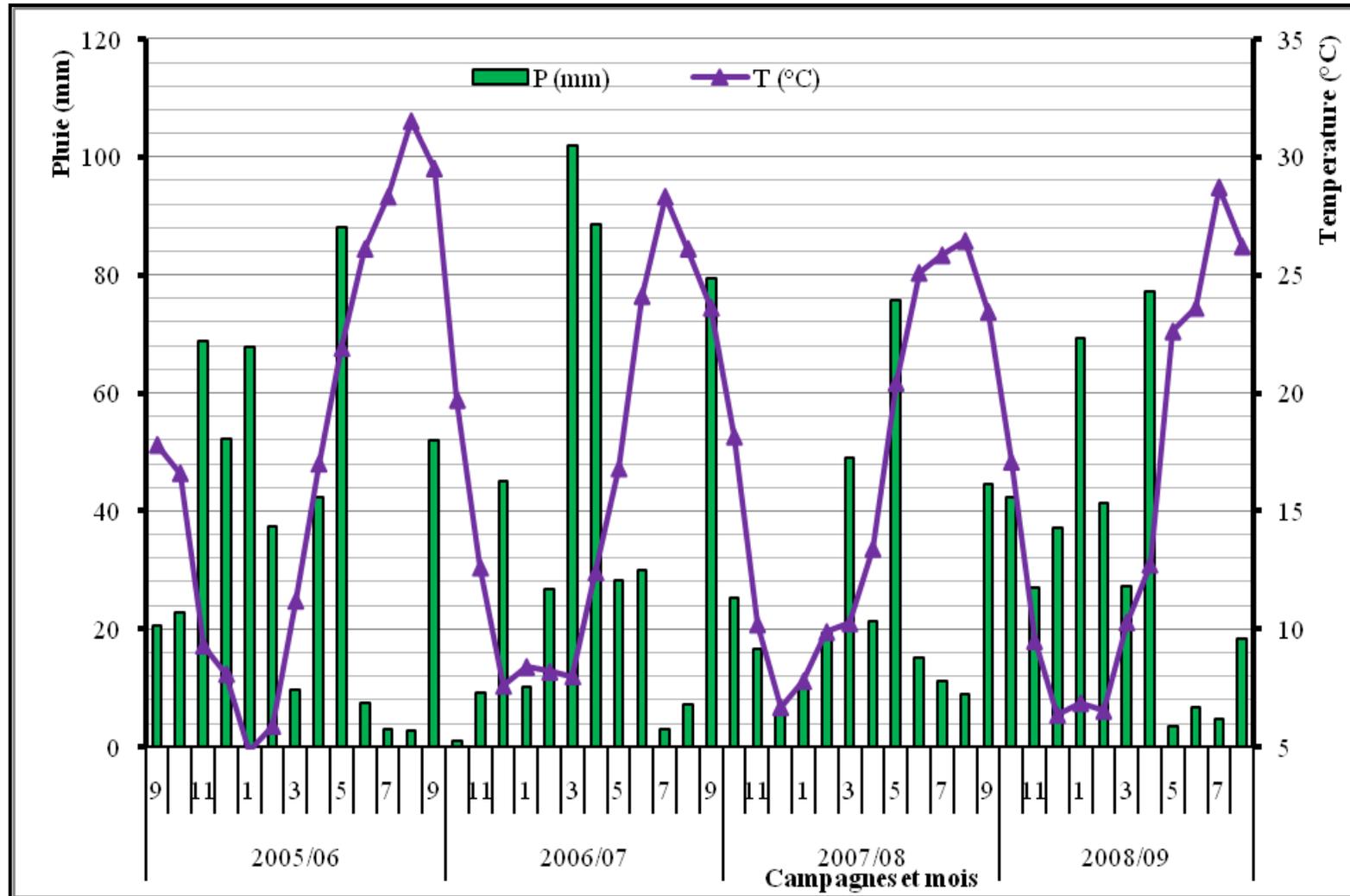


Figure 2. Pluviométrie et température moyenne mensuelle enregistrées sur le site expérimental de la Station ITGC de Sétif au cours des 4 campagnes de l'étude.

4. Dispositif expérimental et conduite de l'essai

Le matériel végétal a été mis en place le 10 du mois d'octobre de la campagne 2005/06, sur des parcelles dont le précédent cultural est une jachère travaillée. Dans un dispositif de blocs complets avec 4 répétitions, constituée chacune de 4 sous blocs (Tableaux 2 et 3), avec 16 parcelles élémentaires par bloc. La parcelle élémentaire est constituée de 10 rangs de 2.5 m de long avec un espace inter- rangs de 0.20 m, soit une superficie parcellaire de 5 m². Les 6 rangs du milieu (3 m²) servent au suivi et à l'estimation de la matière sèche produite. Avant le semis, deux passages de cover-crop ont été réalisés. Le labour profond et les opérations culturales préparatoires du lit de semence ont été exécutés entre les mois de septembre et octobre.

Tableau 2. Espèce, numéro et nom des variétés évaluées et leur randomisation en plein champ

Espèce	Variété		Répétitions			
	Numéro	Nom	I	II	III	IV
Dactyle	1 ^a	Jana	13 ^b	30 ^b	47 ^b	60 ^b
	2	Medly	16	25	33	62
	3	Kasbah	5	28	48	49
	4	Delta-1	4	21	35	52
	5	Currie	3	29	38	63
	6	Porto	11	32	42	50
	7	Ottava	7	24	37	58
Fétuque	8	Tanit	6	20	41	61
	9	Sisa	14	19	40	51
	10	Flecha E ⁺	15	22	43	55
	11	Centurion	9	23	45	64
	12	Flecha E ⁻	2	27	44	59
	13	Lutine	10	18	36	57
	14	Fraydo	1	17	46	53

^a, ^b = respectivement numéros de la variété et de la parcelle élémentaire

Le semis a été réalisé manuellement, à raison de 20 kg ha⁻¹. 100 kg ha⁻¹ de superphosphate à 46% ont été appliqués, juste avant le semis, et 100 kg ha⁻¹ d'azote sous forme d'urée à 36% ont été appliqués au mois de février en pleine période de tallage. Le contrôle des mauvaises herbes a été réalisé manuellement tout le long du cycle, ainsi que par application de l'herbicide Zoom (4.1% *Trisulfuron* + 65.9% *Dicamba*) à raison de 120 ml ha⁻¹, le 15 du mois de mars 2006, suivie par des opérations de désherbages manuelles entre fin mars - début avril pour éliminer les espèces résistantes (renouée, liseron, véronique, raygrass, avoine et orge).

Pour avoir une meilleure installation des espèces ensemencées, des apports d'eau par aspersion ont été réalisés les mois de mai et juin de la première année d'expérimentation. De même, durant les deuxième, troisième et quatrième années d'expérimentation, 100 kg ha⁻¹ d'azote, sous forme d'urée à 36%, ont été appliqués au mois de mars, en début de la période de croissance active de la végétation. Le contrôle des mauvaises herbes est réalisé par application de l'herbicide Zoom, suivie par des désherbages manuels pour éliminer surtout la folle avoine (*Avena fatua* L), et le ray gras (*Lolium rigidum* L.), apparaissant plus tardivement.

Tableau 3. Dispositif expérimental de simple lattices employé en expérimentation

		Répétition I				Répétition III			
Bloc 1	Plot	1	2	3	4	33	34	35	36
	Variété	14 ^a	12	5	4	2	X	4	13
Bloc 2	Plot	5	6	7	8	37	38	39	40
	Variété	3	8	7	X	7	5	X	9
Bloc 3	Plot	9	10	11	12	41	42	43	44
	Variété	11	13	6	X	8	6	10	12
Bloc 4	Plot	13	14	15	16	45	46	47	48
	Variété	1	9	10	2	11	14	1	3
		Répétition II				Répétition IV			
Bloc 1	Plot	17	18	19	20	49	50	51	52
	Variété	14	13	9	8	3	6	9	4
Bloc 2	Plot	21	22	23	24	53	54	55	56
	Variété	4	10	11	7	14	X	10	X
Bloc3	Plot	25	26	27	28	57	58	59	60
	Variété	2	X	12	3	13	7	12	1
Bloc 4	Plot	29	30	31	32	61	62	63	64
	Variété	5	1	X	6	8	2	5	11

5. Notations réalisées

Elles ont porté sur :

➤ La hauteur de la végétation, prise 4 fois en diagonale sur les quatre lignes médianes de la micro-parcelle, avant chaque coupe, elle constitue ainsi ce qui est appelé hauteur de végétation au moment de la fauche (Lelièvre et Volaire, 1993). La hauteur prise avant la fauche automnale est notée H₁, celles prises avant les fauches printanière et estivale sont notées H₂ et H₃.

➤ L'estimation du rendement fourrager (matière fraîche et sèche), est effectué par saison: automnale, printanière et estivale (cas de la deuxième année d'expérimentation, 2006/07). Le rendement fourrager par cycle est la somme des rendements saisonniers. La fauche de l'ensemble de l'essai est réalisée dès que 4 variétés au moins ont atteint le stade

épiaison. La fauche est faite sur les 6 lignes du milieu (3 m²), les lignes extérieures sont utilisées pour la datation de l'épiaison des variétés tardives (Figure 3).



Figure 3. Etat de la végétation après la coupe printanière

➤ Le taux de croissance relative (TCR) est estimé par le rapport de la différence entre les quantités de matière sèche accumulée à deux dates différentes, transformées en naturel (ln), sur la durée en jours calendaires séparant les deux dates d'échantillonnage considérées, selon la procédure décrite par Wilhelm et Nelson (1978):

$$TCR(g / kg / j) = \left(\frac{\ln MS_2 - \ln MS_1}{T_2 - T_1} \right)$$

L'estimation de la matière sèche est faite à partir de la fauche d'un segment de rang long de 0.30 m, dont la matière fraîche (échantillon de 100 g) est séchée dans une étuve ventilée dont la température est fixée à 85°C pour une durée de 36 heures pour en déduire la matière sèche.



Figure 4. Etat de la végétation au mois d'août de la première année d'installation

➤ La surface moyenne de 10 feuilles (SF_{10}) est estimée à partir de la longueur (L) et de la plus grande largeur (l) d'un échantillon de 10 feuilles entièrement développées. SF_{10} est déduite par le produit:

$$SF_{10}(cm^2) = 0.607(L \times l)$$

où L = est la longueur totale des feuilles exprimée en cm, l = est la plus grande largeur moyenne des 10 feuilles échantillonnées, et 0.607 est le coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit (L x l).

➤ La date d'épiaison correspond au nombre de jours calendaires comptés du premier janvier à la date d'apparition de la panicule (NJE). Le début de l'épiaison est noté dès la sortie de la première panicule, lorsque 50% des plantes ont épié, la date est prise comme celle de l'épiaison de la variété considérée.

➤ Le taux de recouvrement des rangs par la végétation est estimé en pourcentage de nombre de plants installé après semis. Il est noté après chaque fauche saisonnière (automnale, printanière et estivale).

➤ La persistance est estimée par la différence entre les taux de recouvrement mesurés au début et à la fin du cycle.

➤ La sénescence estivale est estimée visuellement en période estivale du pourcentage de feuilles sénescentes par parcelle élémentaire. La sénescence foliaire estivale est une manifestation de la dormance estivale.

➤ La conductance stomatique est un indicateur du taux de transpiration foliaire, c'est aussi un paramètre révélateur de l'état hydrique de la plante qui est directement lié aux échanges gazeux. La mesure de la conductance stomatique des feuilles a été effectuée avec un poromètre portable (AP4-UM-3) en pleine période de stress hydrique. Trois mesures (S/cm) ont été prises par parcelle élémentaires, sur trois limbes différents.

➤ Le ratio (RFT) du poids du feuillage (MSF) sur celui des tiges (MST) a été estimé lors de la fauche printanière, sur un échantillon fauché d'un segment de rang long de 0.30 m, de la première répétition. Le ratio est calculé par la formule:

$$RFT = MSF / MST$$

➤ La teneur relative en eau (TRE) est déterminée au début de la période estivale à partir d'un échantillon de 5 feuilles dont le poids frais initial (PF_i) est mesuré immédiatement après excision, le poids turgide (PT) est mesuré 2 heures après séjour de l'échantillon foliaire dans un tube à essai contenant 10 ml d'eau. Le poids sec (PS) est obtenu après passage de l'échantillon foliaire à l'étuve dont la température est fixée à 65°C pendant une durée de 24 heures. La TRE est déduite selon la formule mentionnée par DaCosta *et al.*, (2004):

$$TRE(\%) = 100 \left(\frac{PF - PS}{PT - PS} \right)$$

➤ Dosage de la proline est réalisé par la méthode de Trolle et Linsley (1955), modifiée par Dreier et Goring (1974) rapportée par Monneveux et Nemmar (1986). 100 mg, prélevés du tiers médian de la feuille, au début de l'été, sont placés dans des tubes à essai, auxquels 2 ml de méthanol à 40% sont ajoutés. Le tout est chauffé au bain- marie à 85 °C pendant 60 minutes. Après refroidissement on prélève 1 ml de l'extrait auquel on ajoute 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH) et 1 ml d'un mélange constitué de 120 ml d'eau distillée + 300

ml d'acide acétique + 80 ml d'acide ortho phosphorique (H_3PO_4) à densité de 1.7 + 25 mg de ninhydrine ($C_9H_6O_8$).

Le tout est porté de nouveau à ébullition durant 30 minutes, moment où la solution vire au rose. On laisse refroidir et on ajoute 5 ml de toluène. Dans chaque tube, il y a séparation en 2 phases : une aqueuse inférieure sans proline et une phase organique supérieure avec proline. On pipette la phase organique que l'on met dans des tubes propres contenant des pincées de Na_2SO_4 . On procède enfin à la détermination des densités optiques des échantillons par un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm. Les valeurs de la proline sont ensuite déduites de la courbe d'étalonnage dont l'équation de régression est :

$$Y(\mu g / gMF) = 0.112 + 0.143X \quad (R^2 = 0.8903)$$

Où y = la concentration en proline de l'échantillon et X = l'absorbance mesurée à 528 nm. Les valeurs sont portées en μg par gramme de matière fraîche.

➤ Les sucres solubles sont dosés selon la méthode de Schields et Brunet (1960). Des échantillons de 100 mg provenant du tiers médian foliaire sont mis dans des tubes à essai auxquels 3 ml d'éthanol à 80% sont ajoutés. Les échantillons sont laissés en l'état pendant 48 heures à température ambiante. Ensuite, 2ml d'extrait sont prélevés et placés dans des tubes à essai propres auxquels on ajoute 4 ml du réactif composé de 0.2 g d'anthrone pure additionné de 100 ml d'acide sulfurique pur (H_2SO_4).

Ce réactif est préparé 4 heures avant le dosage et entreposé au frais. Au cours de la réaction, le mélange extrait-réactif est maintenu dans de la glace fondante. Après agitation, on met les tubes au bain marie à 92 °C pendant 8 minutes, pour stopper la réaction. On retire les tubes du bain marie et on les place dans la glace fondante. Après refroidissement pendant 30 minutes, à l'obscurité, l'absorbance est lue au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 585nm. On utilise la courbe de l'étalonnage préalablement établie pour déduire le taux de sucre de l'échantillon.

➤ Le total des précipitations utilisées par la végétation (CWU), pris comme étant la somme de la transpiration (T) et l'évaporation du sol (E) a été estimé selon Chen *et al.*, (2003a):

$$CWU(mm) = P + ASW_{semis} - ASW_{fauche}$$

où

P = précipitations (mm),

ASW_{Semis} = humidité du sol disponible au semis ou à la reprise de la végétation après fauche,

ASW_{Fauche} = humidité du sol disponible au moment de la fauche.

L'eau consommée a été estimée grâce aux mesures de l'humidité du sol en début du cycle et à juste après la fauche avec une sonde neutronique (CPN Corp., Pacheco, CA). Les valeurs de lecture de la sonde sont calibrées avec l'humidité pondérale du sol au moment de l'implantation des tubes d'accès donnant la droite de régression suivante:

$$H(\%) = 0.0002 * lecture + 8.8013 \quad (R^2 = 0.8579)$$

Les lectures des différentes parcelles élémentaires sont traduites en pourcentage d'humidité du sol, puis la quantité d'eau disponible au moment de la lecture est déduite selon Duchauffour, (1997) par la formule :

$$Eau.disponible(mm) = [(Hx - H_{PF}) * h * da] / 100$$

avec Hx = humidité pondérale du sol au moment de la lecture (%), H_{PF} = humidité du sol au point de flétrissement (12%), h = profondeur de l'horizon en mm, da = densité apparente du sol du site expérimental (1.35 g cm^{-3}).

La transpiration (T, mm) de la végétation est déduite à partir de la matière sèche aérienne récoltée (MS, kg m^2), du déficit de pression de la vapeur (Δe , Pa) et du coefficient spécifique de la culture $k = 4.5 \text{ Pa}$, comme suit :

$$T(mm) = MS(\Delta e) / k$$

Δe est la moyenne des mesures journalières du déficit de saturation de la vapeur faites durant la période au cours de laquelle la matière sèche fauchée s'est accumulée. La pression de la vapeur saturante (e^*) est calculée selon Bolton (1980) et Mannam (2011) comme suit :

$$e^*(Pascals) = 610.7 * 10^{7.5t / (237.3+t)}$$

Où t est la température ambiante en °C. La pression de la vapeur d'eau à la température ambiante (e) est calculée par :

$$e(Pascals) = RH * e^*$$

Le déficit de saturation de la valeur (Δe) est la différence :

$$\Delta e(Pascals) = e^* - e$$

La composante E du total des précipitations utilisées est déduite par :

$$E(mm) = CWU - T$$

L'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE) est calculée par :

$$WUE(kg / ha / mm) = MS(kg / ha) / CWU(mm)$$

6. Analyse des données

Les données ont été analysées, selon le dispositif en blocs avec 4 répétitions, pour les variables mesurés une seule fois durant le cycle, et selon le dispositif split plot pour les variables mesurées plusieurs fois au cours du cycle. Les logiciels utilisés sont Cropstat 7.2.3. (2009) pour les analyses de la variance et Openstat (2009) pour le calcul des matrices de corrélations, des régressions et l'analyse en composantes principales. L'analyse en grappes (cluster) a été faite avec le logiciel Past (Hammer, 2001).

Le modèle additif de l'analyse de la variance, pour les variables analysées par saison est le suivant :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Où

Y_{ij} = valeur de la variable mesurée chez la variété i du bloc j

μ = moyenne générale de l'essai pour la variable analysée

α_i = effet de la variété i

β_j = effet du bloc j

ε_{ij} = erreur associée à la variété i du bloc j.

Le modèle additif de l'analyse de la variance des variables analysées sur l'ensemble des saisons est le suivant :

$$Y_{ij} = \mu + S_j + (S \times B)_{jk} + V_i + (S \times G)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Où

Y_{ij} = valeur de la variable mesurée chez la variété i du bloc j

μ = moyenne générale de l'essai pour la variable analysée

S_j = effet de la saison j

$(S \times B)_{jk}$ = interaction bloc x saisons ou erreur **a**

V_i = effet de la variété i

$(S \times G)_{ij}$ = interaction variété i avec la saison j

ε_{ijk} = résiduelle du modèle ou erreur **b**

Le squelette de la table de l'analyse de la variance du premier modèle est le suivant :

Sources	ddl	CME	Test F	Espérances moyennes
Bloc	b-1	Mb	Mb/Me
Variété	v-1	Mv	Mv/Me	$\sigma^2e + b\sigma^2v$
Erreur	(b-1)(v-1)	Me	--	σ^2e

Le squelette de la table de l'analyse de la variance du second modèle est le suivant :

Sources	ddl	CME	Test F	Espérances moyennes
Saison (S)	s-1	Ms	$Ms/M_{(S \times B)}$
S x B	s(b-1)	$M_{(S \times B)}$	$M_{(S \times B)}/Me$
Variété (V)	v-1	Mv	$Mv/M_{(S \times V)}$	$\sigma^2e + b\sigma^2_{(s \times v)} + bs\sigma^2_v$
S x V	(s-1)(v-1)	$M_{(S \times V)}$	$M_{(S \times V)}/Me$	$\sigma^2e + b\sigma^2_{(s \times v)}$
Erreur	Me	--	σ^2e

Le coefficient de corrélation est calculé par :

$$r = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \right) \left(\frac{Y_i - \bar{Y}}{S_y} \right)$$

Le test **t** a été utilisé pour déterminer la signification des coefficients de corrélation selon la formule suivante attribuée à Student par Steel et Torrie (1982) :

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

à comparer au t de table avec n-2 degrés de liberté.

Pour l'analyse de la régression le modèle linéaire est le suivant :

$$Y_i = \alpha + \beta x + \varepsilon$$

où α et β sont des paramètres, α est l'ordonnée à l'origine et β est le coefficient de régression. ε est la résiduelle du modèle additif. Le test t est utilisé pour tester la signification du coefficient de régression ; il est déterminé comme suit, selon Steel et Torrie (1982) :

$$t_{obs} = \frac{b}{ET(b)}$$

à comparer au t de table avec les degrés de liberté de la résiduelle de la régression

L'analyse en composantes principales est tentée sur la base de la matrice des coefficients de corrélation pour mieux visualiser les relations liants les différents paramètres mesurant la tolérance et ainsi typer les différents génotypes évalués. L'objet de la classification (*cluster analysis*) est de grouper les individus qui se ressemblent le plus, et classer les individus dissimilaires dans différents groupes. Cette méthode utilise le principe de l'analyse de la variance, c'est à dire que la distance qui sépare deux clusters est basée sur la somme des carrés des écarts (Delacy *et al.*, 1996).

L'analyse de la variance de la matière sèche produite par les différentes variétés au cours des différentes saisons est complétée par l'utilisation des indices qui informent sur la capacité de tolérance de la variété vis-à-vis des différents stress qui caractérisent la saison de production. L'analyse de la stabilité est approchée par le calcul de l'écovalence de Wricket

(1962), l'indice de la supériorité génotypique de Lin *et al.*, (1988a), la somme des classements ($\sum \text{rang}$) des rendements de Kang *et al.*, (1991) et l'indice de la tolérance au stress (S_{TI}) décrit par Fernandez (1992).

L'écovalence est calculée par :

$$W_i = \sum (Y_{ij} - Y_{i.} - Y_{.j} + Y_{..})^2$$

où W_i = écovalence de la variété i , Y_{ij} = valeur de la variété i , de la saison j , $Y_{i.}$ = effet moyen de la variété i , $Y_{.j}$ = effet moyen de la saison j et $Y_{..}$ = moyenne générale de l'ensemble des variétés et des saisons. La variété qui se distingue par un faible W est la plus stable.

L'indice P de Lin *et al.*, (1988a) est calculé comme suit :

$$P_i = \frac{\sum (Y_{ij} - Y_{pj})^2}{2n}$$

où Y_{ij} = rendement de la variété i de la saison j , Y_{pj} = rendement de la variété la plus performante au cours de la saison j , n = le nombre de saisons testées. La variété qui présente la valeur de P la plus faible est celle qui se caractérise par une production régulière et élevée.

La stabilité ou tolérance au stress est aussi approchée par la méthode de la somme des classements (\sum_{rank}) des performances de production de matière sèche selon la méthode décrite par Kang *et al.*, (1991). Dans cette méthode, les rendements de matière sèche de la saison j sont classés par ordre décroissant, la variété dont le rendement de matière sèche est maximal prend le classement 1. Les valeurs de la variance de Shukla (1972) des différentes variétés sont classées par ordre croissant. Le rang 1 est donné à la variété ayant la plus faible variance. La \sum_{rank} de Kang d'une variété est égale à la somme du rang du rendement en matière sèche et du rang de la variance des rendements en matière sèche (Kang *et al.*, 1991 ; Rose *et al.*, 2008). La variance (σ^2_i) de Shukla (1972) a été calculée par :

$$\sigma^2 = \left[\frac{P}{(P-2)(q-1)} \sum_{j=1}^q (Y_{ij} - Y_{i.} - Y_{.j} - Y_{..})^2 \right] - \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q (Y_{ij} - Y_{i.} - Y_{.j} + Y_{..})^2 \times \frac{1}{(p-1)(p-2)(q-1)} \right]$$

La somme des rangs est faite par variété sur l'ensemble des saisons. La variété qui présente la plus faible somme est la plus régulière du point de vue production de matière sèche.

L'indice de la tolérance au stress (STI) décrit par Fernandez (1992) est calculé par :

$$STI = \frac{(Y_F Y_S)}{Y^2_{.F}}$$

où Y_F = production obtenue en l'absence du stress, au cours de la saison de printemps, et Y_S = production obtenue sous stress, au cours de la 5^{ème} saison. $Y^2_{.F}$ = Le carré de la moyenne des rendements de l'ensemble des génotypes au cours de la saison favorable. Les génotypes, les plus performants en moyenne et stables, sont ceux qui ont une valeur élevée de l'indice STI.

La contribution de chaque variété à l'interaction est calculée selon la méthode décrite par Lin et Binns (1988b) par la formule suivante :

$$GEi = \left(\sum_{i=1}^n (Y_{ij} - Y_{i.} - Y_{.j} + Y_{..})^2 \right) / 2n$$

Où n est le nombre saisons durant lesquelles a eu l'évaluation.

L'indice de stabilité des performances de Bouslama et Schapaugh (1984) a été calculé par :

$$YSI = \frac{(Y_S)}{Y_F}$$

Les variétés qui se caractérisent par une valeur élevée de l'indice YSI se comportent mieux sous stress comparativement à leur comportement sous conditions relativement plus favorables, de telles variétés sont dites tolérantes.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. Etude de la variabilité des caractères d'intérêt fourrager

1. Le rendement en matière sèche

L'analyse de la variance de la matière sèche récoltée par saison indique des effets saison, variété et leurs interactions hautement significatifs (Tableau 4). L'effet saison est de loin celui qui produit la plus grande variation des quantités de matière sèche produites. En effet, sur les 8 saisons (printemps 2006, automne, printemps et été 2007, automne et printemps 2008 et automne et printemps 2009) qu'a duré l'étude, le rendement de matière sèche a varié de 0.43 à 2.28 t ha⁻¹.

Tableau 4. Carrés moyens de l'analyse de la variance de la matière sèche (MS, t ha⁻¹) récoltée par saison

Source	ddl	CME	F _{obs}	Prob
Bloc	3	0.07	4.08	0.01
Saison	7	21.84	630.23	0.00
Erreur (a)	21	0.03	1.92	0.01
Variété	13	0.67	37.20	0.00
Saison x variété	91	0.27	14.79	0.00
Erreur (b)	312	0.02		

Cette dernière performance a été obtenue au cours du printemps de la deuxième année d'installation. Pour le reste des saisons, le rendement fourrager varie de 0.43 à 0.94 t ha⁻¹, l'amplitude n'est pas significative comparée à la plus petite différence significative qui prend une valeur de 0.73 t ha⁻¹ (Tableau 5). Ce résultat indique que pour les espèces étudiées et en moyenne saisonnière, le milieu expérimenté présente une très faible capacité de production de matière sèche ne dépassant guère 1.0 t ha⁻¹. Ces performances sont faiblement liées ($P < 0.0941$) à la quantité de pluie enregistrée par saison. Le modèle de régression significatif au seuil de 10%, est le suivant : $MS (t ha^{-1}) = 0.00346(\text{Pluie}) + 0.19733$, avec un coefficient de détermination R^2 égale à 0.4014.

Tableau 5. Moyennes de la matière sèche (MS, t ha⁻¹) récoltée par saison

Saisons	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Ppds5%
MS (t ha ⁻¹)	0.94	0.55	2.28	0.76	0.46	0.58	0.43	0.76	0.73

Les valeurs moyennes saisonnières de matière sèche produite par variété varient de 0.54 pour Porto à 1.18 t ha⁻¹ pour Flecha. Le total de matière sèche réalisé par variété varie de 4.30 à 9.47 t ha⁻¹ pour les mêmes variétés (Tableau 6). Ces résultats indiquent la faible performance de Porto et la supériorité de Flecha. L'interaction indique des changements de

classement chez les différentes variétés selon les saisons. Ainsi sur les 8 saisons que compte l'étude, les cultivars Flecha et Fraydo occupent une des trois premières positions par 6 fois. Par contre, le cultivar Porto occupe la dernière position par 5 fois sur 8. Ces résultats indiquent l'adaptation, toute relative, à l'environnement testé, des cultivars Flecha et Fraydo comparativement aux autres cultivars évalués. Ces deux variétés se caractérisent par des performances moyennes à élevées par saison et par cycle de culture (Figure 5). En deuxième position viennent les cultivars centurion et Flecha endophyté, qui sont suivis par Kasbah et Medly (Figure 5).

Tableau 6. Moyennes saisonnières et par cycle de la matière sèche (MS, t ha⁻¹) produites par variété

Variété	Jan	Med	Kas	Del	Cur	Por	Ott	Ppds5%
MS saison (t ha⁻¹)	0.82	0.87	0.87	0.74	0.70	0.51	0.77	0.07
MS totale (t ha⁻¹)	6.56	6.98	6.98	5.95	5.60	4.30	6.13	
Variété	Tan	Sis	E+	Cen	Fle	Lut	Fra	Ppds5%
MS saison (t ha⁻¹)	0.81	0.85	1.00	0.97	1.18	0.81	1.09	0.07
MS totale (t ha⁻¹)	6.48	6.76	7.98	7.78	9.47	6.47	8.69	

Le rendement de matière sèche est une importante caractéristique déterminante dans le choix variétal. Van Wijk *et al.*, (1993) mentionnent que le rendement de matière sèche augmente annuellement de 5% et que cette amélioration est principalement due à la plus grande persistance des nouvelles variétés mises sur le marché et de bonnes performances au cours de la troisième et quatrième année de mise en culture. Dans la présente étude, de grandes différences existent, en matière de rendement de matière sèche, entre les variétés étudiées. Ces différences émergent suite à des différences de rendement par coupe et à des différences de comportement selon les années.

Selon Gowen *et al.*, (2003), les génotypes précoces sont généralement plus productifs lors des premières coupes, alors que les génotypes tardifs, le sont au cours des coupes les plus tardives. O'Donovan (2001) mentionne que le rendement de matière sèche est affecté par la densité de la végétation. Cette dernière est généralement liée à la densité des talles montantes par unité de surface. Le rendement de matière sèche est affecté aussi par la structure de la végétation au moment de la coupe. Selon Gilliland *et al.*, (2002), la coupe d'une végétation plus jeune, n'ayant pas atteint le stade épiaison, produit un fourrage constitué essentiellement de limbes foliaires et de pseudo talles, alors que la coupe d'une végétation plus mature produit un fourrage plus grossiers constitué de talles plus rigides et plus lignifiées et donc présentant un poids quantitatif plus important, sans pour autant être de meilleure qualité.

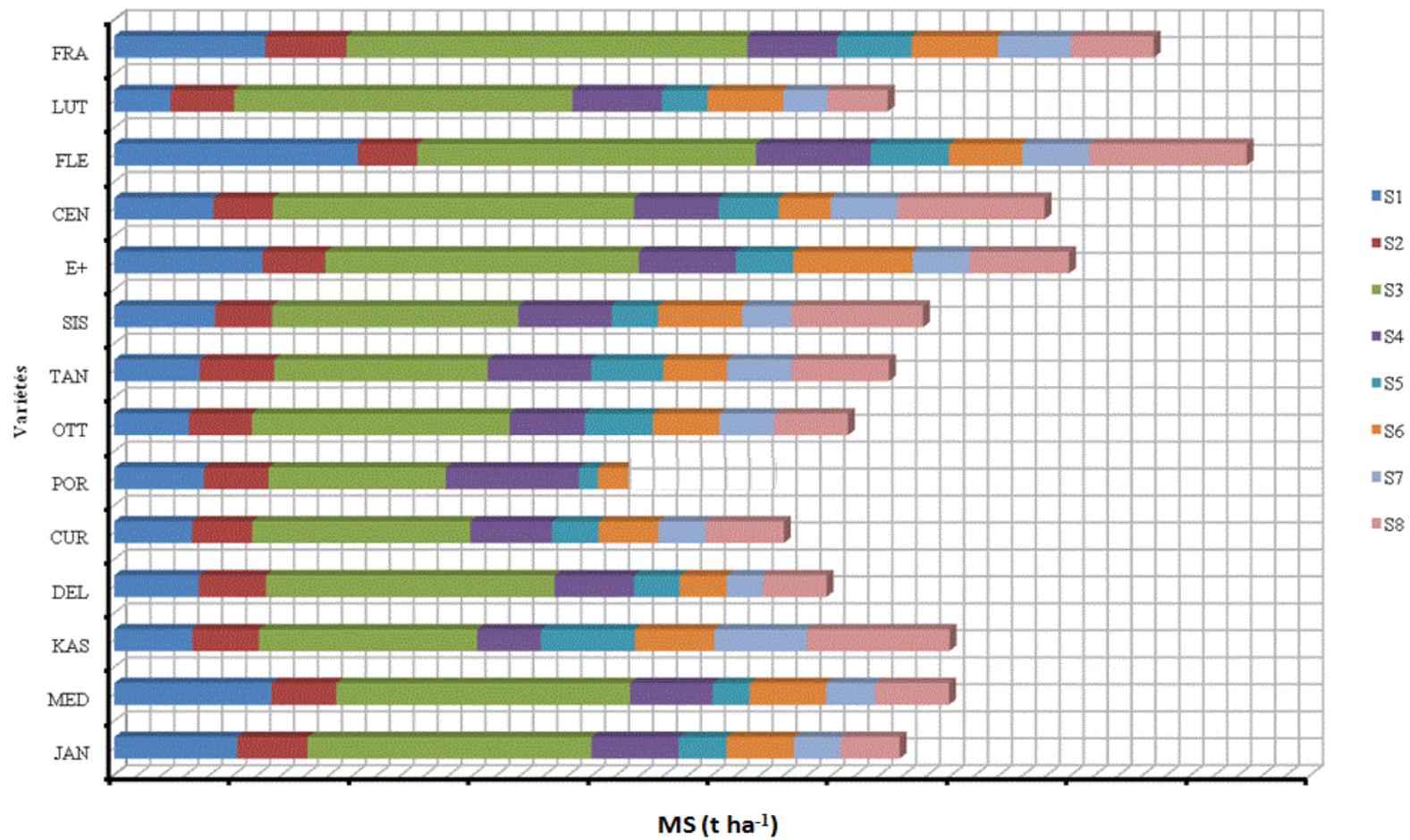


Figure 5. Variation de la quantité de matière sèche récoltée selon les saisons et les variétés ($ppds_{5\%} = 0.18 \text{ t ha}^{-1}$)

Le groupage des différentes variétés sur la base du degré de ressemblance en matière de production de matière sèche lors des différentes coupes réalisées, fait ressortir quatre groupes assez contrastés (Figure 6). Ces groupes sont formés par Porto (G1) ; Centurion, Flecha endophytée, Lutine et Medly (G2) ; Kasbah, Tanit, Jana, Delta, Currie et Ottava (G3) et le groupe 4 est constitué des variétés Sisa, Flecha non endophytée et Fraydo (Figure 6). Les différences entre groupes de variétés apparaissent au niveau des moyennes de matière sèche produite par coupe où le cultivar Porto est le moins productif, avec une moyenne de toutes les coupes réalisées de 0.51 t ha^{-1} , alors que les moyennes des autres groupes de variétés varient de 0.88 t ha^{-1} pour le groupe G₂ à 1.12 t ha^{-1} pour le groupe G4 (Figure 7).

Les variétés du groupe G4 présentent, en plus de la moyenne la plus élevée, les valeurs maximale et minimale les plus élevées de matière sèche produite par coupe. Les variétés du groupe G3 sont les moins variables du point de vue production de matière sèche d'une coupe à l'autre. En effet, les variances des quatre groupes de variétés sont égales à 0.31, 0.57, 0.27 et 0.69 respectivement pour les quatre groupes dans cet ordre.

Du point de vue sélection, il est important d'avoir des variétés qui produisent, certes plus, mais aussi qui soient plus régulières dans le temps du point de vue production de matière sèche. Dans la mesure où la sélection est pratiquée dans un environnement variable, où l'eau est un facteur très limitant de la production de matière sèche, il est intéressant de connaître quelle est la saison qui détermine le plus la production de matière sèche chez les différents cultivars testés.

Les moyennes de la matière sèche produite par saison sont égales à 0.48, 0.74 et 1.22 t ha^{-1} , respectivement pour les saisons d'été, d'automne et de printemps. Les variances respectives de ces saisons sont égales à 0.035, 0.033 et 0.91. Ces résultats suggèrent que la saison la plus propice à des performances élevées de matière sèche est la saison du printemps. En même temps, c'est aussi cette saison qui est la source de la plus grande variation des rendements de matière sèche.

Ces résultats indiquent aussi que la performance n'est pas liée à la régularité de la production de matière sèche. La classification des variétés testées selon les performances printanières présente trois groupes contrastés qui sont Jana, Delta, Currie, Ottava, et Porto du groupe G1, Kasbah, Tanit, Sisa, Medly, Flecha endophytée et Lutine formant le groupe G2 et

le groupe G3 est constitué par les génotypes formant le groupe G4 précédent : Fraydo, Centurion et Flecha non endophytée (Figure 8).

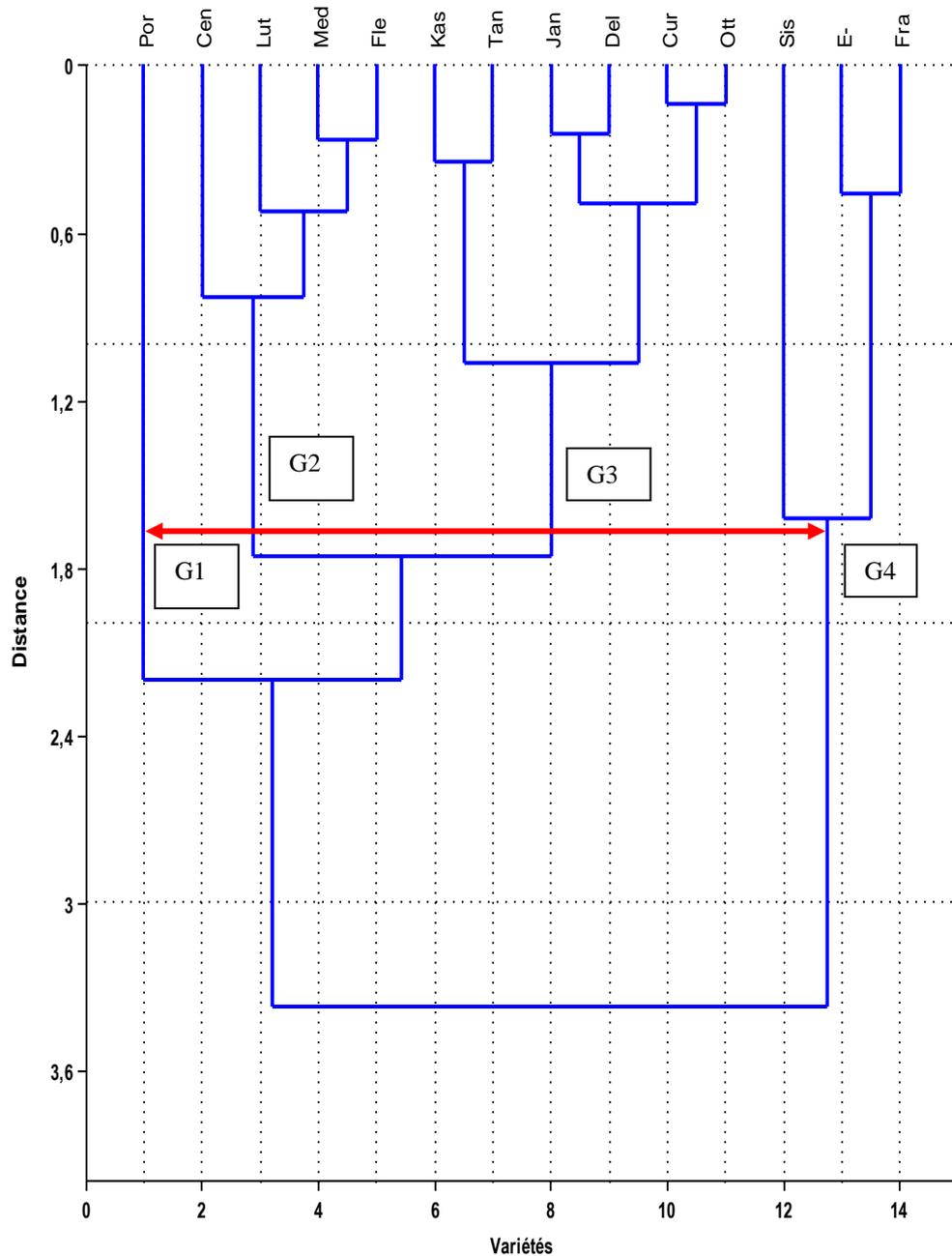


Figure 6. Groupage des variétés en fonction de la variation des rendements de matière sèche des différentes coupes.

Ces résultats indiquent que les variétés du groupe G3 doivent leurs performances globales à celles réalisées au cours du printemps, ce qui ne semble pas être le cas pour les

génotypes des autres groupes. La sélection pour de meilleures performances au cours du printemps est intéressante à plus d'un titre. En premier lieu, le climat et notamment la pluviométrie et les températures sont moins contraignantes au cours de cette saison comparativement aux saisons d'été et d'automne. De plus, à la fin du printemps les conditions climatiques sont aussi favorables pour conditionner le fourrage produit, sous forme d'ensilage, de foin ou par pâturage.

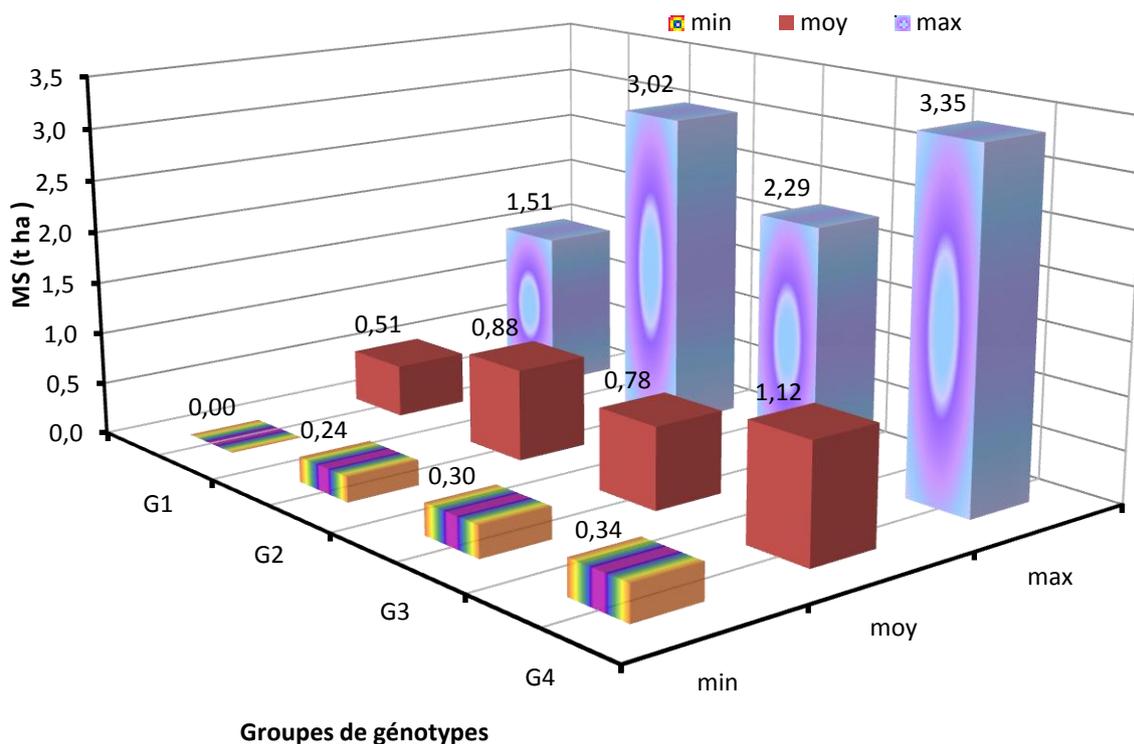


Figure 7. Variations des performances de matière sèche selon les coupes des différentes variétés groupées selon leur degré de ressemblance.

Porqueddu *et al.*, (2008) mentionnent que le rendement de la première année d'installation était affecté par la sécheresse précoce et que les rendements de la deuxième et la troisième année étaient plus satisfaisants, notamment celui des variétés de féтуque comparativement aux variétés de dactyle. Ces auteurs notent une reprise rapide à la fin de l'été - début automne ainsi qu'une croissance relativement élevée au cours de l'hiver chez les variétés Tanit, Flecha et Kasbah. La croissance en hiver sous basses températures est une importante caractéristique dans ces milieux où la fourniture d'un fourrage vert est très limitée, substituée surtout par des apports d'aliments grossiers et par du concentré. Parmi les dactyles Porto est le plus tardif alors que Kasbah est le plus précoce.

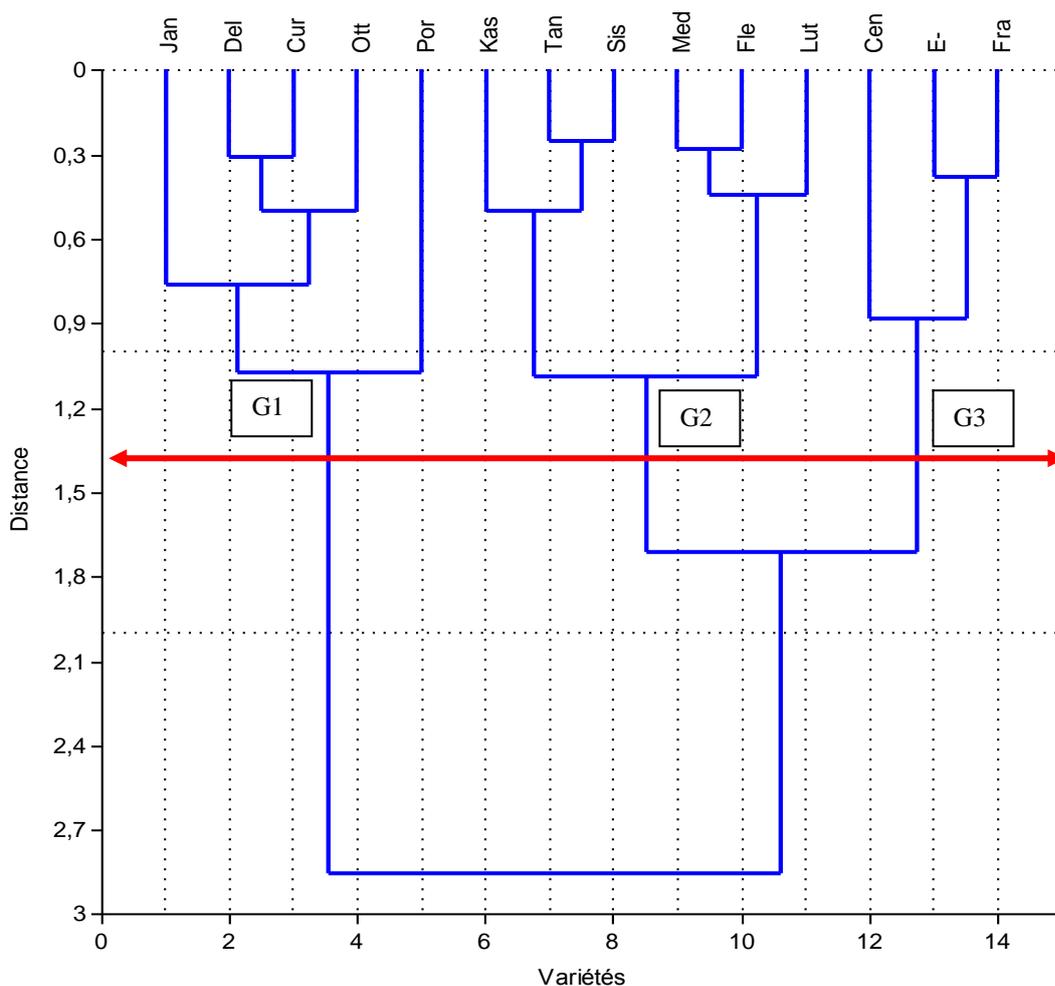


Figure 8. Groupage des variétés en fonction de la variation des rendements de matière sèche des coupes de printemps.

2. La hauteur de la végétation et la précocité à l'épiaison

Mesurées juste au moment de la coupe, la hauteur de la végétation montre une grande variation selon les saisons, les génotypes et les espèces (Figure 9, Tableau 7). Les plus faibles hauteurs sont mesurées à la sortie de l'automne et les plus élevées sont mesurées à la fin du printemps. L'étude de la hauteur moyenne par variété, moyenne des hauteurs des huit saisons étudiées, montre peu de différences entre variétés et espèces. Cette moyenne varie de 12.5 cm pour Porto à 29.7 cm pour Fraydo. Par contre, les moyennes maximales montrent que les fétuques sont en générale plus hautes que les dactyles. Chez les premières, Fraydo et Flecha non endophytée présentent les hauteurs les plus importantes avec des valeurs de 111.5 et

114.3 cm, respectivement, lutine est la plus courte. Par contre chez les dactyles, les variétés les plus hautes sont Jana et Medly et les plus courtes sont porto et Currie (Figure 9, Tableau 7).

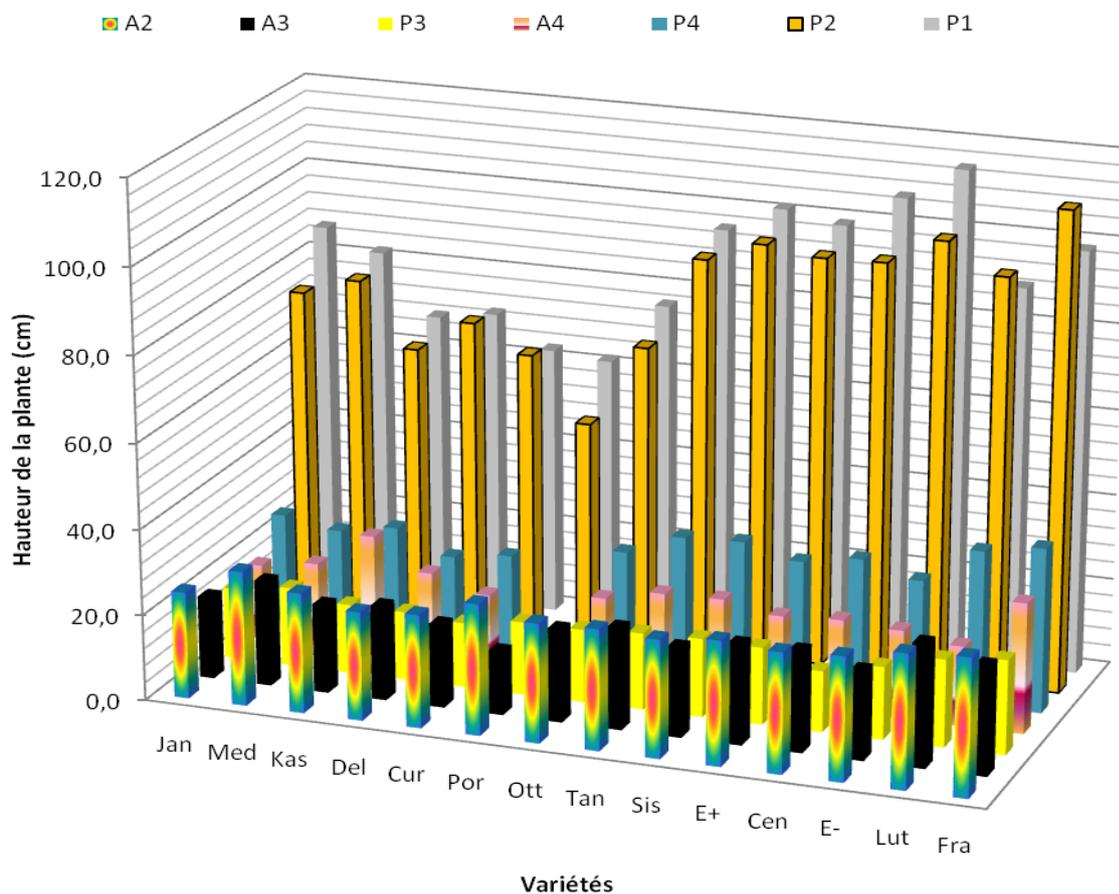


Figure 9. Variation de la hauteur de la végétation des différentes variétés au cours des différentes saisons étudiées.

Mesurées uniquement au cours de la saison de printemps, la durée au stade épiaison est très variable (Figure 10, Tableau 7). En année à épiaison tardive, à cause des basses températures, Flecha endophytée, Flecha non endophytée et Centurion sont les plus précoces avec une durée de 123, 127 et 128 jours, respectivement (Tableau 7). En année plus précoce, Flecha endophytée et Flecha non endophytée ainsi que Fraydo et Medly sont les plus précoces avec des durées de 95.0 à 98.0 jours (Tableau 7).

Tableau 7. Variation de la hauteur de la végétation et de la durée à l'épiaison des différentes variétés.

Var	HT (cm)			Epiaison (j)		
	Moyenne	min	Max	Moyenne	min	max
Jan	20.8	16.7	86.6	123.1	103.8	136.3
Med	23.5	18.5	81.9	116.2	97.0	140.0
Kas	23.7	16.2	68.0	116.4	99.5	132.5
Del	20.9	16.1	71.8	123.9	110.0	139.5
Cur	20.1	15.2	65.7	120.3	101.5	134.5
Por	12.5	0.0	61.7	113.1	101.0	136.3
Ott	22.5	17.1	76.1	119.1	102.3	132.8
Tan	24.7	17.9	95.3	122.1	104.8	137.8
Sis	24.3	18.3	101.5	117.5	101.3	133.3
E+	24.0	18.0	99.0	112.6	95.0	128.3
Cen	23.7	14.2	106.6	117.6	104.0	127.8
E-	23.0	17.0	114.3	110.3	97.8	123.3
Lut	27.1	18.7	95.1	123.6	104.0	140.0
Fra	29.7	22.0	111.5	114.6	98.3	136.0
Moyenne	22.9	16.1	88.2	116.5	94.2	134.1
PPds5%						

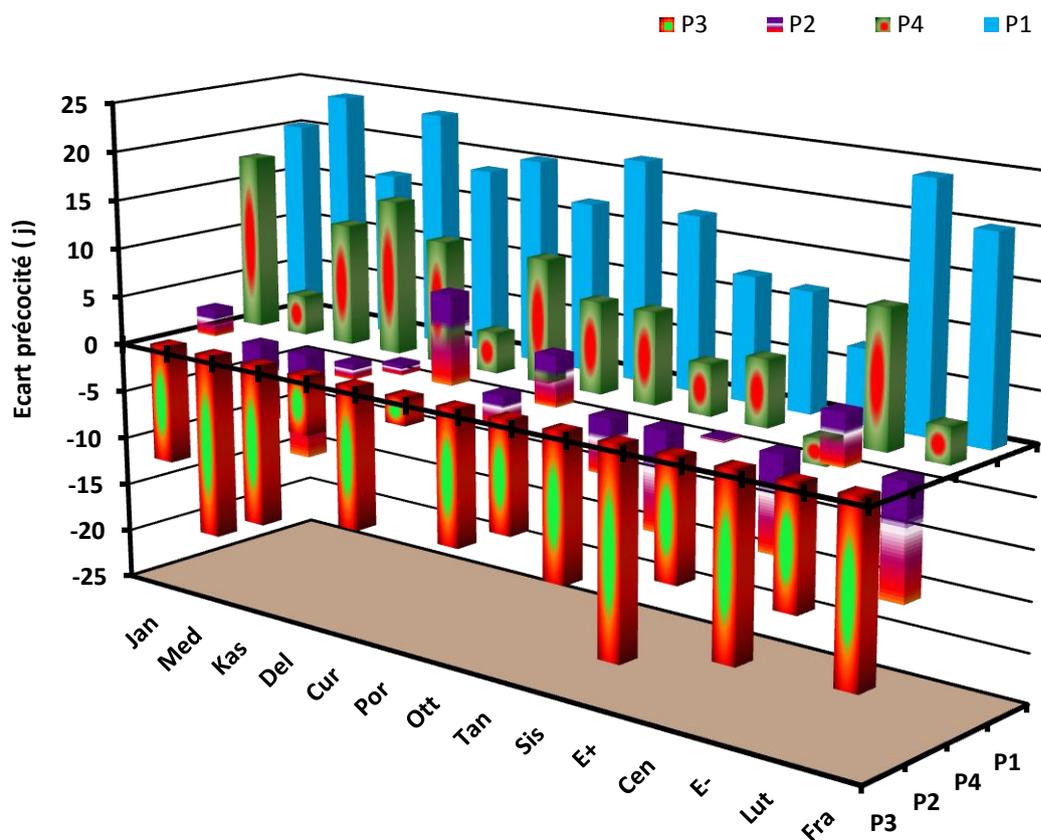


Figure 10. Variation de la précocité à l'épiaison (écart en jours de la moyenne général = 116 jours) des différentes variétés au cours des différentes saisons de printemps étudiées.

La hauteur de la végétation à la période de coupe est directement liée au niveau de production de la variété. L'élongation de la tige est lente au début de chaque cycle, où les différences entre espèces sont relativement faibles. L'élongation devient plus élevée, en fin de cycle où les fétuques expriment une meilleure réponse aux conditions environnementales que les dactyles. Les valeurs enregistrées lors de la présente étude apparaissent bien supérieures à celles relevées par Mousset (1992) qui obtint une moyenne de 42 cm sur des populations de dactyles de la sous espèce *hispanica* et 45 cm sur des populations de la sous espèce *glomerata* durant la première année d'expérimentation. Mousset (2000) fixe la période de la coupe entre une hauteur de végétation de 30 cm qui signifie le début du pâturage et le début épiaison qui est considéré comme la meilleure période pour l'ensilage.

Volaire (1991) suggère l'existence d'une forte corrélation entre la hauteur de la végétation, la vigueur de végétation et le recouvrement des parcelles. Duru et Ducrocq (1998) indiquent que la mesure de la hauteur de l'herbe n'est pas suffisante pour prédire la quantité d'herbe. Ces auteurs affirment que pour une hauteur donnée, la quantité de l'herbe produite dépend à la fois de la structure horizontale (densité de couverture au sol) et de la structure verticale (répartition de la biomasse dans les différents horizons) de la prairie.

Une réduction de la taille pourrait être associée à une augmentation du nombre de talles par plante (Horst *et al.*, 1978), améliorant ainsi la persistance sous pâturage des plantes courtes et prostrées aux talles nombreuses (Hazard *et al.*, 2001). Par ailleurs, si la fétuque élevée épie plus haut que le dactyle, sa hauteur définitive est également supérieure, de sorte que le délai entre épiaison et floraison est plus long (Gillet, 1980).

La précocité de la floraison est considérée par plusieurs auteurs comme une réponse adaptative des individus aux pressions subies (régime de défoliation, pâture, stress hydrique et autres stress). Selon Olson *et al.*, (2005), les variétés précoces sont plus adaptées à la fauche alors que les tardives le sont pour la pâture. Mousset *et al.* (1992) affirment que les dactyles précoces sont plus productifs. La précocité affecte la pérennité, la résistance à la sécheresse et la quantité des réserves glucidiques stockée (Brown, 1982).

Hazard *et al.* (2006) ont mis en évidence l'existence d'une corrélation négative entre la hauteur et l'épiaison chez le raygrass. Volaire et Lelièvre (1997) indiquent que les variétés précoces montrent une meilleure capacité de survie aux sécheresses estivales successives mais

leur potentiel de croissance et de développement est généralement plus faible. L'analyse des données de l'étalement de la période levée-épiaison indique une large gamme de précocité à l'intérieur des espèces étudiées. Les variétés de fétuque sont montrées plus précoces. Ce caractère, qui dépend du génotype et du milieu, est plus important chez la fétuque (Le Floch et Mouchet, 1979).

Ces résultats suggèrent différentes possibilités d'exploitations selon le degré de précocité de chaque variété. Les variétés précoces constituent un matériel végétal adapté pour les mélanges avec les légumineuses qui sont connues en générale pour leur floraison plus précoce par rapport aux graminées, et qui seront destinées à la production de foin. Par contre, les variétés à épiaison tardive sont plus indiquées pour la production du vert car cette dernière caractéristique fait que la période végétative est plus longue et donc la période d'exploitation est plus étalée, et peuvent servir ainsi pour l'ensilage.

3. La surface foliaire (SF), la croissance relative (TCR) et la persistance de la végétation (%Rec)

Mesurée sur un échantillon foliaire de 10 feuilles, prises au hasard par génotype, la surface foliaire moyenne varie fortement entre génotypes et saisons. En effet les valeurs minimales varient de 25.1 cm² pour Flecha endophytée à 56.2 cm² pour Medly, alors que les valeurs moyennes varient de 42.7 cm² pour Kasbah à 81.5 cm² pour Lutine. Les valeurs maximales quant à elles varient de 60.5 cm² pour Kasbah à 140.7 cm² pour Lutine et Sisa (Tableau 8, Figure 11).

La variation entre saisons et génotypes est plus importante chez les fétuques que chez les dactyles (Figure 11). En effet les valeurs moyennes minimales les plus faibles et les valeurs moyennes maximales les plus élevées sont notées chez les génotypes de fétuque. Fraydo, Lutine et Sisa sont les génotypes de fétuque qui présentent la plus grande variation de la surface foliaire en fonction des saisons et chez les dactyles ce sont les génotypes Porto et Currie qui présentent cette caractéristique (Tableau 8, Figure 11). Smit *et al.*, (2005) trouvent une plus grande proportion de limbe foliaire chez les variétés tardives comparativement aux variétés précoces. Ces auteurs observent de grandes différences en ce qui concernent le feuillage sénescant, qu'ils attribuent en parti aux attaques de rouilles et à la disponibilité de l'humidité du sol (sécheresse). En revanche, Lemaire (1991), indique que la production d'un peuplement prairial peut être définie comme la quantité de matière sèche produite par une

surface. Selon Arrandea (1989), la réduction de la surface foliaire tend à minimiser les pertes d'eau par transpiration, mais elle peut aussi provoquer une diminution du rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique (Bidinger et Witcombe, 1989). La longueur des feuilles est considérée par Mousset *et al* (1992) et Volaire (1991) comme une caractéristique de l'espèce.

L'analyse des valeurs moyennes minimales du taux de croissance relative indique que l'ensemble des génotypes de dactyle, hormis les cultivars Currie et Ottava, présentent un faible taux de croissance relative. Chez les fétuques, seule la variété Flecha non endophytée présente la caractéristique d'un faible taux de croissance relative (Tableau 8, Figure 12). Les valeurs moyennes du taux de croissance relative montrent que chez les fétuques, Sisa, Centurion et Lutine ont la moyenne du TCR la plus élevée, alors que chez les dactyles c'est Porto et Ottava. Pour les valeurs moyennes maximales, Ottava, Sisa et Centurion présentent les plus fortes valeurs de la croissance relative (Tableau 8, Figure 12).

Wilhelm et Nelson (1978) mentionnent que les variétés qui produisent un rendement élevé de matière sèche se distinguent par une croissance foliaire rapide. Ceci donne aux génotypes un avantage marqué vu que le feuillage est une composante de la matière sèche récoltée. En revanche, Niemann *et al.*, (1992) indiquent que les espèces présentant un faible taux de croissance relative sont celles qui accumulent le plus de lignine, d'hémicellulose et de sucres insolubles, à l'inverse des espèces qui présentent un taux de croissance relative élevé, qui accumulent plutôt des composés riches en azote, tels que les acides organiques

L'analyse du taux de recouvrement du sol par la végétation ou persistance indique que les génotypes Kasbah, Tanit et Flecha endophytée et non endophytée sont ceux qui présentent un taux de recouvrement minimal supérieur à 48%. Porto est le génotype le moins persistant, dont la végétation disparaît complètement au terme de la quatrième saison de mise en exploitation (Tableau 8). En moyenne les génotypes qui montrent une meilleure persistance sur les huit saisons, durée de l'étude, sont Flecha non endophytée et Kasbah (Tableau 8, Figure 13). Ce taux de recouvrement est utilisé pour corriger la capacité de production fourragère de chaque variété en fonction de son installation. Il est aussi utilisé pour évaluer la persistance du couvert végétal installé.

Tableau 8. Variation de la surface foliaire (SF), du taux de croissance relative (TCR) et du taux de recouvrement (%REC) des différentes variétés.

Variétés	Surface foliaire (cm ² 10 feuilles)			Croissance relative (g kg ⁻¹ j ⁻¹)			Recouvrement (%)		
	Moy	Min	Max	Moy	min	Max	Moy	Min	max
Jan	58.6	51.2	68.4	23.4	6.5	39.3	59.1	46.5	72.4
Med	63.7	56.2	76.9	25.3	6.3	45.7	52.5	38.4	71.7
Kas	42.7	31.3	60.5	23.3	9.5	44.6	60.5	57.9	65.7
Del	65.4	50.0	78.7	30.7	3.8	51.3	51.2	42.6	61.0
Cur	79.2	44.9	102.6	29.3	12.6	43.8	52.6	45.1	64.4
Por	73.9	41.8	105.3	31.8	3.0	45.2	22.2	0.0	58.2
Ott	60.1	36.2	80.8	31.5	17.1	63.4	40.7	30.0	53.6
Tan	46.8	33.1	65.7	29.6	14.3	44.3	57.0	48.3	66.9
Sis	63.6	30.6	140.5	34.1	19.8	54.1	42.2	32.3	55.3
E+	45.8	25.1	77.5	27.8	15.3	38.9	54.1	49.8	58.8
Cen	48.1	29.8	80.6	35.6	11.6	63.0	55.3	43.4	67.6
E-	49.1	26.1	81.0	30.1	8.6	51.4	65.5	61.1	73.4
Lut	81.5	32.1	140.7	34.9	12.6	49.4	39.5	26.5	62.2
Fra	66.9	31.4	107.1	22.6	11.4	49.6	51.6	40.7	66.2
PPds5%	5.3	--	--	7.2	--	--	4.5	--	--

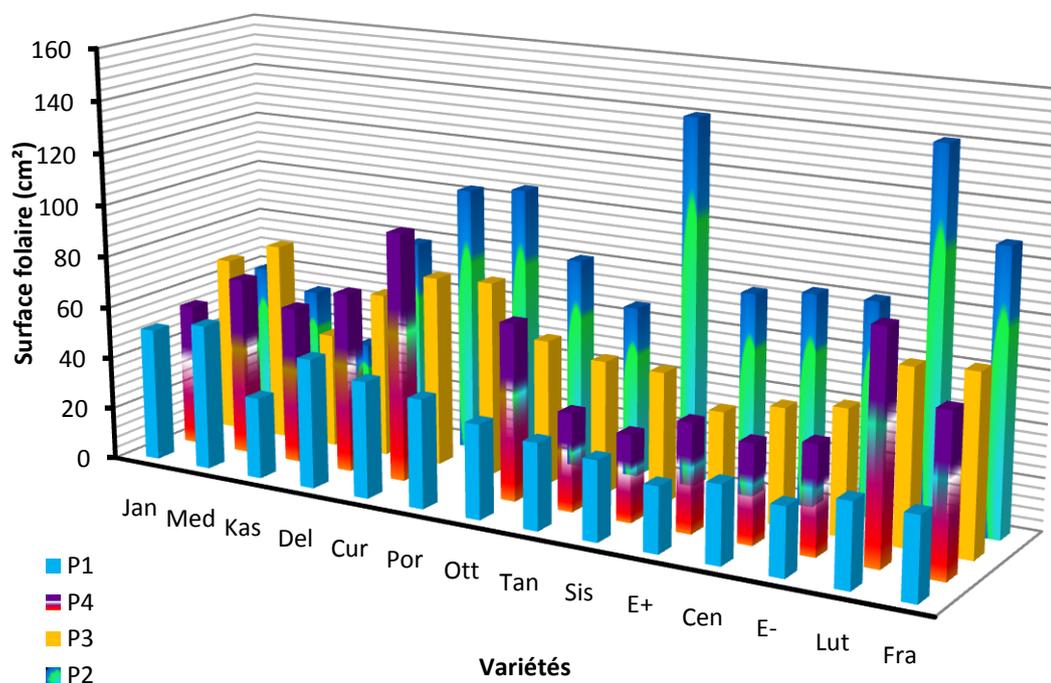


Figure 11. Variation du développement foliaire des différentes variétés au cours des différentes saisons étudiées.

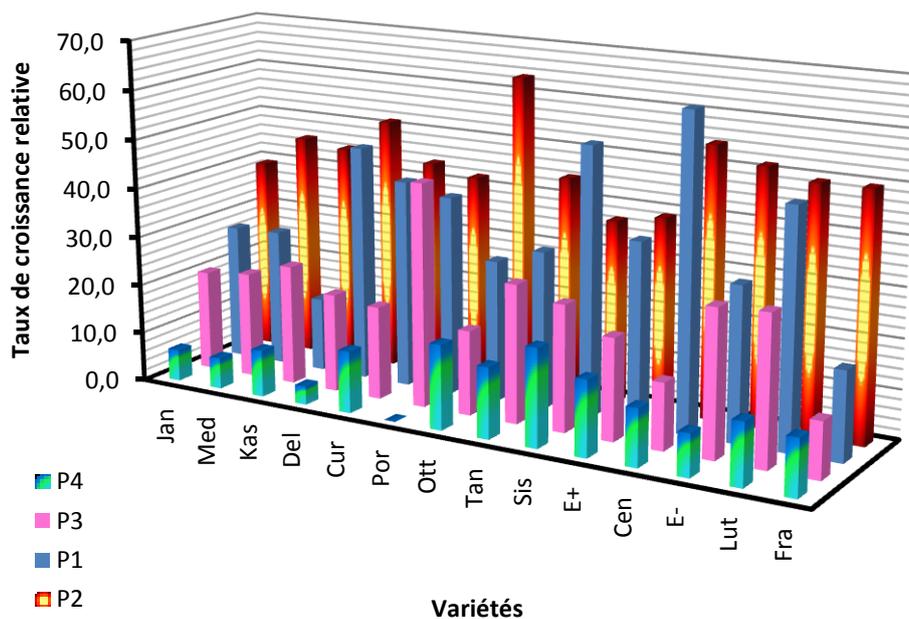


Figure 12. Variation du taux de la croissance relative des différentes variétés au cours des différentes saisons étudiées.

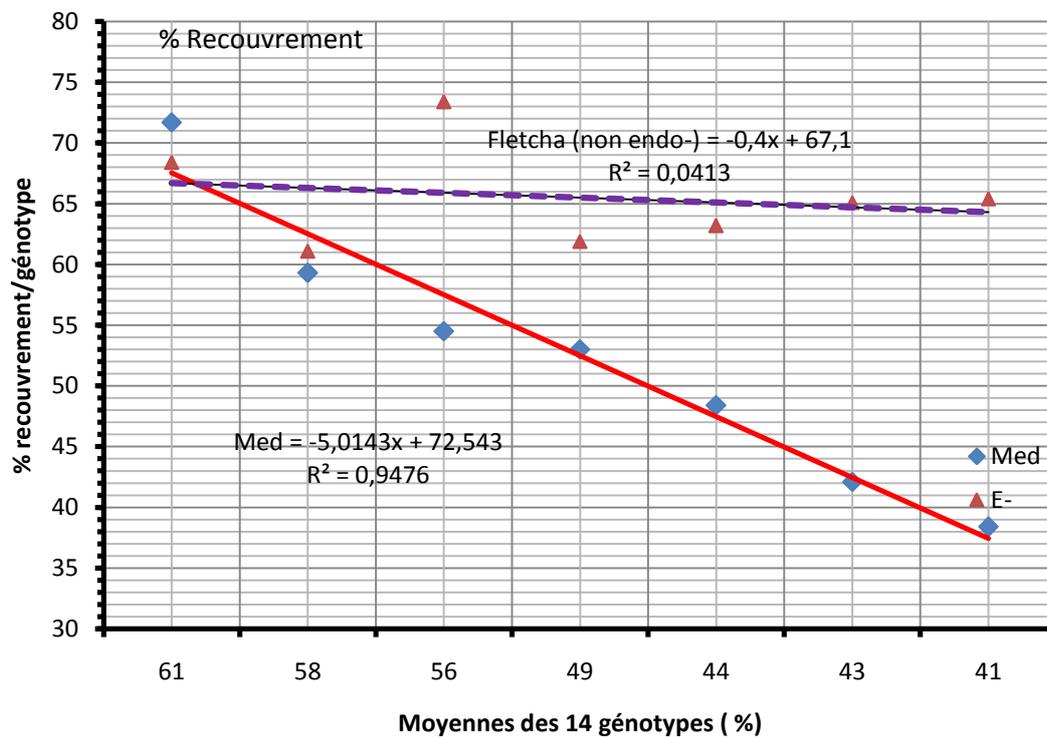


Figure 13. Evolution du taux de recouvrement des génotypes à comportement extrême : la fétuque Flecha non endophytée et le dactyle Medly.

L'évolution du pourcentage de recouvrement des différentes variétés analysées par la régression montre des comportements contrastés (Tableau 9). Les géotypes les plus sensibles, qui montrent une faible persistance temporelle, appartiennent au dactyle, exception faite par le cultivar kasbah qui montre un bon niveau de persistance comparativement aux variétés Jana, Medly et Porto qui présentent des coefficients de régression de -4.2%, -5.0% et -8.2% de réduction du recouvrement du sol pour chaque % de réduction de la moyenne de l'ensemble des 14 géotypes testés (Tableau 9). Parmi les géotypes de fétuque, Lutine et Sisa sont les moins persistants alors que les plus persistants sont Flecha endophytée et non endophytée (Tableau 9).

Tableau 9. Evolution du % de recouvrement modélisée par une fonction linéaire pour les différentes variétés de fétuques et de dactyles testées.

Variétés	% recouvrement		Coefficient r ²
	Coefficient b (%)	Constante (%)	
Jan	-4.2	75.9	0.7284
Med	-5.0	72.5	0.9476
Kas	-1.0	64.6	0.6660
Del	-3.2	64.0	0.8202
Cur	-2.6	62.8	0.7899
Por	-8.2	58.0	0.8217
Ott	-4.0	56.7	0.8906
Tan	-3.2	69.8	0.8223
Sis	-4.1	58.6	0.9147
E+	-0.6	56.5	0.1356
Cen	-3.9	70.7	0.7637
E-	-0.4	67.1	0.0413
Lut	-4.7	58.2	0.6464
Fra	-3.8	66.9	0.7754

4. Sénescence estivale, conductance stomatique et ratio matière sèche feuilles/tiges

L'analyse de la variance de la date du début de la sénescence estivale indique des effets année, variétés et interaction significatifs (Tableau 10). Le dessèchement débute chez les variétés Flecha endophytée, Flecha non endophytée et Kasbah à 141 jours. Les variétés Jana, Delta et Lutine sont les dernières à se dessécher, à 150 jours. La sénescence des parties aériennes de la plante, en début de la phase estivale, constitue un indicateur de l'enclenchement du processus de la dormance des plantes. Volaire (2002) indique que la sénescence des feuilles est l'une des premières réponses des graminées au déficit hydrique, après celles qui se répercutent sur les dimensions des feuilles.

Tableau 10. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance des valeurs du début dessèchement estimée au début de l'été des trois campagnes successives, chez les 14 variétés évaluées.

Source de variation	ddl	CME	F	Test F
Années (A)	2	5612.0	226.8	***
Blocs (années)	6	24.7	1.4	ns
Variétés (V)	13	83.8	2.3	*
V x A	26	35.9	2.0	**
Erreur	78	17.5	---	

Ppds (5%) = 5.80

Les moyennes de la sénescence, de l'ensemble des variétés, enregistrées en période estivale sont de 54, 89 et 88 % respectivement lors de la première, la deuxième et la troisième année. La dormance est partielle au cours de la première année d'installation. Elle est presque complète pour l'ensemble des variétés au cours de la deuxième et troisième année (Figure 14).

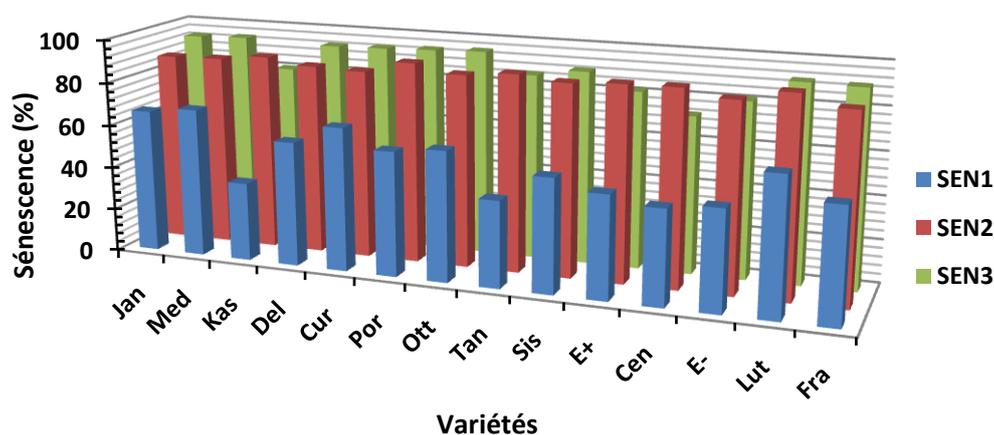


Figure 14. Variation du début de dessèchement des différentes variétés au cours des différentes saisons étudiées.

L'analyse de la variance de la conductance stomatique montre des différences non significatives entre les génotypes des deux espèces étudiées. Néanmoins, l'effet année et l'interaction variété x années sont très hautement significatifs (Tableau 11). La valeur la plus élevée est mesurée chez Fraydo durant la 2^{ème} année d'expérimentation, soit 10.74 s cm⁻¹. La plus faible valeur est enregistrée chez Medly lors de la 4^{ème} année d'expérimentation. Fraydo garda sa supériorité même en 4^{ème} année d'expérimentation en enregistrant la meilleure conductance stomatique, soit 5.57 s cm⁻¹ (Figure 15).

Tableau 11. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance des valeurs de la conductance stomatique mesurée au début de l'été des quatre campagnes successives, chez les 14 variétés évaluées.

Source de variation	ddl	CME	F	Test F
Années (A)	2	111.1	193.5	***
Blocs (années)	6	0.5	0.4	ns
Variétés (V)	13	13.8	0.9	ns
V x A	26	15.0	10.4	***
Erreur	78	1.4	---	

Ppds (5%) = 3.75

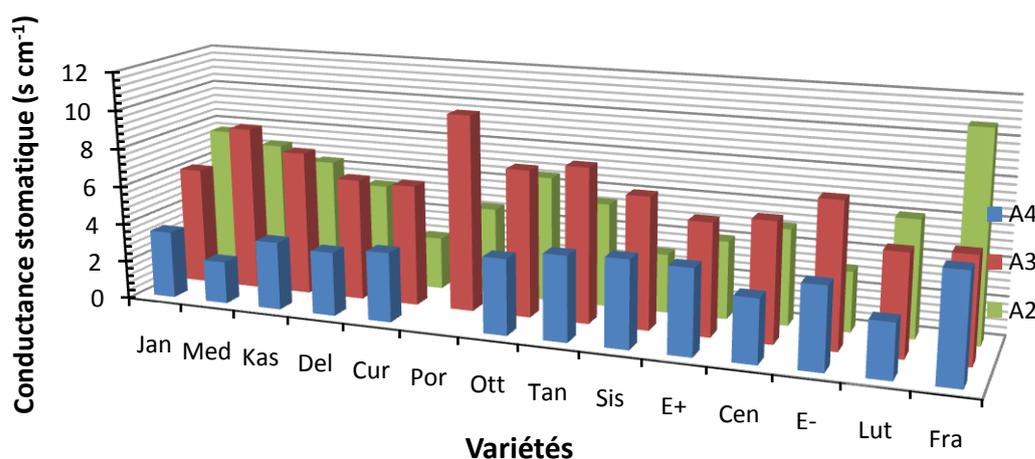


Figure 15. Variation de la conductance stomatique des différentes variétés au cours des différentes saisons étudiées.

Sperry (2000) ainsi que Rambal *et al.*, (2003) mentionnent que la conductance stomatique est considérée comme un mécanisme important de la réponse à la sécheresse. Elle diminue lorsque la contrainte hydrique augmente. Sperry (2000) rapporte que la conductance stomatique est souvent positivement corrélée à la conductance hydraulique. Nous pouvons donc imaginer que la chute de la conductance due à la sécheresse provoquera une diminution de la conductance hydraulique pour faire face à ce déficit hydrique notamment par la fermeture des stomates.

Hopkins (2003) suggère que la forte résistance stomatique des feuilles en période sèche est une conséquence des mécanismes de régulation de l'évaporation de l'eau de la plante. En cas de déficit hydrique, la fermeture des stomates est déclenchée par l'abaissement du potentiel hydrique des cellules de la feuille. Cette fermeture est induite par la synthèse, au niveau des racines, de l'acide abscissique (ABA).

L'analyse de la variance des valeurs du rapport de la matière sèche accumulée par le feuillage sur celle accumulée par les tiges indique des différences non significatives entre les variétés des deux espèces étudiées. Néanmoins, l'effet année et l'interaction variété par année sont très hautement significatifs (Tableau 12).

Tableau 12. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance des valeurs du ratio F/T mesuré au printemps de deux campagnes, chez les 14 variétés évaluées.

Source de variation	ddl	CME	F	Test F
Années (A)	1	30.1	668.7	***
Blocs (années)	4	0.4	1.1	ns
Variétés (V)	12	0.3	0.7	ns
V x A	12	0.4	9.0	***
Erreur	48	0.4	---	

Ppds (5%) = 0.76

Les valeurs du rapport de la matière sèche accumulée par le feuillage sur celle accumulée par les tiges varient en deuxième année d'expérimentations de 0.15, moyenne de Flecha endophytée à 0.81, valeur moyenne de Porto. Porto et Jana, chez les dactyles et Tanit et Sisa chez les fétuques, sont les génotypes qui ont un ratio feuilles/tiges significativement élevé (Figure 16). Au cours de la 4^{ème} année d'expérimentation, on note une nette amélioration de la qualité fourragère de l'ensemble des variétés, avec une valeur moyenne de 1.75 contre 0.5 lors de la saison 2006/2007. Les variétés Centurion, Flecha non endophytée Delta et Jana présentent les meilleures valeurs du ratio feuilles/tiges. Fraydo, Lutine et Kasbah se caractérisent par les plus faibles valeurs, ne dépassant pas 1.5 (Figure 16).

Le ratio MSF/MST élevé est généralement une indication d'une bonne qualité fourragère (Burton et *al.*, 1969 ; Stone, 1994). Les génotypes tardifs ainsi que ceux qui possèdent une capacité de tallage herbacée élevée présentent généralement un meilleur ratio MSF/MST. La distribution et l'abondance des cellules lignifiées sont différentes chez les feuilles et les tiges des graminées. Au niveau des feuilles, le taux de la matière sèche est inférieur à celui des tiges, à cause du pourcentage plus élevé des cellules non lignifiées.

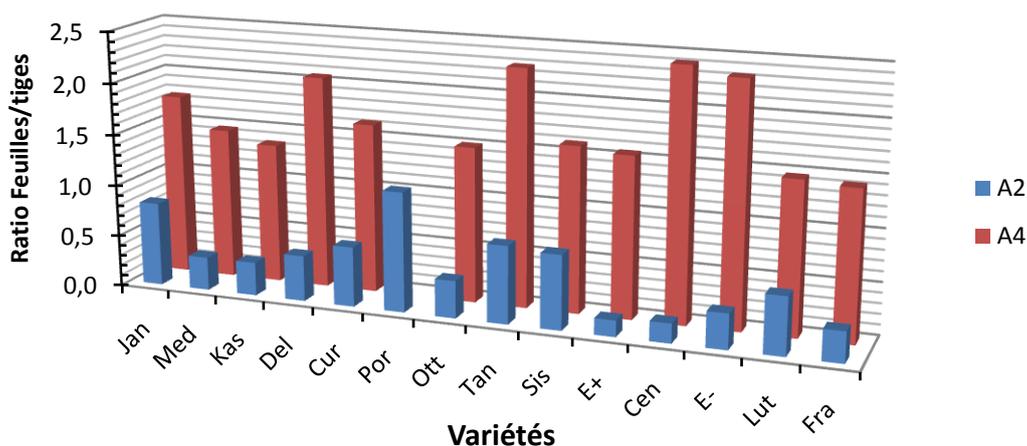


Figure 16. Variation du ratio MSF/MST des différentes variétés au cours de la deuxième et la quatrième année d'expérimentation.

La proportion de la matière sèche de la paroi augmente pendant la croissance jusqu'à la maturité. Une fois la graminée mûrit, le ratio feuilles: tiges diminue, et par conséquent la quantité des tissus vasculaires lignifiés augmente dans la plante entière. Ces différences dans la proportion de lignification des parois expliquent la digestibilité plus élevée des parois des feuilles relativement à celle des tiges (Stone, 1994). Pour un même degré de maturité et de capacité de tallage, les variétés ayant un ratio MSF/MST élevé sont désirables. Ballard *et al.*, (1990) sélectionnent sur la base du nombre d'entre-nœuds chez *Pennisetum glaucum*, et ils réussissent à améliorer le ratio MSF/MST.

Dans le cadre de la présente étude, la persistance est une caractéristique qui est liée au comportement du végétal au cours de l'été, saison la plus difficile à surmonter par les espèces herbacées pérennes. Comparativement aux espèces annuelles qui fleurissent et produisent des graines, dès l'avènement de l'été, les espèces pérennes, présentent par contre une stratégie totalement différente des annuelles. Elles arrivent à survivre les stress de l'été en passant à un état plus ou moins dormant (Volaire, 2003). Elles suspendent temporairement l'émission de toute structure végétative visible (Ofir et Kigel, 2003). Le degré de dormance est variable allant de la non dormance, la dormance partielle et enfin la dormance totale, en été, quelque soient les conditions d'humidité du sol et de température de l'air ambiant (Volaire et Norton, 2006).

Les variétés du premier groupe sont inaptes à extérioriser la dormance estivale. Elles sont actives lorsque l'humidité du sol soit disponible. Les variétés du troisième groupe cessent toute croissance, au moins durant 4 semaines, au cours de l'été. Ce sont des variétés complètement dormantes. Les variétés du second groupe, à l'approche de l'été, réduisent leur croissance active. Elles sénescent partiellement leur feuillage tout en maintenant au minimum le contenu en eau des feuilles de la base. Elles sont incomplètement endormies et reprennent croissance dès le retour des premières pluies. Le degré de persistance est variable selon celui de la dormance (Volaire et Norton, 2006).

Lane *et al.* (1999) mentionnent qu'au cours d'une étude qui a duré deux campagnes, que le phalaris Porto (*Phalaris aquatica* L.) et la fétuque Demeter (*Festuca arundinacea* L.) présentent des performances élevées de production d'herbe, comparativement à la variété de raygrass Jackaroo (*Lolium perenne* L.) qui se montre non adaptée aux environnements à faibles inputs. Ces auteurs rapportent aussi que l'étude de la variation de la production saisonnière de l'herbe indique la nette supériorité de la production printanière. La réduction des performances de production de l'herbe et la persistance a pour origine l'intensité du stress hydrique et les hautes températures au cours de l'été et la gestion de la prairie (intensité de la fauche et/ou de la pâture).

Selon Parsons *et al.*, (1988), la production la plus importante des prairies pérennes a lieu au cours du premier cycle de repousse, au printemps. Cette saison est plus favorable à la croissance: eau non limitant, température moyenne journalière proche de l'optimum physiologique des graminées (15 °C), intensité de l'éclairement et durée du jour favorables à l'activité photosynthétique et enfin une minéralisation de l'azote dans le sol importante.

Mazzanti *et al.* (1994) observent une importante variation de la production de matière sèche au cours des différentes saisons chez 13 génotypes de fétuques, avec 60% au printemps, 18% en été et 22% en automne. Une meilleure efficacité de reconversion de l'énergie lumineuse est mesurée au cours du printemps, avec pour conséquences une meilleure performance de production lors de la saison de printemps. Ces auteurs expliquent ce comportement au cours du printemps par une moindre dérivation des assimilats produits vers les racines comparativement à ce que la plante fait lors de l'avènement de l'été et/ou de l'hiver, pour augmenter sa tolérance vis-à-vis des stress. En outre, ces auteurs notent que la réduction de la capacité de production fourragère, en été et en automne, est due aux effets du déficit hydrique et des hautes températures.

La faiblesse des productions automnale et estivale s'explique par la variation de l'humidité du sol disponible pour la végétation. En automne les pluies arrivent généralement très tardivement, et en été, c'est leur absence complète qui impose aux différentes variétés d'entrer progressivement en dormance et donc de réduire de leur production de matière sèche. Selon Malinowski *et al.* (2003), le potentiel de production des graminées pérennes s'exprime nettement mieux en fin hiver - début printemps suite à leur adaptation aux environnements tempérés.

La production cumulée de l'herbe n'est pas un critère discriminant dans certaines situations où la persistance du couvert végétal, pour des raisons de protection du sol de l'érosion, est un critère de sélection plus important. Les résultats de cette étude sont encourageants dans la mesure où ils montrent les bonnes performances et l'adaptation de certaines variétés de fétuque, dont notamment Flecha et Fraydo. Les études du comportement de ces variétés en comparaison avec les espèces fourragères les plus utilisées, telles que les orges, les avoines, les associations graminées- légumineuses méritent d'être conduites.

Boschma *et al.* (2008) mentionnent que le degré de sévérité des coupes des graminées pérennes, au même titre que l'intensité du stress hydrique affectent significativement, le rendement de matière sèche produite, la reprise de la croissance de la végétation et la persistance. Le taux de recouvrement, le contenu en sucres solubles non structuraux et le maintien d'une biomasse basale minimale après coupe sont les caractères qui semblent déterminer la résilience des cultivars vis-à-vis des stress.

La réponse de la plante à la défoliation est conditionnée par le contenu en sucres non structuraux des racines et de la couronne qui déterminent la persistance et la capacité de reprise selon la fréquence et la hauteur de coupe (Humphreys, 1997). La production foliaire, un déterminant de la production de biomasse et de la qualité du fourrage, peut être favorisée par le choix judicieux de la date de coupe et du degré de défoliation (hauteur) pour arrêter la croissance des tiges et ainsi promouvoir la naissance de nouvelles talles (Hyder, 1972).

La présence de l'endophyte chez le cultivar Flecha ne semble pas apporter un plus comparativement au comportement de Flecha non endophyté; les deux cultivars présentent le même degré de persistance. Ces résultats ne corroborent pas ceux de Bush *et al.*, (1997) qui notent des différences du point de vue persistance entre les deux types de cultivars. Selon ces auteurs, l'absence de l'endophyte réduit certes de la toxicité du fourrage, en présentant moins

d'alcaloïdes, mais elle réduit aussi de la capacité de persistance de la végétation sous l'effet des stress. En effet selon ces auteurs la présence de l'endophyte augmente la tolérance vis-à-vis des stress aussi bien biotiques qu'abiotiques.

Arechavaleta *et al.*, (1989) rapportent que la fétuque endophytée était plus apte à supporter le stress hydrique que la fétuque non endophytée. En effet la première enroule le feuillage sous stress hydrique et montre une capacité plus élevée de reprise après stress comparativement à l'écotype non endophyté. Richardson *et al.*, (1990) ainsi que Malinowski et Belesky (1999) notent un système racinaire significativement plus long, plus chevelu et de faible diamètre chez l'écotype endophyté, ce qui favorisent une meilleure accessibilité à l'humidité des différents horizons du sol et sa valorisation.

5. Typologie variétale

Dans un souci de caractériser les génotypes étudiés par l'ensemble des variables mesurées, une analyse en composantes principales a été réalisée. L'analyse des coefficients de corrélation des variables avec les axes principaux montre que les moyennes de la matière sèche des différentes saisons sont représentées par l'axe1 auquel elles sont positivement liées, hormis les moyennes des saisons 2 (MS_2) et 4 (MS_4) qui sont plutôt bien représentées par l'axe 2 (Tableau 13). La hauteur moyenne de la végétation ainsi que la surface des 10 feuilles et le taux de recouvrement sont aussi bien représentées par l'axe1. La précocité d'épiaison est bien représentée par l'axe 2 alors que le taux de croissance relative l'est avec l'axe 3 (Tableau 13).

L'étude du plan de l'analyse en composantes principales formé par les axes 1 et 2 montre que les génotypes de fétuques, hormis Lutine sont positionnés sur le coté positif de l'axe 1 alors que les génotypes de dactyles, hormis Kasbah sont positionnés sur le coté négatif de cet axe (Figure 17). Donc les fétuques se caractérisent, globalement, par une production de matière sèche par saison relativement élevée comparativement aux performances des cultivars de dactyles.

De plus les fétuques se distinguent par une hauteur plus importante, un taux de recouvrement plus important et un feuillage aux dimensions plus réduites. Le long de l'axe 2, on note que les dactyles Jana, Delta et Kasbah ainsi que la fétuque Fraydo sont plus tardifs ; alors que les fétuques Flecha endophytée et non endophytée, le cultivar Sisa et le dactyle Porto sont plus précoces à l'épiaison.

Tableau 13. Coefficients de corrélation des variables mesurées avec les axes principaux de l'analyse en composantes principales.

Caractères	Axis 1	Axis 2	Axis 3
MS1	0.7738	-0.2727	0.449
MS2	0.0957	0.5892	0.5536
MS3	0.6488	0.1867	0.3368
MS4	-0.2076	-0.6912	0.5667
MS5	0.8275	0.3858	-0.0410
MS6	0.9353	-0.0528	-0.0650
MS7	0.8793	0.1534	0.0490
MS8	0.6372	-0.3456	-0.4173
MST	0.9471	-0.1167	0.1155
HT	0.7109	0.3714	-0.1752
PREC	-0.1282	0.5884	-0.4944
TCR	0.4655	-0.3322	-0.7079
SF	-0.6686	0.4775	0.1413
REC	0.6097	0.1662	0.3153
% variation expliquée par axe	44.75%	16.95%	14.01%

Les premières variétés citées se sont distinguées par une moyenne de rendement élevée lors de la saison 2 et les secondes par une moyenne de rendement élevée au cours de la saison 4 (Figures 17 et 18). Du point de vue sélection, les résultats de la présente étude suggèrent que les fétuques sont plus aptes à s'adapter à l'environnement d'évaluation que les dactyles, avec cependant des exceptions, tel est le cas du dactyle Kasbah et de la fétuque Lutine.

Parmi les caractères mesurés qui peuvent servir de critères de sélection, il y a la hauteur de la végétation, le taux de recouvrement qui reste un élément appréciable, les dimensions du feuillage qui semblent conditionner aussi bien l'adaptation que la performance et bien sur le rendement de matière sèche qui est le caractère d'intérêt en matière de sélection. Dans ce contexte Volaire (1991) et Mousset *et al.* (1992), ont mis l'accent sur la pertinence de la hauteur de la végétation dans les travaux de caractérisation et d'essai de comportement. La hauteur de végétation est un caractère qui est directement relié au rendement de matière sèche de la variété et au type d'exploitation (fauche ou pâture). L'étude de l'information apportée par l'axe 3 de l'analyse en composantes principales, montre que le taux de la croissance relative est une caractéristique qui est liée au degré de précocité.

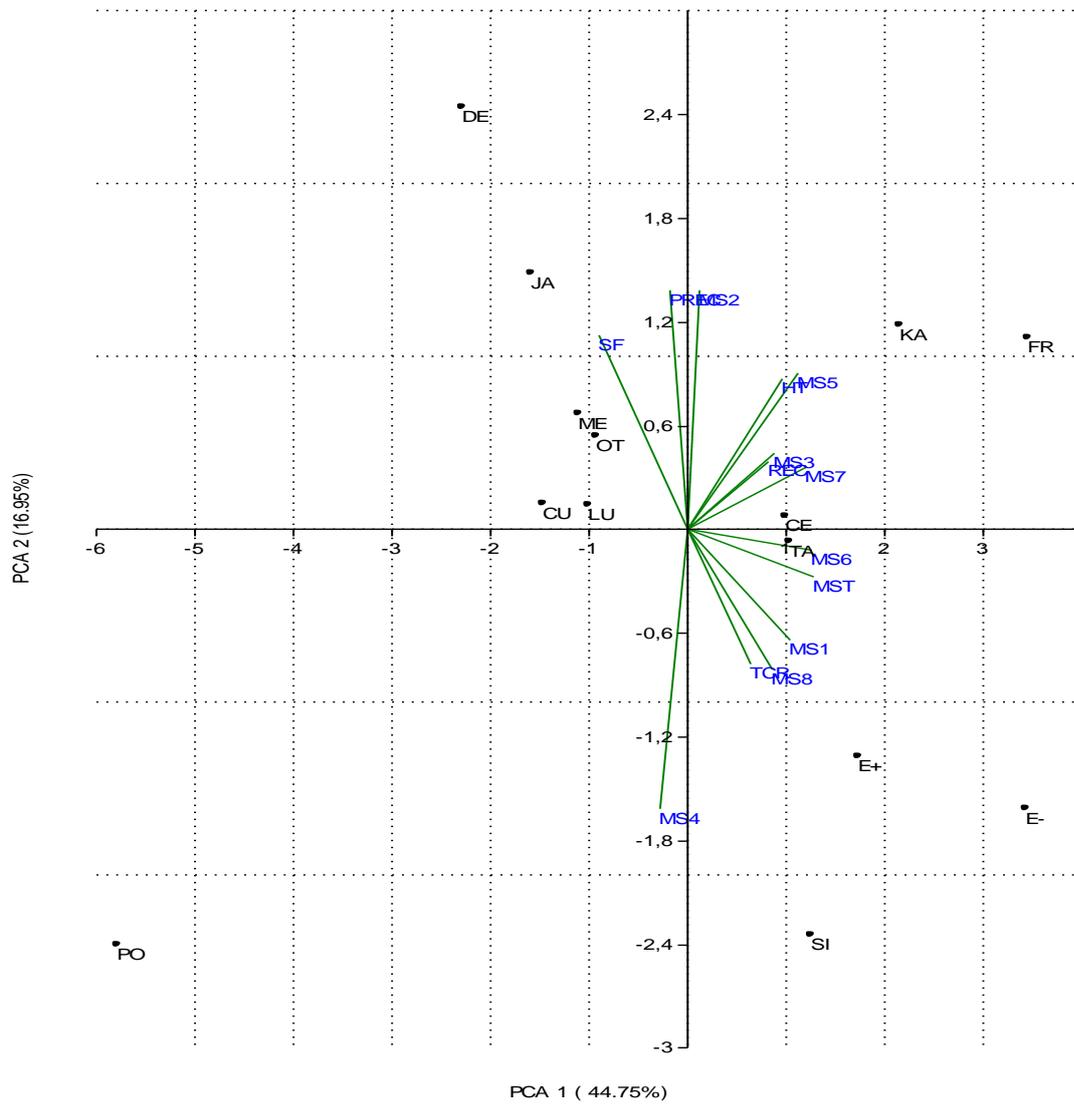


Figure 17. Répartition des variables mesurées et des génotypes sur le plan formé par les axes 1 (PCA 1) et 2 (PCA 2) de l'analyse en composantes principales (ACP).

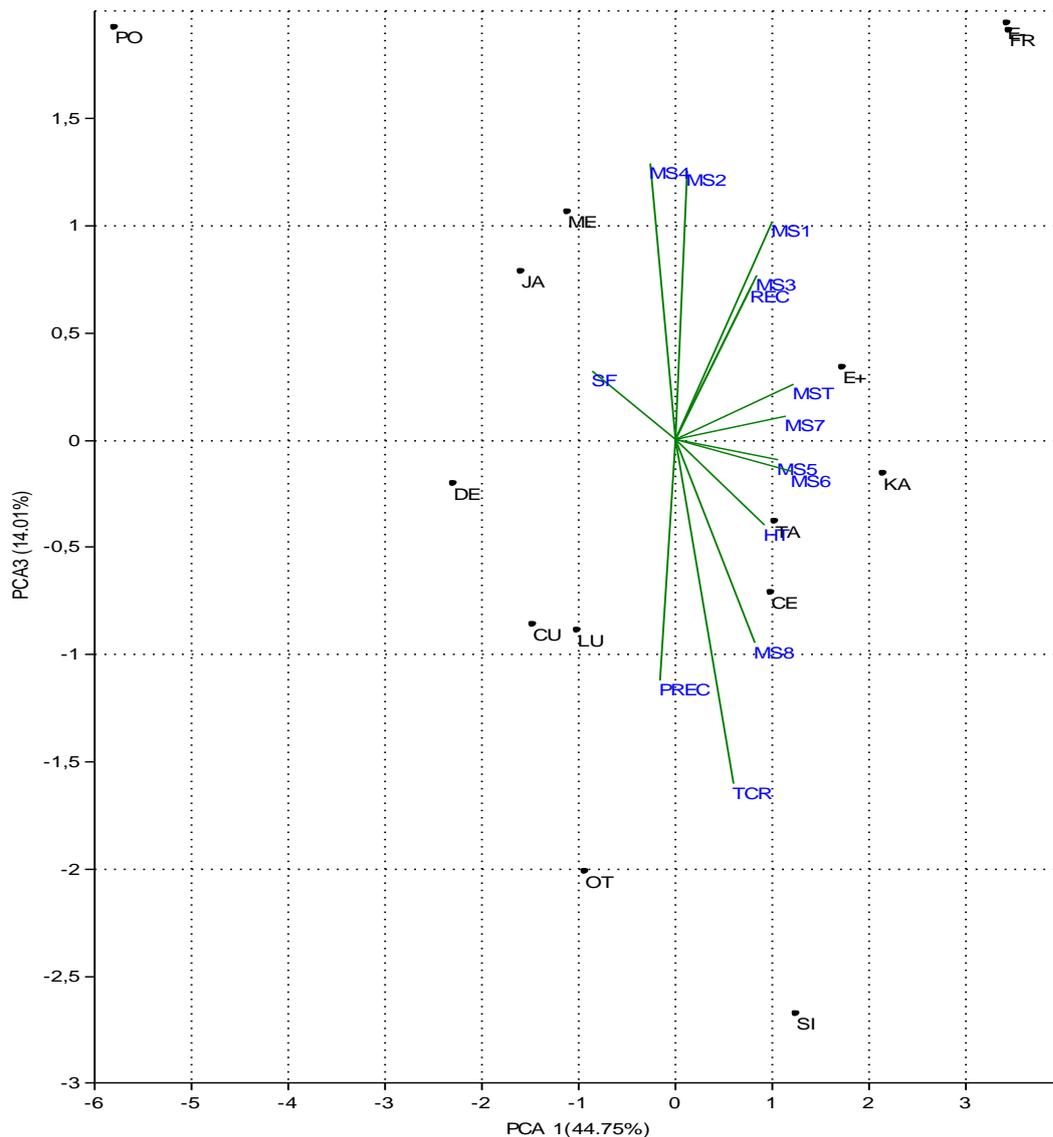


Figure 18. Répartition des variables mesurées et des génotypes sur le plan formé par les axes 1 (PCA 1) et 3 (PCA 3) de l'analyse en composantes principales (ACP).

Parmi les génotypes testés, Sisa et Ottava sont les génotypes qui se caractérisent par un taux élevé de croissance. A l'opposé, Jana et Medly se caractérisent par une faible capacité de croissance relative (Figure 18). Evaluant les mêmes variétés, Lelièvre *et al.*, (2011) mentionnent que Ottava, Porto et Sisa présentent une faible capacité de recouvrement du sol dès la deuxième année, avec une moyenne de moins de 51%, par contre les autres variétés maintiennent un taux supérieur à 90%. Les mêmes auteurs notent que les génotypes les plus

productifs sont Flecha, Fraydo et Centurion, avec 50% de matière sèche en automne. Porto était le moins productif, alors que Kasbah présente une productivité intermédiaire. Ces résultats corroborent ceux de la présente étude qui montre la nette supériorité de Flecha et la moindre performance de Porto. Kasbah montre un comportement intermédiaire. Selon Norton *et al.*, (2008) ainsi que Shaimi *et al.*, (2009) le cultivar Kasbah est complètement dormant en été même sous irrigation, alors les autres cultivars Currie, Flecha, Fraydo et Centurion présentent une dormance incomplète. Ces auteurs notent une association étroite entre le degré de persistance et le degré de dormance en été, avec une différence de plus de 20% de persistance pour les cultivars dormants en été (Norton *et al.*, 2008).

II. Etude de la tolérance des stress abiotiques

1. La teneur relative en eau foliaire

L'analyse de la variance de la teneur relative en eau indique un effet année hautement significatif qui explique l'essentiel de la variation mesurée. L'effet principal variété est significatif au même titre que l'interaction (Tableau 14). Ces résultats suggèrent que la teneur relative est largement déterminée par la variation saisonnière, et que malgré cela, l'effet principal variété reste assez marqué. En effet les valeurs annuelles mesurées varient de 42.1%, valeur moyenne de la 3^{ème} année à 83.0% valeur mesurée lors de la 1^{ère} année ; les moyennes des deux autres années (4^{ème} et 2^{ème}) étant de 46.7 et 65.5%. Les valeurs moyennes variétales varient de 55.9% mesurée chez Flecha endophytée à 83.6% valeur mesurée chez Kasbah (Tableau 15).

Tableau 14. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau foliaire mesurée au début de l'été des quatre campagnes chez les 14 variétés évaluées.

Source de variation	ddl	CME	F	Test F
Années (A)	3	6215.7	375.4	**
Blocs (années)	8	16.5	0.30	--
Variétés (V)	13	909.1	2.96	**
V x A	39	307.2	5.60	**
Erreur	104	54.4	---	

L'interaction variété par années montre une grande variation inter géotypes et inter années (Figure 19). Les valeurs les plus élevées ont été mesurées au cours du début de l'été de la première année d'installation, sur une végétation au stade juvénile montrant une teneur relative variant de 68.7%, valeur exprimée par Tanit à 88.8%, valeur mesurée chez Flecha

endophytée. Ces deux génotypes sont des fétuques qui montrent une plus grande variation comparativement aux dactyles dont les valeurs mesurées sont plus groupées (Figure 19).

Au cours de la deuxième année, la variation est plus importante, chez les fétuques comparativement aux dactyles. Chez les fétuques Lutine et Sisa présentent les valeurs les plus élevées alors que chez les dactyles, c'est Jana, Medly et Kasbah qui présentent les valeurs les plus élevées (Figure 19). Au cours des troisième et quatrième années, les valeurs mesurées sont trop faibles chez les deux espèces, signe que la végétation était sénescence (Figure 19).

Tableau 15 Moyennes des valeurs prises par la teneur relative en eau foliaire (TRE) mesurées chez les différentes variétés au cours de quatre saisons.

Variétés	TRE (%)
Jan	74.89
Med	76.62
Kas	83.66
Del	83.45
Cur	75.17
Por	68.81
Ott	79.21
Tan	77.17
Sis	77.14
E+	55.93
Cen	56.27
E-	63.05
Lut	59.62
Fra	58.74
Ppds5%	16.98

Selon Huang *et al.*, (1998), la fétuque est réputée comme étant très résistante à la sécheresse en comparaison avec le rye grass (*Lolium perenne* L.) ou le pâturin (*Poa pratensis* L.). Ceci parce que cette espèce développe un système racinaire très profond. Huang *et al.*, (1998) mentionnent que les variétés de fétuque diffèrent pour la tolérance liée à l'échappement due à la longueur du système racinaire et à la résistance due à l'ajustement osmotique. Les cultivars nains se montrent plus sensibles au déficit hydrique à cause de leur système racinaire très faiblement développé et ils reprennent la croissance difficilement à cause de leur faible capacité d'ajustement osmotique.

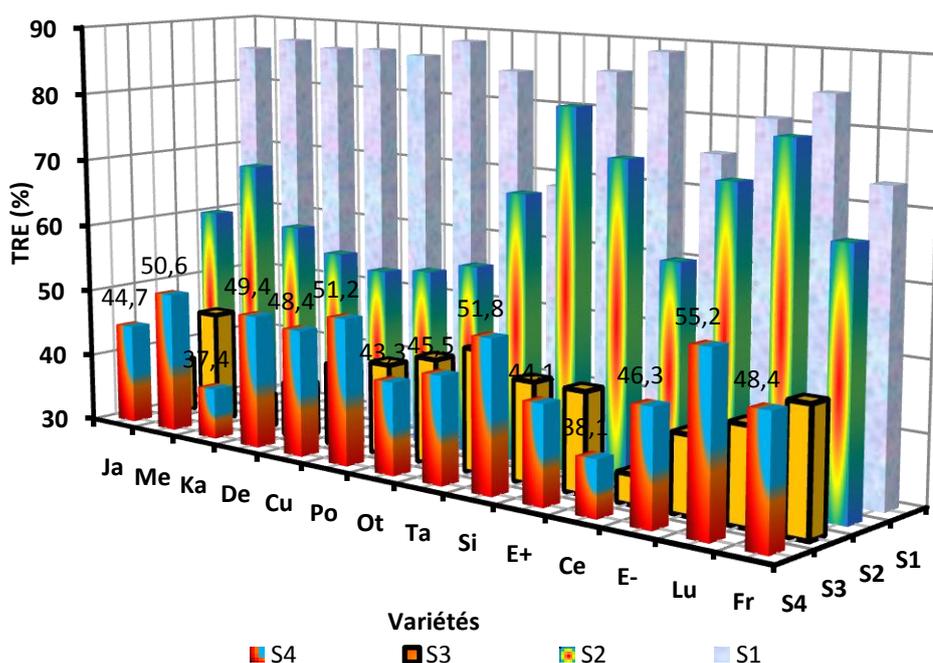


Figure 19. Variation de la teneur relative en eau foliaire mesurée chez les 14 génotypes au cours des quatre années.

Huang et Gao (1999) mentionnent qu’au bout de 4 jours de stress, la teneur relative en eau baisse significativement chez les variétés de fétuques sensibles alors qu’une telle baisse n’est observée qu’au bout du 10 jours après l’imposition du stress chez les génotypes tolérants tel que Kentucky 31. La teneur relative en eau atteint le seuil de flétrissement permanent, soit 40%, après 21 jours de stress chez les génotypes sensibles et 28 jours chez les génotypes tolérants.

Huang *et al.*, (1998) mentionnent que l’activité photosynthétique devient irréversible lorsque la teneur relative en eau atteint le seuil de 30% chez la fétuque Kentucky-31. A ce sujet, Kaiser (1987) rapporte qu’à ce seuil de la teneur relative en eau, l’activité photosynthétique est irréversible à cause de la mort des cellules qui fait suite aux dommages occasionnés à la membrane des chloroplastes.

2. Le contenu en sucres solubles

L’analyse de la variance du contenu en sucres solubles indique un effet année largement significatif comme celui qui a marqué la teneur relative en eau. L’effet principal variété n’est par contre pas significatif alors que l’interaction l’est (Tableau 16). Le contenu en sucres

solubles de la végétation varie de manière significative selon les saisons et les génotypes. Les moyennes saisonnières mesurées varient de 10.69 µg/g MF, valeur moyenne de la 1^{ème} saison à 18.56 µg/g MF valeur mesurée lors de l'été de la 3^{ème} année.

Les valeurs moyennes variétales varient de 10.20 µg/g MF pour Fraydo à 20.59 µg/g MF valeur mesurée chez Kasbah (Tableau 17). Malgré que l'analyse de la variance ne montre pas d'effet principale variété significatif (Tableau 16), la différence entre les valeurs extrêmes indique que Kasbah sort du lot des variétés testées par sa valeur moyenne élevée du contenu en sucres solubles (Tableau 17).

Tableau 16. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance des valeurs des sucres solubles mesurés au début de l'été des trois campagnes successives, chez les 14 variétés évaluées.

Source de variation	ddl	CME	F	Test F
Années (A)	2	932.9	334.49	**
Blocs (années)	6	2.77	1.63	ns
Variétés (V)	13	70.49	1.34	ns
V x A	26	52.74	31.04	**
Erreur	78	1.69	---	

Tableau 17. Moyennes des valeurs prises par le contenu en sucres solubles (SS) mesurées chez les différentes variétés au cours des trois saisons du printemps.

Variétés	SS (µg/g MF)
Jan	13.82
Med	11.27
Kas	20.59
Del	13.28
Cur	13.29
Por	17.57
Ott	11.26
Tan	12.38
Sis	11.75
E+	11.18
Cen	13.37
E-	12.84
Lut	11.13
Fra	10.20
Ppds5%	7.04

L'étude de l'interaction indique que les génotypes Jana, Kasbah, Delta et Porto, qui sont des dactyles, se caractérisent par un contenu en sucres solubles élevé au cours de la seconde saison. Par contre, les autres montrent une meilleure expression du contenu en sucres au cours de la première année. La troisième saison, peu de différences existent entre les

différentes variétés étudiées (Figure 20). Au cours des trois saisons, Kasbah présente la valeur la plus élevée (27.79 $\mu\text{g/g}$ MF) et Lutine la valeur la plus faible (1.85 $\mu\text{g/g}$ MF) en termes de contenu en sucres solubles (Figure 20). La plus petite différence significative prend une valeur de 2.11 $\mu\text{g/g}$ MF.

Fulkerson et Slack, (1995) mentionnent que le contenu en sucres solubles est affecté par la sévérité de la défoliation, au même titre que par la fréquence et/ou la hauteur de coupe. Chez le raygrass ces auteurs recommandent une hauteur de 50 mm ce qui maximise la teneur en sucres solubles de la végétation restante et assure une reprise correcte. Selon Fulkerson et Donaghy (2001), le rythme de coupe affecte la persistance et la capacité de reprise de la végétation. Ces auteurs rapportent qu'une défoliation à 60 mm, comparée à celle de 50 mm, produit plus de 54% de matière sèche et présente une persistance 65% plus importante, suite au contenu en sucres solubles plus élevé. Une défoliation, sous le seuil de 50 mm, affecte fortement le contenu en sucres solubles et la reprise de la végétation et par conséquent la persistance, selon ces auteurs.

L'accumulation des sucres solubles est aussi une réponse importante d'adaptation à la sécheresse. Chez le Sorgho, l'accumulation du saccharose, du glucose et de l'amidon au niveau des tiges est associée à la diminution de l'activité des enzymes de dégradation des sucres durant la période de sécheresse. Cette accumulation s'accompagne d'une réduction du potentiel de croissance (Lingle, 1987 ; Tarpley *et al.*, 1994). Ce même effet a été observé chez le cotonnier (Quisenberry *et al.*, 1984), ainsi qu'une réduction de l'élongation des tiges chez le maïs (Setter et Meller, 1984). Chez le blé l'accumulation des sucres sous contrainte hydrique contribue au maintien de la turgescence des cellules à travers l'ajustement osmotique (Morgan, 1984). L'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la tolérance à la sécheresse en intervenant sur de nombreux processus métaboliques et physiologiques de la plante (Morgan *et al.*, 1986 ; Blum, 1989).

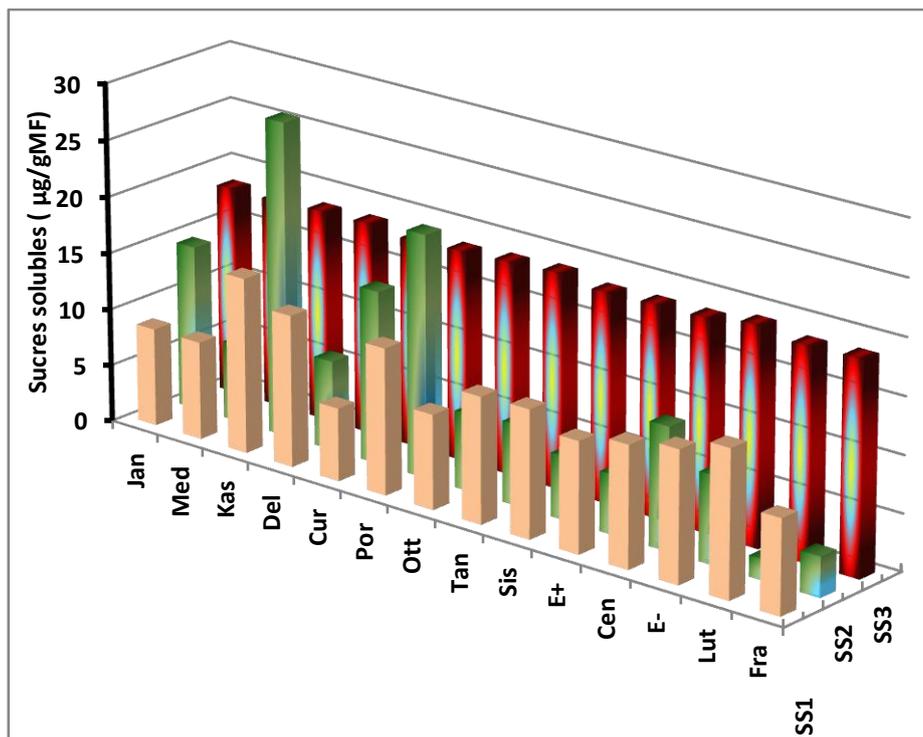


Figure 20. Variation du taux des sucres solubles mesuré chez les 14 variétés au début de la sécheresse des trois années successives.

3. La proline

L'analyse de la variance des valeurs de la proline indique un effet saison et une interaction variété x saisons significatifs. L'effet principal variété n'est pas significatif (Tableau 18). La teneur en proline varie de 4.7 µg/g MF, valeur moyenne de la 1^{ème} saison à 11.02 µg/g MF, valeur mesurée lors du printemps de la 2^{ème} année. Les moyennes par variété varient de 2.9 µg/g MF pour Flecha endophytée à 9.2 µg/g MF valeur mesurée chez Tanit (Tableau 19). Malgré que l'analyse de la variance ne montre pas d'effet principale variété significatif (Tableau 18), la différence entre les valeurs extrêmes indique que Tanit sort du lot des variétés testées par sa valeur moyenne élevée de la proline (Tableau 19).

Tableau 18. Carrés moyens des écarts (CME) de l'analyse de la variance des valeurs de la proline mesurée au début de l'été des trois campagnes successives, chez les 14 variétés évaluées.

Source de variation	ddl	CME	F	Test F
Années (A)	2	424.9	134.0	**
Blocs (années)	6	1.8	1.63	ns
Variétés (V)	13	21.9	1.23	ns
V x A	26	17.9	16.5	**
Erreur	78	1.08	---	

Tableau 19. Moyennes des valeurs prises par la proline (PRO) mesurées chez les différentes variétés au cours des trois années.

Variétés	PRO ($\mu\text{g/g MF}$)
Jan	5.1
Med	3.9
Kas	7.6
Del	6.8
Cur	7.0
Por	6.2
Ott	8.6
Tan	9.2
Sis	4.6
E+	2.9
Cen	8.2
E-	8.4
Lut	5.1
Fra	7.9
Ppds5%	4.1

L'analyse de la variation inter saisons des valeurs prises par la proline indique que globalement les dactyles présentent des valeurs plus élevées de la proline au cours de la première saison alors qu'au cours de la troisième année, ce sont surtout les variétés de fétuques qui présentent des valeurs élevées pour cette variable (Figure 21).

L'accumulation de la proline est suggestive de la présence d'un phénomène d'adaptation au stress, ce qui permet à la culture de maintenir sa turgescence grâce à la diminution du potentiel hydrique. Man *et al.*, (2011) mentionnent que le stress hydrique réduit de la qualité du fourrage de fétuque, de la teneur relative en eau foliaire et augmente la teneur de la proline et de l'ABA.

En comparant deux cultivars l'un sensible et l'autre tolérant, Man *et al.* (2011) notent qu'en fin de la période de stress le cultivar tolérant se distingue par 32% et 50% de proline et d'ABA en plus que le cultivar sensible, alors que peu de différences existent entre les deux cultivars en absence de stress hydrique.

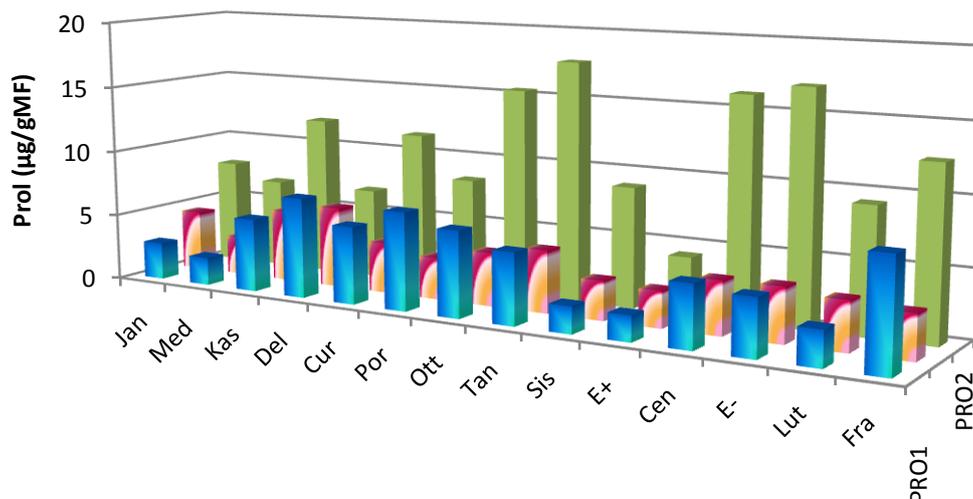


Figure 21. Variation des valeurs de la proline mesurée chez les 14 variétés au début de la sécheresse des trois années successives.

Ces auteurs suggèrent l'utilisation, sous conditions de stress, du contenu en proline et en ABA pour sélectionner des cultivars tolérants le stress hydrique. Marks et Clay (1996) rapportent que Flecha endophytée photosynthétise mieux que Flecha non endophytée sous température supérieure à 35°C. Ceci lui donne la capacité de produire plus sous conditions arides (West *et al.*, 1993 ; Malinowski et Belesky, 1999).

III. Etude de la stabilité des performances saisonnières de production fourragère

L'étude et la caractérisation des variétés de graminées pérennes pour la sélection de la production fourragère sont compliquées par la présence de l'interaction variété x saisons (Chakroun *et al.*, 1990). Cette interaction s'exprime sous forme de changement des amplitudes des différences et donc de l'ordre de classement des variétés d'une saison à l'autre (Nguyen *et al.*, 1980). Lorsque cette interaction est significative, elle réduit de l'utilité des moyennes des performances calculées sur l'ensemble des saisons. Et par conséquent, elle rend difficile le choix d'une variété donnée sur cette seule base, ce qui réduit du progrès génétique réalisable (Pham et Kang, 1988).

Selon Nguyen *et al.*, (1980), le modèle de l'analyse de la variance, additive par essence, se prête mal à l'analyse des données de ce genre d'expérimentations, parce qu'il ne donne aucune mesure des réponses des variétés en fonction de la variation saisonnière. Pour tenir compte de la stabilité des performances et du niveau des performances, plusieurs

recherches ont introduit les méthodes d'analyse de la régression (Finlay et Wilkinson 1963 ; Eberhart et Russell 1966 ; Shukla 1972 ; Lin *et al.*, 1986 ; Brancourt-Humel *et al.*, 1997).

Lin *et al.*, (1986) mentionnent que les études conduites sur le thème de l'interaction variété x environnements l'ont été selon deux approches majeures. La première, qui est aussi la plus utilisée, est l'approche paramétrique, basée essentiellement sur des hypothèses restrictives du modèle additif dont la distribution normale des moyennes des génotypes, des environnements et des effets d'interaction ainsi que l'indépendance entre les moyennes et les résiduelles qui en résultent.

La seconde approche est basée sur des méthodes non paramétriques qui cherchent à lier le comportement variétal à des facteurs biotiques et abiotiques, qui caractérisent l'environnement, sans la contrainte des hypothèses restrictives de la modélisation (Becker and Leon, 1988). Les méthodes de la seconde approche sont plus libérales parce que, peu sensibles aux assomptions statistiques.

En effet, les méthodes non paramétriques présentent certains avantages dont entre autre la réduction de l'effet des valeurs extrêmes (outliers), pas d'hypothèses au sujet de la distribution théorique des valeurs phénotypiques, en plus du fait que ces méthodes sont d'une utilisation plus facile, notamment pour l'analyse de la stabilité des performances basée sur la somme des classements (Huehn, 1990 ; Sabaghnia *et al.*, 2006).

Lin *et al.*, (1986) mentionnent l'existence de trois types de stabilité. Le type 1 représente la stabilité biologique, qui se caractérise par une faible variation des performances en passant d'une saison ou environnement à l'autre (faible variance entre environnements). La stabilité de type 2 lorsque les performances de la variété sont parallèles à la moyenne de l'ensemble des variétés participant au test. Alors que la stabilité du type 3 est mesurée par le carré moyen des écarts de la déviation de régression qui doit tendre vers zéro.

En matière de sélection, il est important de choisir parmi les variétés évaluées celles qui se caractérisent par un rendement de matière sèche élevé et qui ont des performances plus régulières au cours des différentes saisons. Dans ce contexte, Petersen (1994) suggère de sélectionner les variétés donnant un haut rendement de matière sèche associé à une faible écovalence (W_i). Une faible valeur de l'écovalence est suggestive d'une faible contribution à l'interaction génotype x saisons.

Les mesures non paramétriques de la stabilité basées sur la somme des rangs ou des classements représentent une alternative viable aux méthodes paramétriques selon Sabaghnia *et al.*, (2006). En effet, pour le sélectionneur le classement ou le rang de la performance d'une variété donnée est le critère le plus important. C'est dans cette optique que Kang (1993) proposa la somme des rangs comme mesure de la stabilité des performances variétales.

Fox *et al.*, (1990) proposent une autre mesure de la stabilité des performances, qui est basée sur le pourcentage de classement dans le premier, le second ou le troisième tiers des classements, classes qu'ils qualifient de Top, Mid et Bot. Le classement est fait par environnement, puis le compte du nombre de fois où le génotype apparaît dans un tiers donné est fait. Un génotype qui se classe, en moyenne, le plus souvent dans le premier tiers est considéré comme présentant une adaptation générale et donc performant et stable à la fois.

Waldron *et al.*, (2002) étudient la stabilité de production de l'herbe des graminées pérennes, en utilisant la statistique de Shukla (1990) et l'indice de stabilité de Kang (1991). Ils mentionnent que la sélection sur la base de la stabilité était corrélée à celle de la performance moyenne de production de l'herbe. Cependant, la sélection basée sur la somme des rangs de Kang (1991) met plus de poids sur la stabilité que sur la performance, identifiant des génotypes moins performants mais relativement plus stables (Waldron *et al.*, 2002).

1. Valeurs des indices de la stabilité

L'application des statistiques non paramétriques à la production fourragère des variétés au cours des huit saisons qu'a duré l'étude indique que l'indice P varie de 0.11 à 0.80, valeurs prises respectivement par Flecha non endophytée et Porto (Tableau 20). Les valeurs de la somme des rangs de Kang varient quant à elles de 22, classement de Fraydo à 104, somme des classements de Porto.

L'écovalence de Wrinkle varie de 0.12 à 2.79, valeurs caractéristiques des variétés Jana et Sisa. Pour cet indice, les variétés Tanit et Flecha endophytée prennent des valeurs de 0.13, très proches de celle de Jana. Pour l'indice STI, la plus faible valeur est observée chez Porto, et la valeur la plus élevée est mesurée chez Fraydo. Les valeurs de l'indice YSI varient de 0.05 à 0.34. La valeur la plus faible de cet indice est notée chez Porto alors que la plus élevée est mesurée chez Kasbah. L'indice GE varie de 1.41 à 17.64, valeurs mesurées respectivement chez Medly et Porto (Tableau 20).

Tableau 20. Valeurs des indices de la stabilité inter saisonnières des performances de production fourragère des différentes variétés de dactyle et de fétuque.

Variété	Pi	$\sum r$	Wi	STI	Yi.	GE	ToP	MiD	BoT	YF	Ys	YSI
Jan	0.44	77	0.12	0.80	0.75	3.68	12.5	62.5	25.0	2.12	0.38	0.18
Med	0.34	71	0.22	0.96	0.83	1.41	25.0	50.0	25.0	2.67	0.36	0.13
Kas	0.29	54	0.40	1.47	0.92	3.93	62.5	25.0	12.5	2.07	0.71	0.34
Del	0.46	87	0.13	0.87	0.71	3.38	12.5	25.0	62.5	2.29	0.38	0.17
Cur	0.49	91	0.24	0.71	0.70	7.28	0.0	62.5	37.5	1.82	0.39	0.21
Por	0.80	104	1.23	0.12	0.51	17.64	12.5	12.5	75.0	1.51	0.08	0.05
Ott	0.50	92	0.25	0.85	0.69	6.01	0.0	62.5	37.5	1.90	0.45	0.23
Tan	0.27	46	0.13	1.12	0.91	5.64	75.0	25.0	0.0	2.13	0.53	0.25
Sis	0.17	73	2.79	0.68	1.03	12.05	25.0	37.5	37.5	2.01	0.34	0.17
E+	0.30	50	0.13	1.24	0.92	2.09	50.0	50.0	0.0	2.57	0.48	0.19
Cen	0.20	60	0.45	1.37	0.97	2.58	37.5	37.5	25.0	3.02	0.45	0.15
E-	0.11	33	0.56	1.54	1.17	3.94	87.5	0.0	12.5	2.96	0.52	0.18
Lut	0.42	85	0.44	0.87	0.78	3.00	12.5	37.5	50.0	2.75	0.31	0.11
Fra	0.17	22	0.70	1.84	1.15	5.05	87.5	12.5	0.0	3.35	0.55	0.16

Pi = indice de supériorité génotypique ; $\sum r$ = Somme des classements des performances de Kang ; Wi = écovalence de Wrinkle ; STI = indice de la tolérance au stress ; Yi. = rendement de la variété i de la saison ; GE = indice de l'interaction génotype x environnements ; ToP, MiD, BoT = statistiques de Fox *et al.* (1990) ; YF = Rendements des saisons favorables ; YS = Rendements des saisons défavorables ; YSI = indice de stabilité des performances.

L'indice de Fox *et al.*, (1990) indique que les variétés Currie et Ottawa sont absentes du classement dans le premier tiers (ToP), Flecha non endophytée est absente du classement dans le second tiers (MiD), alors que Tanit, Flecha endophytée et Fraydo ne présentent pas de classement dans le tiers inférieur (BoT).

Du point de vu sélection pour la stabilité, les variétés présentant de faibles valeurs pour les indices Pi, $\sum r$, Wi, GE et BoT, au même titre que celles présentant des valeurs élevées pour les indices STI et ToP sont désirables. L'étude des valeurs prises par les indices montrent qu'il est difficile de trouver une variété qui présente des valeurs favorables pour l'ensemble des indices et dans le sens désiré de la sélection pour la stabilité. L'étude des relations entre les différents indices est nécessaire.

2. Liaisons entre les différents indices de la stabilité

L'étude des corrélations de rangs, existantes entre les différents indices, montre que l'indice P_i est positivement lié à la somme des rangs de Kang et à l'indice BT. Il est aussi significativement et négativement corrélé avec les indices STI et TP (Tableau 20).

Tableau 21. Coefficient de rang de Spearman (r_s) entre les indices de la stabilité inter saisonnière des performances de production fourragère.

	P_i	$\sum r$	W_i	STI	Y_i	Y_F	Y_s	YSI	GE	ToP	MiD	BoT
P_i		0.00	0.22	0.01	0.00	0.01	0.07	0.83	0.59	0.00	0.10	0.01
$\sum r$	0.88		0.90	0.00	0.00	0.01	0.00	0.45	0.27	0.00	0.12	0.00
W_i	-0.35	-0.04		0.97	0.21	0.86	0.64	0.12	0.09	0.48	0.06	0.49
STI	-0.68	-0.86	0.01		0.00	0.00	0.00	0.52	0.08	0.00	0.12	0.00
Y_i	-0.98	-0.88	0.35	0.72		0.01	0.06	0.88	0.44	0.00	0.13	0.01
Y_F	-0.64	-0.70	0.05	0.78	0.68		0.27	0.27	0.01	0.02	0.27	0.08
Y_s	-0.50	-0.73	-0.14	0.79	0.52	0.32		0.01	0.81	0.01	0.39	0.00
YSI	-0.07	-0.22	-0.43	0.19	0.04	-0.32	0.68		0.52	0.68	0.45	0.09
GE	0.16	0.31	0.47	-0.48	-0.22	-0.66	-0.07	0.19		0.50	0.51	0.35
ToP	-0.87	-0.95	0.21	0.82	0.86	0.62	0.67	0.12	-0.20		0.01	0.00
MiD	0.45	0.43	-0.51	-0.44	-0.43	-0.32	-0.25	0.22	-0.19	-0.64		0.62
BoT	0.67	0.91	0.20	-0.77	-0.68	-0.48	-0.82	-0.47	0.27	-0.81	0.14	

P_i = indice de supériorité génotypique ; $\sum r$ = Somme des classements des performances de Kang ; W_i = écovalence de Wrinkle ; STI = indice de la tolérance au stress ; Y_i = rendement de la variété i de la saison ; Y_F = Rendements des saisons favorables ; Y_s = Rendements des saisons défavorables ; YSI = indice de stabilité des performances ; GE = indice de l'interaction génotype x environnements ; ToP, MiD, BoT = statistiques de Fox *et al.* (1990).

Ces résultats suggèrent que les variétés, dont le rendement fourrager s'écarte, le plus de celui de la variété la plus performante par saison, se caractérisent par une valeur de l'indice P_i élevée associée à une somme des rangs élevée et un pourcentage élevé de classement dans le tiers inférieur. De telles variétés sont instables et moins performantes, suite au fait que les indices P_i , $\sum r$ et BoT associent performances de rendement et stabilité (Benmahammed *et al.*, 2010). Par contre, les variétés ayant de faibles valeurs P_i , se caractérisent généralement par une faible somme des rangs, une meilleure présence dans le premier tiers et une valeur élevée de l'indice STI.

La somme des classements de Kang présente des liaisons similaires à celles de P_i , sauf que l'indice $\sum r$ est négativement lié avec les moyennes des rendements fourragers, calculées sur l'ensemble des saisons, les moyennes variétales obtenues au cours de la saison la plus

favorable à la production fourragère et les moyennes de la saison la moins favorable. Par contre, l'indice Pi ne présente de liaisons négatives qu'avec les deux premières variables citées (Tableau 21).

L'écovalence de Wrinkle (1962) reste complètement indépendante des autres indices calculés, ainsi que des moyennes variétales, calculées sur l'ensemble des saisons et celles mesurées au cours des saisons favorable et défavorable. Cet indice mesure la stabilité de type 1, dite stabilité biologique, selon la définition de Lin *et al.*, (1986), ce qui n'est pas le cas pour les autres indices qui donnent une mesure de la stabilité de types 2 et de type 3.

L'indice STI de Fernandez *et al.*, (1992) fournit les mêmes informations que les indices Pi et $\sum r$ avec lesquels il est significativement lié. Les valeurs élevées de cet indice sont indicatrices de performance et de stabilité élevées. L'indice YSI ne présente pas de corrélations avec les autres indices, mais il est positivement corrélé avec les rendements des variétés obtenus au cours de la saison la plus défavorable (Tableau 21).

Les variétés qui donnent un rendement de matière sèche au-dessus de la moyenne de l'ensemble des variétés testées, au cours de la saison défavorable, tolèrent donc les stress du milieu de production. L'indice GE ne présente de liaison significative qu'avec le rendement des variétés lors de la saison favorable. Le signe négatif de la liaison suggère que ce sont les variétés qui présentent un rendement de matière sèche élevé lors de la saison favorable qui contribuent le moins à l'interaction génotype x environnements. L'indice ToP présente les mêmes caractéristiques que l'indice STI, discuté ci-dessus (Tableau 21).

3. Classification des variétés sur la base des indices de la stabilité

Le groupage des variétés sur la base des valeurs des indices de stabilité et des valeurs moyennes de rendement de matière sèche de toutes les saisons et des saisons favorables et défavorables montre l'existence de deux groupes de variétés au comportement très contrastés (Figure 22). Le premier groupe est constitué des variétés Flecha endophytée et non endophytée, et des variétés Fraydo, Kasbah et Tanit. Lors que le second groupe est constitué des variétés porto, Delta, Lutine, Sisa, Centurion, Jana, Medly, Currie et Ottava (Figure 22).

Les principales différences entre les deux groupes de variétés résident dans les valeurs des indices GE, MiD, BoT, Pi, $\sum r$ et Wi qui sont relativement faibles chez le groupe G1 et élevées chez le groupe G2 et l'inverse est noté chez les deux groupes pour les valeurs prises

par les indices ToP, YSI et STI (Figure 23). Ces résultats indiquent que Flecha E+, Flecha E-, Fraydo, Kasbah et Tanit possèdent la capacité de répondre mieux aux conditions de croissance des différentes saisons tout en étant plus stables et plus régulières d'une saison à l'autre (Figure 24).

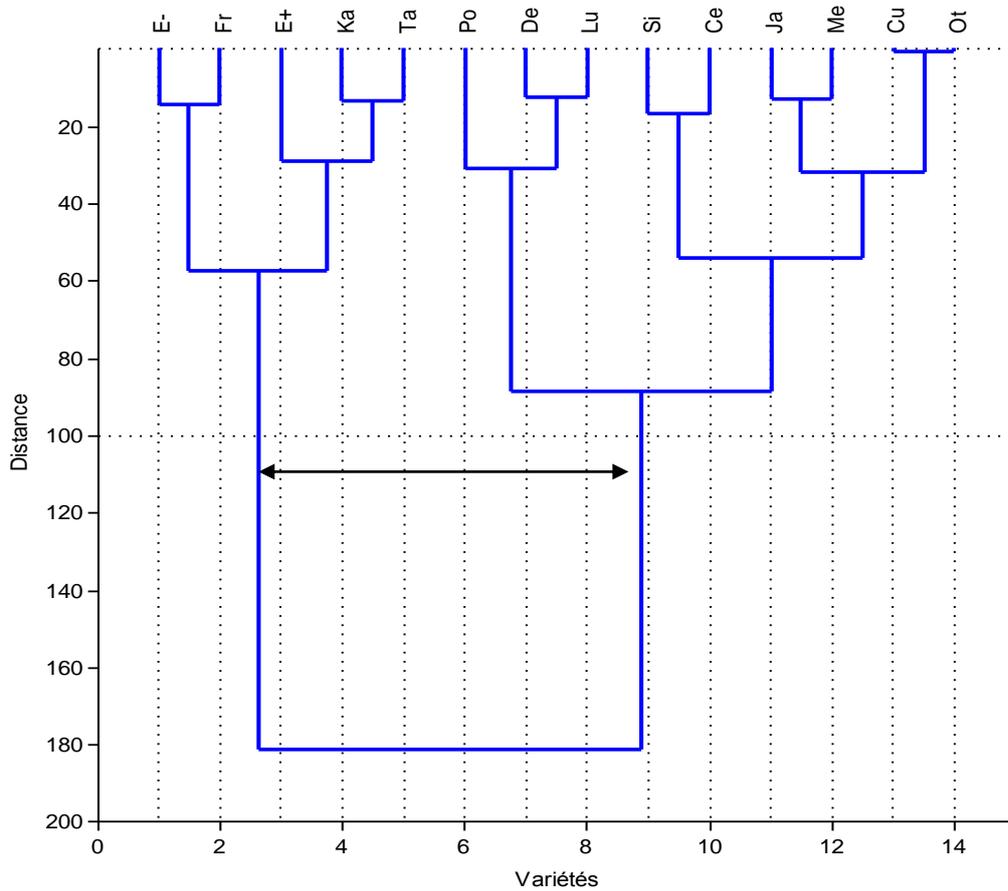


Figure 22. Classification hiérarchique des différentes variétés sur la base des indices de la stabilité et des performances moyennes de l'ensemble des saisons et des saisons favorable et défavorable.

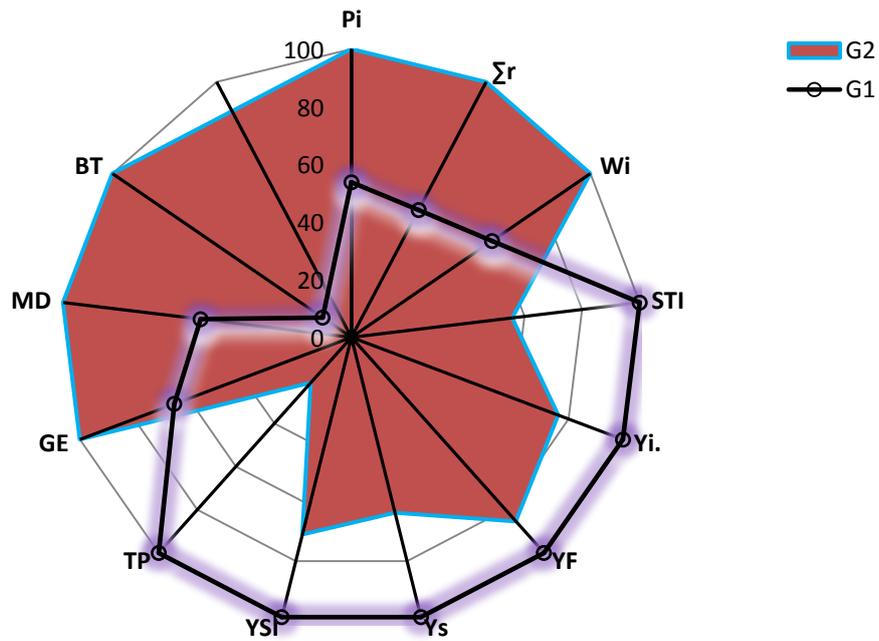


Figure 23. Caractéristiques des deux groupes de variétés contrastés de par les valeurs prises par les indices de la stabilité, des moyennes de rendement fourrager de l'ensemble des saisons et des saisons favorable et défavorable.

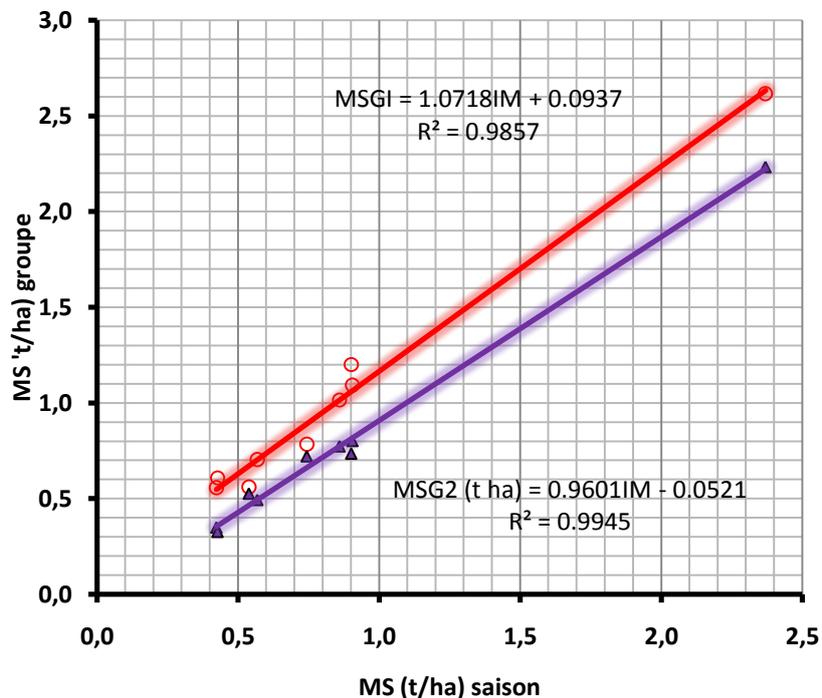


Figure 24. Réponse du rendement de matière sèche des deux groupes de variétés à la fertilité des saisons (G1= variété Flecha E+, Flecha E-, Fraydo, Kasbah et Tanit ; G2= Jana, Medly, Delta, Ottawa, Porto, Centurion, Sisa, Currie et Lutine).

IV. Efficacité d'utilisation des précipitations

La région des hauts plateaux se distingue par une grande variation de la quantité des précipitations enregistrées par saisons. Ces quantités présentent une distribution bimodale avec absence presque totale de pluies au cours de l'été et une partie de l'automne et une présence plus accrue au cours de l'hiver-début printemps (Chennafi *et al.*, 2006).

Selon le rapport de la commission inter gouvernementale sur le changement climatique (IPCC, 2007), le climat de cette région sera plus variable avec une tendance vers la réduction des précipitations et une augmentation de la température. Sous les conditions présentes et à l'avenir, de production, il est nécessaire de s'intéresser de plus près à l'efficacité d'utilisation des ressources qui sont déjà insuffisantes dès à présent et qui risquent de l'être plus dans un proche avenir. Les ressources en eau figurent parmi les principaux facteurs limitant la production végétale (Baron and Bélanger, 2007).

Du point de vue espèces cultivées, les graminées pérennes, en plus de leur contribution à la production fourragère, elles jouent aussi un rôle essentiel dans la protection des sols (McCallum *et al.*, 2004) et la réhabilitation des parcours. Pour une plus grande durabilité des agro systèmes où figurent ces espèces, il est essentiel d'identifier des variétés qui sont performantes et persistantes (Medrano *et al.*, 1998 ; Kemp et Michalk, 2007).

Dans ce contexte, une meilleure connaissance des mécanismes de tolérance et d'efficience d'utilisation des ressources renforce l'atteinte d'un tel objectif. Si les plantes annuelles esquivent les stress grâce au raccourcissement de leur cycle de vie, qu'elles synchronisent avec la période favorable à la croissance ; les graminées pérennes, quant à elles, survivent les périodes de stress, notamment au cours de l'été, en passant à l'état de dormance, ce qui leur permet de persister (Assuero *et al.*, 2002 ; Turner, 2004).

Les graminées annuelles utilisent l'eau disponible au cours de la saison favorable à la croissance, passant la période de stress à l'état de graines. Par contre, les graminées pérennes utilisent les disponibilités du milieu au cours de la période favorable à la croissance et limitent toutes activités physiologiques, au cours de la saison sèche (Norton *et al.*, 2006). La valorisation des ressources et notamment celle de l'eau est ciblée à travers l'analyse de l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) pour produire de la biomasse.

L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) ou la productivité des eaux des précipitations (PEP) est le ratio de la biomasse aérienne sur le volume de l'eau transpirée (T) et évaporée (E) au cours de la période durant laquelle la biomasse aérienne a été accumulée (Kijne *et al.*, 2003). L'analyse des valeurs prises par l'efficacité d'utilisation des précipitations des différentes variétés au cours des différentes saisons montre une très importante variabilité, entre saisons et entre variétés (Tableau 22, Figure 25).

Tableau 22. Valeurs moyennes et extrêmes de l'EUE ($\text{g/m}^2/\text{mm}$) pour produire de la matière sèche chez les différentes variétés et les différentes saisons.

Variétés	Moyenne	Max	Min	Saisons	Moyenne	Max	Min
Jan	5.6	14.1	1.0	S1	3.0	5.4	1.8
Med	5.7	12.0	0.8	S2	6.9	8.8	6.0
Kas	6.1	9.5	2.5	S3	10.6	14.7	6.9
Del	5.0	10.6	1.0	S4	12.9	19.3	9.2
Cur	5.1	11.3	1.3	S5	2.3	3.8	0.4
Por	4.7	19.3	0.0	S6	5.7	7.9	2.3
Ott	5.0	9.2	1.3	S7	1.4	2.5	0.0
Tan	6.0	10.3	1.6	S8	5.5	15.8	0.0
Sis	7.0	15.8	1.3				
E+	6.5	14.1	1.3				
Cen	6.5	13.3	1.9				
E-	8.0	18.5	2.2				
Lut	5.7	13.5	0.9				
Fra	7.7	14.7	2.3				

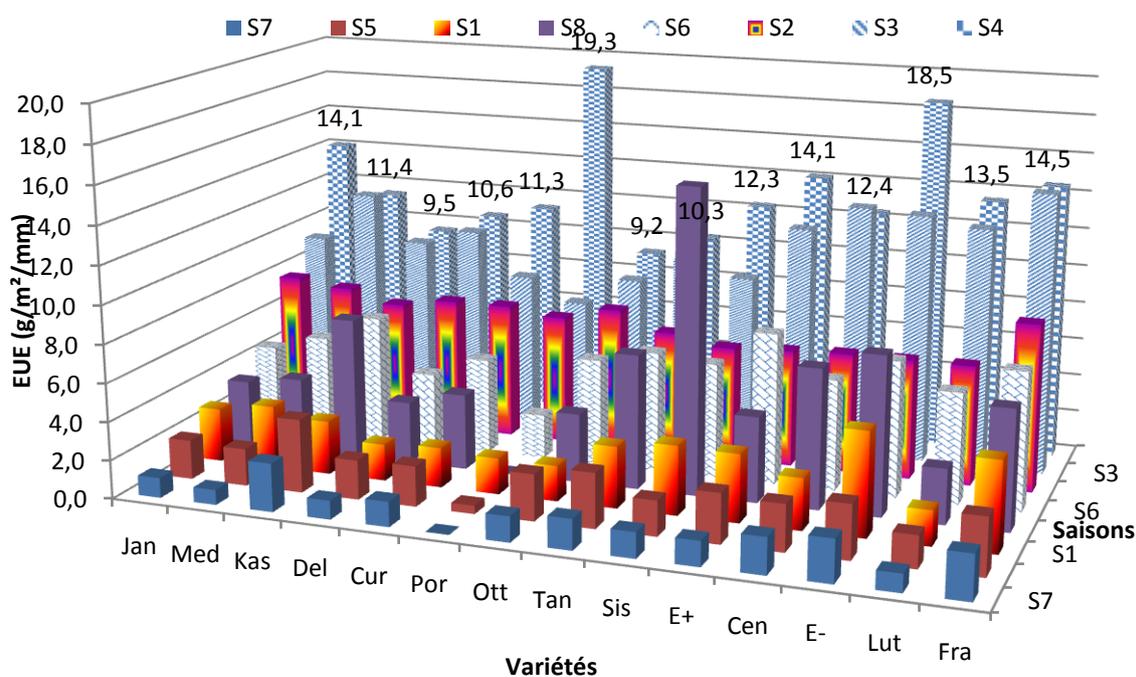


Figure 25. Valeurs de l'EUE ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$) pour produire de la matière sèche des différentes variétés et au cours des différentes saisons.

Ainsi, la valeur minimale la plus faible ($0.0 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$) est notée chez Porto qui a cessé toute production de matière sèche dès la 6^{ème} saison. Cette valeur est suivie par la valeur de Lutine ($0.9 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$) et celle de Medly ($0.8 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$). Les valeurs minimales les plus élevées sont notées chez Kasbah, Fraydo et Flecha non endophytée avec 2.5, 2.3 et $2.2 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$, respectivement (Tableau 22, Figure 25).

Les moyennes les plus élevées sont mesurées chez Flecha non endophytée, Fraydo et Sisa, avec des valeurs variant de 7.0 à $8 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$. Les valeurs maximales sont notées chez Porto avec $19.3 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$, et Flecha non endophytée avec $18.5 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$. Les moyennes saisonnières varient de 1.4 à $12.9 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$, avec un maxima de 19.3 et un minima de $0.0 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ (Tableau 22, Figure 25).

Cette variabilité des valeurs prises par l'EUE émerge suite à des différences saisonnières du point de vue durée de cycle, période de croissance, quantités de pluies et moyennes des températures enregistrées. Ainsi le positionnement du cycle de la culture varie d'une saison à l'autre (Figure 26), ce qui a fait que les coupes automnales sont moins favorisées que les coupes des saisons printanières. La durée du cycle par saison varie de 36 jours pour la saison 4 (S4) à 263 jours pour la saison une (S1) (Tableau 23).

La moyenne des températures moyennes varie de 5.9 à 20.7°C et la moyenne des températures maximales varie de 11.0 à 28.2°C et celle des moyennes minimales varie de 0.8 à 13.4°C (Tableau 23). Le cumul de pluie enregistrée par saison varie, quant à lui, de 28.2 mm à 308.5 mm et l'humidité relative moyenne saisonnière de 49.7 à 77.9% (Tableau 23). L'étude des liaisons des quantités de matière sèche accumulées par saison (moyennes de toutes les variétés) montre qu'elles ne sont pas liées significativement avec le cumul pluviométrique. En effet, le coefficient de rang de Spearman (r_s), entre le cumul pluviométrique saisonnier et la matière sèche récoltée, prend une valeur de 0.108 avec une probabilité $p = 0.802$. Par contre, le rendement de matière sèche saisonnier est significativement affecté par les moyennes des températures saisonnières et par l'humidité relative de l'air ambiant ($r_{MS_TM} = -0.735$, $p < 0.000$; $r_{MS_TX} = -0.831$, $p < 0.000$; $r_{MS_Tm} = -0.735$, $p < 0.000$; $r_{MS_RH} = 0.831$, $p < 0.000$).

Ces résultats suggèrent que des températures plus douces et une humidité relative élevée sont plus avantageuses pour la production de matière sèche chez les graminées pérennes, sous les conditions des hauts plateaux Sétifiens. L'EUE est négativement liée à la durée du cycle ($r_{EUE_Durée} = -0.714$, $p < 0.000$) et à la quantité de pluie enregistrée

par saison ($r_{EUE_Pluie} = -0.714$, $p < 0.000$). Ces résultats suggèrent que les saisons courtes et bien que moins arrosées se révèlent les plus efficaces en termes de valorisation de la ressource hydrique.

année	Mois	Cycle	années	Mois	cycle	année	Mois	Cycle	année	mois	cycle		
2005	11	↑		11	↑	2007	12	↑	2008	12	↑		
	11			12			2008		1			2009	1
	12			12					1				1
	12			2007		1			2				2
2006	1	S1 ↓		1	S3 ↓		2	S6 ↓		2	S8 ↓		
	1			2			3			3			
	2			2			3			3			
	2			3			4			4			
	3			3			4			4			
	3			4			5						
	4			4			5						
	4			5		↕	6						
	5			5		↕	6						
	5			6		↑	7						
	6			6		S5 ↓			7	S7 ↓		7	
	6		7		8			8					
	7		7		8			9					
	7		8		9			9					
	8		8		9			10					
	8		9		10			10					
	9		9		10			11					
	9		10		11			11					
	10		10		11			11					
	10		11		2008		12		12				
	11		11										
			12										

Figure 26. Positionnement du cycle de la culture dans le temps pour les différentes saisons

Tableau 23. Durée du cycle (D, j), moyennes des températures moyennes (T_m , °C), maximales (T_X , °C) et minimales (T_m , °C) saisonnières, humidité relative moyenne (RH, %) et cumul pluviométrique saisonnier (P, mm).

Saison	D	TM	TX	Tm	RH	P	DM
S1	263.0	11.4	17.5	5.3	67.4	301.9	0.9
S2	157.0	20.7	28.2	13.4	49.7	84.0	0.5
S3	155.0	8.3	13.9	3.0	75.9	244.6	2.4
S4	36.0	16.0	22.5	8.7	60.9	28.2	0.7
S5	183.0	19.6	26.8	12.6	54.7	185.5	0.4
S6	148.0	8.0	14.4	1.6	71.7	100.0	0.6
S7	225.0	18.5	25.3	12.0	59.6	308.5	0.5
S8	114.0	5.9	11.0	0.8	77.9	163.5	0.9

Les résultats de la présente étude, relatifs à la variabilité des valeurs prises par l'EUE, corroborent ceux rapportés par la littérature. En effet, selon Nielsen *et al.*, (2005) et Da Costa et Huang (2006) les valeurs de l'EUE varient amplement d'une année à l'autre, d'un site à l'autre et d'une saison à l'autre, en fonction de la variation des conditions climatiques, de sols et de plantes. Les conditions climatiques affectent l'EUE par l'intermédiaire de la distribution pluviométrique, l'humidité relative, et le déficit de la pression de vapeur. Les disponibilités en eau affectent significativement l'EUE, selon Lovelli *et al.* (2007), qui mentionnent qu'à mesure que la végétation est stressée, l'EUE augmente. Ceci parce que les stomates, en se fermant, sous l'effet du stress hydrique, affectent plus la transpiration que la photosynthèse, ce qui conduit à une amélioration de l'EUE.

Moreno *et al.*, (2008) observent aussi une amélioration de l'EUE sous stress hydrique chez le dactyle. Chez le bersim, Lazaridou et Koutroubas (2004) rapportent aussi le même phénomène relatif à l'amélioration de l'EUE sous stress hydrique comparativement à l'absence de stress. Ceci n'est pas toujours vrai dans la mesure où Da Costa et Huang (2006) n'observent pas de différences significatives de l'EUE en absence et en présence du stress hydrique, chez le raygrass. Guo *et al.*, (2006) mentionnent que l'EUE est une caractéristique utile pour la sélection de variétés performantes et résilientes sous conditions semi-arides. Dans le cadre de la présente étude l'EUE n'est pas significativement corrélée avec le rendement de matière sèche des différentes saisons et variétés ($n = 14 \times 8 = 112$ valeurs, $r_{MS_EUE} = 0.4012$). Ceci remet en cause l'EUE comme critère de sélection pour les régions semi-arides comme le suggèrent Guo *et al.*, (2006).

L'analyse plus fine de la relation entre la matière sèche produite et l'EUE indique deux types de saisons rencontrées au cours de cette expérimentation. Des saisons dont le cumul pluviométrique est relativement élevé, associé à une production de matière sèche élevée, et des saisons dont le cumul est plus faible ainsi que la production de matière sèche qui est permise par ce cumul. Une variété donnée au cours des deux types de saisons peut présenter la même EUE mais des valeurs différentes de matière sèche produite (Figure 27). Cependant à l'intérieur de chaque type de saisons, la relation entre le rendement de matière sèche et l'EUE est significative et élevée ($r_{MS1_EUE} = 0.9648$, $p < 0.000$; $r_{MS2_EUE} = 0.8528$, $p < 0.000$), ce qui renforce la suggestion faite par Guo *et al.*, (2006).

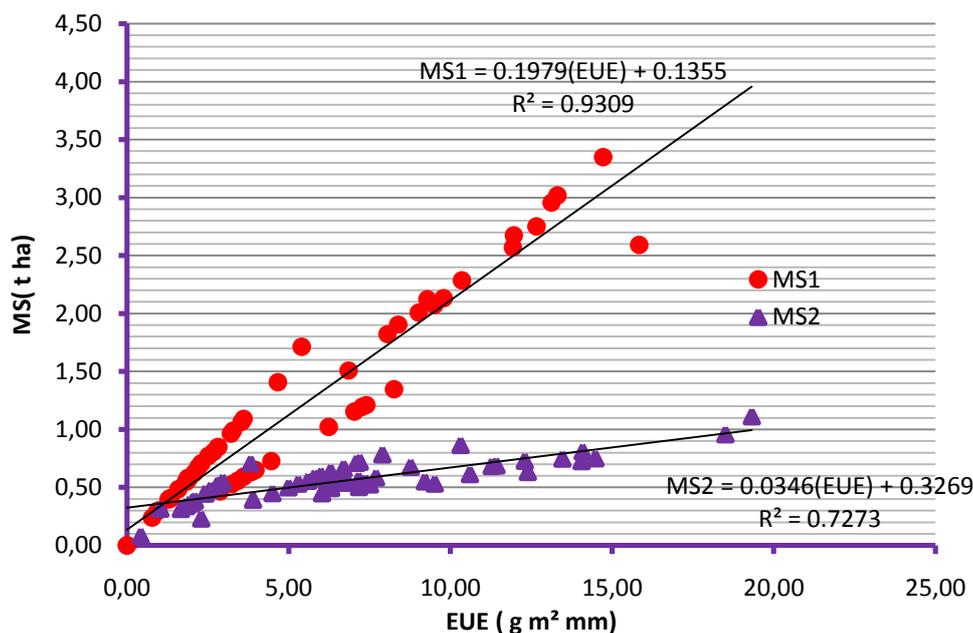


Figure 27. Relations entre le rendement de matière sèche produite par saison et l'EUE, chez des saisons à faible et fort potentiel de production.

Les deux types de saisons diffèrent pour la quantité de pluie accumulée qui varie de 28.2 à 185.5 mm pour les saisons de type 2 et de 163.5 à 308.5 mm pour les saisons de type 1. L'EUE est affectée aussi sous conditions semi-arides par la part de l'eau qui est transpirée (T) relativement à la quantité totale évapotranspirée (T + E). La composante T de l'évapotranspiration, estimée à partir de la matière sèche produite par variété, varie selon les saisons de 0.00 pour Porto à 316.6 mm, pour Flecha non endophytée. La valeur moyenne est de 158.7 mm. La part évaporée (E) varie de 0.0 à 308.5 avec une moyenne de 61.9 mm. Selon Ehlers et Goss (2003) la composante E de l'ET est très variable d'une saison à l'autre.

Les valeurs nulles de la composante E émergent suite au fait que la composante T est largement supérieure au cumul des pluies plus le stock d'humidité emmagasinée dans les 80 cm du profil. Ce qui suggère, que sous ces conditions, la matière sèche produite l'a été largement grâce à l'utilisation de l'humidité résiduelle disponible au-delà des 80 cm du profil. Ceci suggère aussi que seules les variétés qui développent un système racinaire au-delà des 80 cm sont aptes à utiliser cette humidité résiduelle. Cette aptitude subdivise les variétés étudiées en deux groupes. Le premier groupe se distingue par un ratio T/(T+E) plus élevé que le groupe 2, dont les moyennes sont 0.81 et 0.63 respectivement (Figure 28).

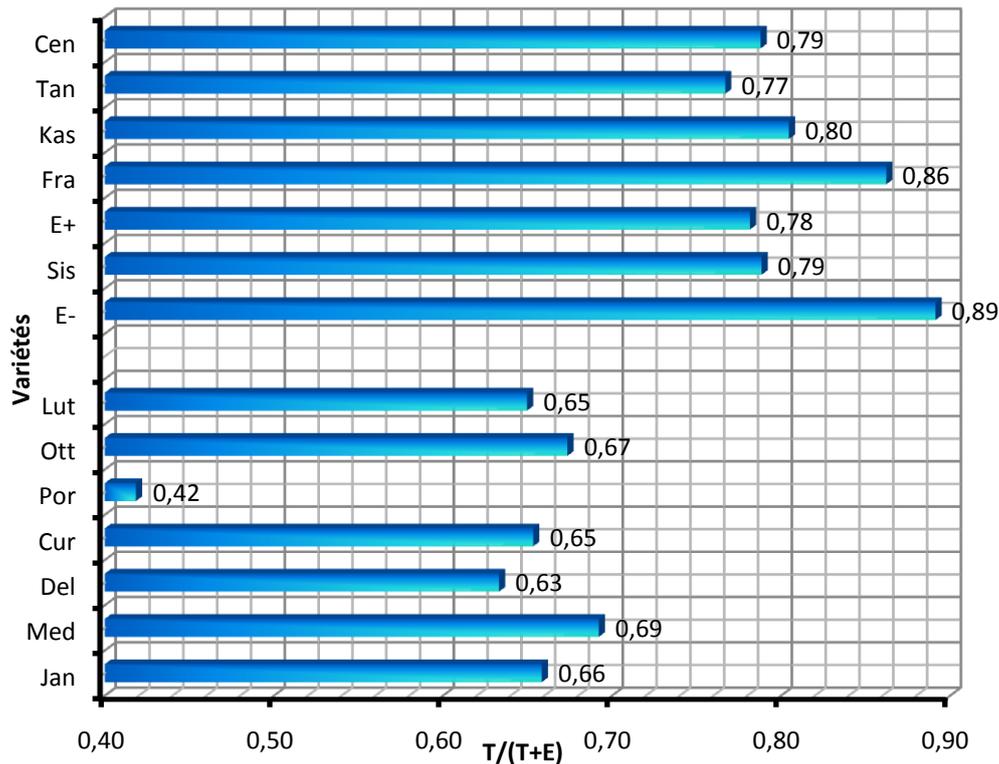


Figure 28. Ratio T/(T+E) des différentes variétés, moyennes des 8 saisons étudiées.

Synthèse

Les résultats de la présente étude indiquent l'existence d'un large éventail de variabilité suite à la diversité des réponses des variétés évaluées des deux espèces. Ces résultats montrent aussi des possibilités de sélection d'un matériel végétal adapté aux conditions spécifiques des zones semi-arides des hauts plateaux Algériens. Cette étude a permis d'identifier les géotypes performants, caractérisés par un haut rendement, une bonne croissance en hauteur, une précocité à l'épiaison ainsi qu'une bonne persistance.

Chez les graminées fourragères, la production agronomique est directement liée à la vitesse de croissance des organes aériens. Les réponses adaptatives pour la production de la matière sèche et la persistance de la végétation reposent essentiellement sur l'adaptation spécifique des cultivars au stress hydrique. Cette dernière exige une capacité de maintenir un niveau bas de croissance tout au long de la période du stress, ou une capacité d'entrer en dormance.

La présence ou l'absence d'une dormance estivale complète a un impact crucial sur l'adaptation spécifique des cultivars méditerranéens au stress hydrique sévère ou modéré (Annichiarico *et al.*, 2011). Selon volaire *et al.*, (2009), ces cultivars sont marqués par une dormance estivale partielle, qui est une caractéristique pour améliorer la persistance dans les environnements où l'été est long et sec.

La sélection de variétés adaptées et performantes sous conditions semi-arides est un moyen sûr et apte à assurer à la production fourragère un développement durable. En climat méditerranéen, où la sécheresse estivale est intense et dure plus de 3 mois, il n'y a pas de croissance significative pendant cette période. La résistance est l'aptitude à survivre, à conserver un peuplement élevé pendant la sécheresse de cette saison, et à reprendre croissance au retour des premières pluies d'automne.

Les stratégies et mécanismes physiologiques développés par les plantes pour ces deux types de résistances peuvent être différents, voire s'opposer. La plupart des cultivars sélectionnés pour des conditions tempérées, y compris chez des espèces globalement considérées comme résistantes telles que le dactyle et la fétuque élevée, subissent de fortes mortalités et présentent une pérennité plus faible que les cultivars méditerranéens (Volaire *et al.*, 2007).

La persistance de la prairie est une préoccupation majeure dans le processus de sélection variétale, car les plantes subissent de nombreux stress d'origines variées, les rythmes d'exploitation intensifs, le surpâturage, le tassement de machines de récolte, les effets mécaniques de l'arrachement ou du piétinement, sans oublier les stress climatiques qui amplifient les effets liés à la gestion de la pâture.

Après la matière sèche produite, la caractéristique la plus importante serait la précocité de la variété qui aide à une meilleure persistance. La qualité peut être, plus ou moins, contrôlée par la gestion de la prairie, notamment par la périodicité des coupes ou de pâtures. A ce sujet, Volaire et Lelièvre, (1997) signalent que la date de floraison est significativement corrélée ($r^2=0.75$) à la survie à la sécheresse. Les génotypes les plus précoces sont originaires des régions les plus semi-arides et sont aussi les plus résistants (Volaire et Lelièvre, 1997). Cette précocité favorise une plus longue période de repousse et la mise en réserve carbonée avant l'avènement de la saison d'été.

Les résultats de la production de matière sèche indiquent l'adaptation, toute relative, à l'environnement testé, des cultivars Flecha et Fraydo comparativement aux autres cultivars évalués. Ces deux variétés se caractérisent par des performances moyennes à élevées par saison et par cycle de culture. En deuxième position viennent les cultivars centurion et Flecha endophytée, qui sont suivis par les dactyles Kasbah et Medly. Les variétés de dactyles Porto, Currie et Delta1 sont les moins productives.

Le comportement similaire des variétés Flecha, Fraydo et Centurion pourrait être du à leur dormance incomplète (Norton *et al.* 2008) d'une part et à d'autres mécanismes physiologiques de l'évitement ou de la tolérance à la sécheresse d'autre part et qui semblent avoir un impact majeur sur l'adaptation au stress hydrique estivale sévère. Le modèle de tolérance à la sécheresse présentée par Flecha, Fraydo et Centurion est compatible avec le niveau élevé de stress hydrique qui a caractérisé leurs environnements de sélection par rapport à ceux des autres cultivars (Pecetti *et al.*, 2011).

Cela confirme l'importance du choix des milieux d'origine des variétés sélectionnées pour des environnements stressants. Ceci est de plus en plus reconnu chez d'autres espèces (Ceccarelli 1989). Il est important de signaler, que le printemps est la saison la plus productive, comparativement à l'automne et l'hiver. Là aussi, les génotypes les plus performants sont Fraydo, Centurion et Flecha non endophytée, alors que les moins productives sont Jana, Delta, Currie, Ottava, et Porto.

Quant à la hauteur de végétation à la période de coupe qui est directement liée au niveau de production de la variété montre que l'élongation de la tige est lente au début de chaque cycle, où les différences entre espèces sont relativement faibles. L'élongation devient plus élevée, en fin de cycle. Les moyennes maximales montrent que les fétuques expriment une meilleure réponse aux conditions environnementales que les dactyles. Chez les premières, Fraydo et Flecha non endophytée présentent les hauteurs les plus importantes avec des valeurs de 111.5 et 114.3 cm, respectivement et sont par conséquent, les plus adaptées à un régime de fauche, lutine est la plus courte. Par contre chez les dactyles, les variétés les plus hautes sont Jana et Medly et les plus courtes sont Ottava et porto, recommandées pour un régime de pâturage.

L'analyse du taux de recouvrement du sol par la végétation ou persistance indique que les génotypes Kasbah, Tanit et Flecha endophytée et non endophytée sont celles qui

présentent les meilleures persistances. Porto est le génotype le moins persistant, dont la végétation disparaît complètement au terme de la quatrième saison de mise en exploitation. L'évolution du pourcentage de recouvrement des différentes variétés analysées par la régression montre des comportements contrastés.

Les génotypes les plus sensibles, qui montrent une faible persistance temporelle, appartiennent au dactyle, exception faite du cultivar kasbah qui montre un bon niveau de persistance comparativement aux variétés Jana, Medly et Porto qui présentent des coefficients de régression de -4.2%, -5.0% et -8.2% de réduction du recouvrement du sol pour chaque % de réduction de la moyenne de l'ensemble des 14 génotypes testés. Parmi les génotypes de fétuque, Lutine et Sisa sont les moins persistants alors que les plus persistants sont Flecha endophytée et non endophytée. La présence de l'endophyte chez le cultivar Flecha ne semble pas apporter un plus comparativement au comportement de Flecha non endophytée; les deux cultivars présentent le même degré de persistance.

La persistance à des périodes d'été longues et chaudes et une activité hivernale élevée, visant à optimiser les ressources en eau lorsqu'elles sont disponibles, ont été fortement prises en compte lors de la sélection de la variété Fraydo (Reed *et al.*, 2004). Ceci semble être à l'origine de l'adaptation et la persistance de cette variété aux conditions agro-climatiques de cette expérimentation. Flecha a été sélectionnée dans des conditions difficiles en Argentine (Pecetti *et al.*, 2011). Elle possède au moins deux caractères qui contribuent à la tolérance de la sécheresse. Le système racinaire profond lui fait esquiver la sécheresse (Volaire 2008), et le développement d'un collier étendu de feuilles sénescentes autour des jeunes talles durant l'été, augmenter la survie des talles sous conditions de sécheresse (Norton *et al.*, 2006b).

Pour Tanit, il est probable que son origine marocaine et sa dormance estivale incomplète pourraient être à l'origine de son adaptation aux conditions semi-arides, manifestée par sa bonne persistance. La variété Kasbah s'est distinguée par une bonne persistance, suite sa dormance complète, qui lui permet de survivre à des sécheresses sévères (Norton *et al.*, 2006a; Norton *et al.*, 2006c). La mauvaise persistance des variétés de dactyle Ottava et Porto et de fétuque élevée Lutine et Sisa, est liée à l'absence de dormance estivale chez ces cultivars. Leur origine des régions tempérées de l'Europe explique aussi les difficultés de leur adaptation malgré leurs bonnes performances durant les deux premières années. Volaire et Lelièvre (1997), Assuero *et al.*, (2002) ainsi que Lelièvre et Volaire, (2009) mentionnent la faible persistance de ces cultivars.

Carrow *et al.*, (1996) ainsi que Qian *et al.*, (1997) font observer que les fétuques incomplètement dormantes telles que Centurion, Tanit, Fecha et Fraydo avaient en moyenne un nombre total de racines 40 % plus élevé que le type méditerranéen complètement dormant, le dactyle Kasbah. En effet, les réponses adaptatives de fétuques élevées au déficit hydrique ont été principalement associées au phénomène de l'évitement de la sécheresse grâce à leur système racinaire profond (Boschma *et al.*, 2003). Lelièvre *et al.*, (2011) rapportent une profondeur du système racines plus importante chez les variétés Centurion, Tanit, Fecha et Fraydo que chez la variété Kasbah.

La survie des plantes à travers des sécheresses estivales sévères et prolongées peut être améliorée par la réduction de l'activité métabolique et la déshydratation des tissus méristématiques qu'implique la dormance complète, grâce à la réduction de la consommation des sucres et des protéines de réserve des tissus foliaires basale (Volaire et Norton, 2006). L'arrêt de toute repousse au cours de l'été est avantageux à la survie du peuplement prairial (Annichiarico *et al.*, 2011).

Les variétés de fétuque se sont montrées plus précoces par rapport aux variétés de dactyle. Il y a une certaine évidence pour une meilleure tolérance à la sécheresse chez le germoplasme à épiaison précoce (Pecetti *et al.*, 2011), comme le confirment beaucoup de travaux sur le dactyle, où une corrélation entre la précocité et la tolérance à la sécheresse a été rapportée à plusieurs reprises (Volaire et Lelièvre 1997 ; Volaire *et al.*, 1998 ; Shaimi *et al.*, 2009).

La précocité pourrait facilement être sélectionnée dans les programmes de reproduction et peut être utile comme un critère de sélection indirecte, surtout si la sélection pour les environnements arides devait être effectuée dans des sites favorables. Ce caractère, qui est dépendant à la fois du génotype et du milieu environnant, nous a permis de distinguer en année à épiaison tardive correspondant à l'année d'installation que Flecha endophytée, Flecha non endophytée et Centurion sont les variétés les plus précoces avec une durée de 123, 127 et 128 jours, respectivement et que Medly, delta1 et Lutine sont les plus tardives. En année plus précoce, Flecha endophytée et Flecha non endophytée ainsi que Fraydo et Medly sont les plus précoces avec des durées allant de 95.0 à 98.0 jours ; alors que Delta1 est la plus tardive avec une épiaison de 110 jours.

Quant aux valeurs de l'efficience d'utilisation de l'eau, elles montrent que la valeur minimale la plus faible est notée chez Porto qui a cessé toute production de matière sèche dès la 6^{ème} saison, bien que cette variété a enregistré la meilleure valeur de l'EUE lors de la quatrième saison. Porto est suivie par Lutine et Medly. Les valeurs minimales les plus élevées sont notées chez Kasbah et Flecha non endophytée. Les moyennes les plus élevées sont mesurées chez Flecha non endophytée, Fraydo et Sisa. L'EUE est directement liée à la survie des variétés.

L'efficience d'utilisation de l'eau n'est pas significativement corrélée avec le rendement de matière sèche des différentes saisons et variétés. Ceci remet en cause l'EUE comme critère de sélection pour les régions semi-arides comme le suggèrent Guo *et al.*, (2006), mais quelle est plutôt corrélée avec la survie et par conséquent avec la tolérance à la sécheresse. Blum (2009) considère que l'EUE est un paramètre déterminant de la résistance des cultures à la sécheresse. En revanche, Lelièvre *et al.* (2011) suggèrent que l'EUE et la résistance à la sécheresse représentent deux formes distinctes d'adaptation chez les graminées pérennes cultivées dans les zones semi-arides.

De ce fait, les plantes pérennes doivent successivement croître dans les saisons des pluies et survivre sous l'aridité de l'été. La survie à la sécheresse peut avoir un effet direct sur l'EUE à travers la mortalité et le taux de récupération après des pluies automnales. Mais les graminées pérennes adaptées à ces milieux telles que les variétés de fétuques Flecha non endophytée, Fraydo et Sisa ainsi que le dactyle Kasbah semblent présenter un bon compromis entre la tolérance à la sécheresse et l'efficience d'utilisation de l'eau.

Kasbah et Delta1 présentent en moyenne les meilleures TRE. Sinclair et Ludlow (1985) estiment que la teneur relative en eau constitue un paramètre simple de mesure du volume relative cellulaire, déterminant important sinon majeur de l'activité métabolique. La TRE reflète le bilan transpiration-absorption du tissu végétal. Plus la TRE est importante plus la tolérance à la sécheresse augmente, ce qui pourrait expliquer entre autres la bonne conduite de la variété Kasbah dans les conditions contraignantes du site expérimental.

Volaire (2001) affirme qu'une bonne teneur en eau des feuilles encloses est synonyme d'une meilleure levée de la dormance et par conséquent, une meilleure pérennité. De même Volaire et Thomas (1995) ont signalé que chez les génotypes du *Dactylis glomerata* L., résistants à la sécheresse, les feuilles ont une plus grande élasticité membranaire et par

conséquent une plus grande teneur relative en eau. Cette dernière est le facteur majeur de la capacité de survie des plantes sous contrainte hydrique.

L'analyse des résultats de l'accumulation des osmolytes au début de la phase du stress hydrique montre qu'il n'ait pas eu de différences significatives concernant l'accumulation des sucres solubles entre les différents génotypes, néanmoins, la variété Kasbah s'est distinguée par une valeur assez élevée durant toutes les années d'expérimentation. Ceci pourrait être à l'origine de son adaptation aux conditions semi-arides. Sachant que les sucres solubles permettent de constituer une garantie pour le maintien d'une intégrité cellulaire élevée (Bensalem, 1993), et sont considérés comme un osmoprotecteur typique, stabilisateur des membranes cellulaires, permettant le maintien d'une meilleure turgescence (Mundree *et al.* 2002).

Les différences entre variétés pour la proline ne sont pas significatives. L'interaction génotype x saisons l'est, ce qui montre que lors des saisons contraignantes, certaines variétés réagissent en accumulant plus de proline. Cette accumulation a été depuis longtemps observée chez des plantes soumises à un stress abiotique et qui pourrait être considérée comme étant un indicateur de sécheresse. Les variétés de dactyles Kasbah et Ottava ainsi que les fétuques Tanit, Centurion et Flecha E⁻, ont eu les taux de proline les plus élevés. Ceci explique les taux de croissances relatives assez élevés réalisés par ces variétés.

La sénescence estivale des plantes qui est considérée comme l'une des manifestations principales de la dormance estivale, est définie par Molinowski *et al.*, (2005) comme une réponse des plantes herbacées pérennes aux jours longs et aux températures élevée, indépendamment de l'état hydrique du sol. Elle se traduit par un arrêt de toutes les fonctions de développement sauf au niveau des bourgeons et des bulbes qui servent à la ré-initiation au départ de la végétation en automne.

Les variétés Kasbah, Flecha endophytée et Flecha non endophytée sont les plus précoces quant à la sénescence foliaire estivale, par contre, les dactyles Jana, Delta1 et Porto ainsi que la variété de fétuque Lutine sont les dernières à se dessécher au début de la période estivale. Une grande sénescence foliaire peut être un mécanisme d'évitement de la déshydratation ou, dans les conditions de croissance favorables, un indicateur de dormance estivale (Norton *et al.*, 2009). Néanmoins, les conditions de notre expérimentation, menée sans irrigation estivale, ne permettent pas d'estimer avec précision les différences entre les variétés

des deux espèces concernant la dormance estivale, et ne donnent pas par conséquent, la preuve de la variation génétique de la sénescence foliaire comme un mécanisme d'évitement de la déshydratation.

Norton *et al.*, (2007) rapportent que Flecha, Fraydo et Centurion présentent une dormance incomplète, suggérant que les autres mécanismes physiologiques de l'évitement ou de la tolérance de la déshydratation ont un impact majeur sur l'adaptation au stress hydrique mettant les deux premiers cultivars comme les plus adaptés aux conditions de culture semi-arides. De même, la variété méditerranéenne de dactyle Kasbah semble mieux conçue pour ce genre de climat, elle affiche la dormance la plus précoce.

Lemaire (2006) a montré que cette caractéristique des espèces sud méditerranéennes dites à dormance estivale obligatoire est la conséquence de l'orientation des photosynthétats vers la partie racinaire qui permet la survie des plantes pendant la période des conditions rudes de l'été. Tandis que la variété océanique Porto qui n'est pas dormante répond fortement aux pluies aléatoires de l'été par l'utilisation continue de ses réserves carbonées, ce qui se traduit par une très faible pérennité dans ces conditions de culture. Elle ne présente par conséquent aucun intérêt dans nos conditions de cultures méditerranéennes (Piano *et al.*, 2004).

CHAPITRE III

DETERMINATION DE LA VARIABILITE GENETIQUE ENTRE LES VARIETES ETUDIEES PAR LES MARQUEURS MOLECULAIRES AFLP.

INTRODUCTION

Les graminées fourragères et à gazon ont un rôle important dans l'agriculture durable et contribuent largement à l'économie mondiale. Ils jouent un rôle majeur dans la production de viande et des produits laitiers et contribuent fortement dans la conservation des sols et la protection de l'environnement (Wang *et al.*, 2001).

Le genre *Festuca* contient environ 100 espèces, dont certaines sont couramment utilisées comme graminées fourragères et à gazon. Ils appartiennent à la famille des *Poaceae*, sous-famille des *Pooideae*, et de la tribu des *Poeae* (Soreng et Davis, 1998). Sur la base de la texture de leurs feuilles, ils sont divisés en deux types subgénériques, y compris les fétuques à grandes feuilles telles que *Festuca arundinacea* et *Festuca pratensis* et les fétuques fines telles que *Festuca rubra* et *Festuca ovina* (Turgen, 1985).

La fétuque élevée (*Festuca arundinacea*) est le fourrage le plus important des graminées pérennes et à gazon de ce genre. Il est largement cultivé dans les régions tempérées du monde (Sleper, 1985 ; Saha *et al.*, 2005). La fétuque élevée est une espèce hexaploïde ($2n = 6x = 42$) constituée de trois génomes (PPG1G1G2G2) avec le génome P provenant de l'espèce diploïde *Festuca pratensis* ($2n = 2x = 14$) et le génome G1G2 de l'espèce tétraploïde *Festuca glaucescens* var. *arundinacea* ($2n = 4x = 28$) (Seal, 1983 ; Sleper, 1985).

Le genre monospécifique *Dactylis* L. est un membre de la tribu des *Poeae*, sous-famille des *Pooideae* (Watson *et al.*, 1985; 1986) avec un nombre chromosomique de base $x = 7$. Il se compose d'une seule espèce *Dactylis glomerata* L. (Domin 1943) et au moins 18 sous-espèces avec des niveaux de ploïdie de $2n = 6x = 42$, $2n = 4x = 28$ et $2n = 2x = 14$. La plupart des sous-espèces sont diploïdes (Lumaret, 1988), mais les tétraploïdes représentent environ 95% du genre et présentent une grande variabilité morphologique (Lindner *et al.*, 2004).

Les variations des caractéristiques morphologiques du dactyle, les modes de répartition ainsi que les caractères agronomiques d'adaptation sont bien documentés par Lumaret *et al.*, 1987; Lumaret et Borrientos, 1990 ; Sahuquillo et Lumaret, 1995 ; Volaire et Thomas, 1995 ; Volaire, 1995 ; Bretagnolle et Thompson, 1996 ; Gauthier *et al.*, 1998 ; Lindner *et al.*, 1999 ; Tosun *et al.*, 2002.

Parmi les techniques d'évaluation de la variabilité génétique, l'AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*) est une technique de marquage moléculaire permettant de révéler par PCR des polymorphismes de restriction. Cette technique est très fiable et fournit beaucoup plus d'informations que la technique RAPD, puisqu'elle amplifie 10 fois plus de fragments. Le Polymorphisme de longueur des fragments d'amplification est hautement reproductible, moins sensible aux conditions de la réaction et ne nécessite pas d'informations sur la séquence d'ADN (Krauss et Peakall, 1998 ; Vos *et al.*, 1995).

Dans cette technique, l'ADN est digéré par 2 enzymes de restriction différentes qui créent des extrémités cohésives. Il est préférable de choisir une enzyme qui coupe fréquemment et une autre plus rarement, ceci pour obtenir des fragments d'ADN de 50 à 500 paires de bases. Deux adaptateurs, compatibles avec les sites de restrictions, sont ligaturés aux fragments d'ADN. Ensuite, des amorces spécifiques des adaptateurs, auxquelles on ajoute quelques bases aux extrémités 3' vont venir s'hybrider.

Les fragments d'ADN seront amplifiés, au cours d'une réaction de PCR en conditions strictes, uniquement s'ils présentent une complémentarité parfaite avec les bases sélectives. Les produits d'amplification sont ensuite analysés sur gel de polyacrylamide en conditions dénaturantes après avoir réalisé une coloration ou un étiquetage de l'ADN en utilisant une méthode radioactive (marquage des amorces au $\gamma^{33}\text{P}$) ou non (bromure d'éthyldium).

Cette technique a été largement utilisée pour étudier la variabilité génétique, la caractérisation des populations et l'évaluation des similarités génétiques entre et au sein des genres et espèces de graminées (Guthridge *et al.* 2001 ; Vergara et Bughrara, 2003 ; Vergara et Bughrara, 2004 ; Wu *et al.*, 2004). Mian *et al.* (2002) ont utilisé des marqueurs AFLP pour la détermination de la diversité génétique et la caractérisation de 18 populations américaines de fétuque élevée, en utilisant la méthode du Bulk d'ADN. De même, Fjellheim et Rognli (2005) ont évalué 12 cultivars nordiques et une population islandaise naturelle de fétuque des prés (*Festuca pratensis* Huds.) par la technologie des marqueurs AFLP et ont trouvé des niveaux élevés de diversité génétique.

La diversité génétique du dactyle a été évaluée par AFLP (Peng *et al.* 2008). Reeves *et al.*, (1998) ont utilisé des profils de l'ADN issus de la technique AFLP pour déterminer la relation entre la taille du génome et l'altitude du site d'origine des populations naturelles de dactyle.

MATERIEL ET METHODES

13 variétés ont fait l'objet d'analyse AFLP dont 7 de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) et 6 variétés de Dactyle (*Dactylis glomerata* L.). Les échantillons frais préalablement séchés sont coupés en petits morceaux pour être mis dans des plaques de 96 puits. L'extraction se fait selon la méthode Cheung adaptée par l'INRA de Lusignan. Cette méthode nous permet d'extraire l'ADN de 96 plantes différentes en une seule manipulation. En moyenne, il est possible d'extraire 4 fois 96 ADN /jour.

Le tampon d'extraction est composé de 2 % (p/v) de CTAB (bromure d'hexadécyltriméthylammonium), 5 M NaCl, 20 mM EDTA, 1M Tris-HCL (pH 7.5). Les autres produits d'extraction sont une solution de pré lavage au chloroforme : octanol 24 : 1 (v / v) et la RNase à 10 µg µl⁻¹ dans de l'eau distillée et autoclavée, ainsi que le tampon de nettoyage 1 composé d'éthanol absolu et de 2.5 M d'acétate de sodium), le tampon de nettoyage 2 composé d'éthanol absolu et de 1 M d'acétate d'ammonium.

1. Protocole d'extraction de l'ADN

50 mg de chaque génotype est mise dans un puits avec une bille d'acier. La plaque est ensuite placée dans un agitateur permettant ainsi un broyage très poussé des feuilles pendant 1 à 3 minutes, cette méthode permet une extraction de grande quantité d'ADN de haute qualité. 700 µl de tampon de lyse sont déposés dans la micropipette multicanaux après avoir ajouté extemporanément 1% de bisulfite de sodium et de la RNase à 10 µg/ml. Les plaques sont ensuite thermo soudées par un thermoseal et agitées au vortex à une vitesse maximum, puis incubées pendant 1heure à 60°C et agitées toutes les 15 min au vortex. Après centrifugation à 4000 rpm pendant 30 minutes à 20 °C, le thermoseal est retiré pour pipeter 400 µl de surnageant à la multicanaux et le transférer dans une nouvelle plaque 96 puits de 0.8 ml.

200 µl de chloroforme/octanol (24:1) y sont ajoutés, les plaques thermo soudées encore une fois avec un thermoseal, et mélangées par retournement pendant 5 min, puis centrifugées 30 min à 4000 rpm à 20 °C avant de retirer le thermoseal. 200 µl de la phase supérieure sont prélevées délicatement, à la multicanaux et transférées dans une nouvelle plaque de 96 puits de 0.8 ml, avant d'ajouter 120 µl (0.6 Volume) d'isopropanol et thermo souder un easypeel, puis mélanger délicatement par retournement, pour obtenir une pelote d'ADN qui est laissée

15 minutes à température ambiante puis centrifugée 30 min à 4000 rpm à 20°C. Le surnageant est vidé par retournement de la plaque. Les culots sont rincés avec 150 µl de solution de nettoyage1, centrifugés pendant 10 minutes à 4000 rpm à 20 °C, puis avec 150 µl de solution de nettoyage 2 et centrifugés encore une fois pendant 10 minutes à 4000 rpm à 20 °C. Les culots sont récupérés pour être dissouts dans 100 µl de Tris-EDTA 10.1 à pH 8 et thermo soudés par un thermoseal. Après 24 heures à température ambiante et au noir, l'ADN est mis délicatement en suspension avec une pipette multicanaux.

La qualité de l'ADN (degré de contamination de l'ADN par les ARN et les protéines) est évaluée par spectrophotométrie en contrôlant l'absorbance, respectivement à 260 nm et à 280 nm (Sambrook *et al.*, 1989). De même la quantité a été estimée visuellement sous rayons ultra-violets après migration sur gel d'agarose 0.8 % (w/v). Les échantillons sont préalablement préparés en mélangeant 2 µl de tampon de charge (bleu de charge pour agarose composé de 30 % de glycérol et de 70 % d'eau ultra pure ainsi qu'une pincée de bromophénol) et 8 µl d'H₂O au 2 µl de l'extrait d'amplification et des marqueurs. Le marqueur de quantification utilisé est le Smart Ladder de 500 à 10000 pb (Promega), durant 30 minutes à 100 volts. La coloration se fait par incubation des gels dans une solution de bromure d'ethydidium (2 µg/ml). Les films sont visualises sous UV puis photographies sur film polaroid

2. Marquage par la méthode AFLP

Avant de commencer notre amplification, nous avons procédé à la préparation des bulks où l'ADN de 4 individus de chaque variété a été mélangé dans un même tube. Nous avons pris 5 µl par individu pour avoir 20µl de solution d'ADN par variété. Nous avons opté pour 5 répétitions par variété. L'ensemble a été dilué par 100 µl d'eau Gibco.

L'amplification est réalisée dans un volume réactionnel de 20 µl de milieu contenant : 125 ng d'ADN, 0.2 mM de dNTP, 0.5U de *Taq* polymérase. Néanmoins, lors de la quantification de notre ADN par gel d'électrophorèse, on s'est aperçu que ce dernier était à 150 ng/ µl, ce qui nous à obligé de faire une dilution 1:5 pour arriver à une concentration d'environ 125 ng/ µl.

Les amorces utilisées possèdent à leur extrémité une extension M13 qui permet après son amplification d'amorcer une queue M13 fluorescente à une certaine longueur d'onde. Nous avons utilisé l'IRD700 (pentaméthine carbocyanine) qui fluoresce à 760nm.

Le protocole détaillé concernant l'AFLP est composé de cinq étapes (Vos *et al.*, 1995). Les étapes du marquage par AFLP sont les suivantes:

2.1. Digestion de l'ADN

L'ADN extrait a été porté à une concentration de 125ng/μl, 5μl de chaque échantillon ont été prélevés afin d'être digérés par deux enzymes de restriction. Ces enzymes sont *EcoRI* (12U/ μl) qui a la propriété de couper au niveau d'un site de restriction à 6 bases (G/AATTC), donc avec une fréquence faible et *MseI* (10U/ μl) qui coupe au niveau d'un site de restriction à 4 bases (T/TAA) beaucoup plus fréquemment que *EcoRI*. La majorité des fragments d'ADN doivent être inférieurs à 500 paires de bases pour une bonne séparation sur gel d'acrylamide. Les séquences des enzymes *EcoRI* et *MseI* sont respectivement 5'-GACTGCGTACCAATTC-3' et 5'-GATGAGTCCTGAGTAA-3'. La réaction de digestion enzymatique a été réalisée dans un thermocycleur à 37°C pendant 2heures.

2.2. Ligation des adaptateurs

Il s'agit de lier des adaptateurs spécifiques aux sites de restriction des différents fragments obtenus après la digestion. Une solution contenant des adaptateurs est ajoutée à chaque échantillon de la réaction précédente. Ces adaptateurs sont des séquences d'ADN connues, capables de se ligaturer au niveau des extrémités cohésives de chaque fragment grâce à l'action du tampon T4 DNA ligase (Invitrogen). Cette réaction se fait à 20°C pendant 2heures.

2.3. Préamplification

L'étape de préamplification est une première amplification des types de fragments d'ADN digérés et ligaturés. Cette amplification est obtenue par PCR en utilisant des amorces ayant des séquences complémentaires à celles des adaptateurs, avec un nucléotide en plus dans le but de préamplifier les fragments d'ADN qui ont la complémentarité avec le nucléotide supplémentaire, 2.5μl de chaque échantillon dilué 10 fois sont employés, auxquels on ajoute le « mixe » de préamplification contenant les amorces de préamplification, 10 mM

de dNTP, 5U/ μ l de *Taq* polymerase (MP Biomedicals), ainsi que le tampon de PCR 10X (MP Biomedicals) contenant déjà du $MgCl_2$. Pour l'amorce complémentaire d'*EcoRI* on a ajouté l'adénine et pour l'amorce complémentaire de *MseI* la cytosine. La réaction de préamplification est effectuée dans un thermocycleur (MJ PTC-100) selon le procédé suivant: dénaturation de l'ADN pendant 30 secondes à 94 °C, suivie d'une minute à 56 °C et d'1 min d'élongation à 72 °C. Une étape finale d'élongation est réalisée à 72 °C pendant 10 min, ce cycle est répété 20 fois pour terminer avec une température finale de 10°C.

2.4. Amplification sélective

Cette étape est précédée par le marquage de l'amorce *EcoR I* radioactivement par le pentaméthine carbocyanine (IRD 700) grâce à l'action de la T4 Kinase. Il s'agit d'amplifier cette fois-ci 5 μ l de d'ADN digérés, ligaturés et préamplifiés qu'on a dilué 40 fois en utilisant des amorces auxquelles les trois nucléotides sont ajoutés. Les réactions de préamplification et d'amplification sélective s'effectuent grâce à l'action de la *Taq* DNA polymérase dans le thermocycleur (MJ PTC-100).

Pour cette amplification sélective le programme comprend une première étape de 10 cycles divisée en une phase de dénaturation initiale de 4 minutes à 94 °C suivie d'un cycle d'une minute à 94 °C, puis une phase d'hybridation d'une minute à 65 et une phase d'élongation d'une minute et 30 secondes à 72 °C.

La deuxième étape est par contre composée de 23 cycles (1 min à 94 °C pour la dénaturation, 30 secondes à 56 °C pour l'hybridation des amorces, 1 min à 72 °C pour l'élongation). Notons que nous avons testé deux couples d'amorces pour les deux espèces, les deux ont données un bon polymorphisme pour les fétuques, mais pour les dactyles nous n'avons retenu que les profils générés par le deuxième couple d'amorces E-ACA/M-CTCG (tableau 24).

Tableau. 24 : Adaptateurs et amorces utilisés pour l'analyse AFLP.

Adaptateurs et amorces	Séquences (5'-3')
Adaptateurs	
Adaptateurs EcoR I	CTCGTAGACTGCGTACC AATTGGTACGCAGTCTAC
Adaptateurs Mse I	GACGATGAGTCCTGAG TACTCAGGACTCAT
Amorces	
E-ACG/M-CACG	
E-ACA/M-CTCG	GACTGCGTACCAATTCACA/GATGAGTCCTGAG TAACACG GACTGCGTACCAATTCACA/GATGAGTCCTGAG TAACTCG

2.5. Séparation sur gel d'acrylamide

Le système permettant de faire migrer les fragments d'ADN amplifiés est un séquenceur d'ADN LI-COR, 4000L constitué principalement de deux plaques, une en verre de 25 cm et l'autre en plastique, entre lesquelles sera coulé le gel d'acrylamide à 6.5%. La plaque en plastique qui a en même temps une cuve dans laquelle sera versée le tampon TBE est traitée avec du diméthylchlorosilane pour empêcher le gel de se coller sur celle-ci.

Trois µl d'ADN dilué à 100 % est, ensuite mélangé à volume égal avec le tampon de charge (98% formamide, 10 mM EDTA, 0.25% bleu de Bromophénol, 0.25% xylène Cyanole), puis dénaturé pendant 5mn à 95°C. 6µl de chaque échantillon sont déposés dans chaque puits du gel. La migration de l'ADN dure environ quatre heures à 40W à une température constante de 47°C. Les profils sont directement importés et enregistrés sur un fichier pour être traités par le logiciel SAGA.

3. ANALYSE DES DONNEES

La diversité génétique est estimée à partir de la matrice de présence (1) absence (0) des bandes polymorphes. La similarité génétique entre génotypes a été calculée d'après le coefficient de Jaccard (GS_{ij}): $GS_{ij} = N_{ij}/(N_i + N_j - N_{ij})$ Où N_i représente le nombre de bandes détectées sur le génotype i et non pas sur le génotype j ; N_j représente le nombre de

bandes détectées sur le génotype j et non pas sur le génotype i , alors que N_{ij} est le nombre de bandes communs sur les deux génotypes i et j .

Sur la base de la matrice de similitude, des dendrogrammes montrant les relations génétiques entre les variétés ont été réalisés selon la méthode Unweighted Pair Group Method using arithmetic average (UPGMA) attribuée à Sneath et Sokal, (1973) en utilisant le logiciel PAST version 2.4 (Hammer *et al.*, 2001). L'analyse en coordonnées principales (ACoP) est réalisée avec le même logiciel Past dans le but de regrouper les variétés étudiées.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

Les deux couples d'amorces AFLP utilisées pour analyser la distance génétique entre les différentes variétés par la méthode du bulk ont permis d'obtenir des profils d'amplification avec une bonne résolution des bandes (Figures 33, 34, 35) et un niveau de variabilité des produits d'amplification assez important.

En effet, pour ce qui est des variétés de fétuques, nous avons obtenu un nombre total de 105 fragments de tailles allant de 71 pb à 388 pb et dont 51 sont polymorphes, soit 48.57 % des bandes totales, avec 55 bandes générées par le premier couple d'amorces E-ACG/M-CACG et 50 bandes données par le deuxième couple d'amorces E-ACA/M-CTCG.

Par contre, pour les variétés de dactyle, le seul couple d'amorce retenu pour notre analyse (E-ACA/M-CTCG) nous a permis d'obtenir un nombre total de 54 bandes dont 46 sont polymorphes, soit 85.18% des bandes totales dont la taille varie entre 74 pb et 384 pb, alors que le couple E-ACG/M-CACG n'a pas révélé assez de bandes et donc pas de polymorphisme pour être retenu pour l'analyse des similarités entre les variétés de dactyle. L'utilisation d'autres couples d'amorces pourrait être réalisée ultérieurement pour déterminer les meilleures amorces adéquates pour la discrimination des populations de dactyles.

Roldan-ruiz *et al.*, (2000) ont obtenu 83 % de fragments polymorphes amplifiés par AFLP chez le raygrass. Ils qualifient ce taux d'élevé en le comparant à d'autres études basées sur des marqueurs AFLP. Bolaric *et al.*, (2005) observent un degré de polymorphisme de marqueurs RAPD de 88 % chez le raygrass anglais. Paglia et Morgante (1998) ont obtenu une moyenne de 12.6 fragments polymorphes par couple d'amorce. Majidi *et al.* (2006) ont

obtenu dans une étude sur des populations de fétuques élevées 85.4 % de bandes totales polymorphes avec une moyenne de 10 à 75 bandes polymorphes par couple d'amorce.

Des tests préalables de la technique AFLP sur des fétuques élevées ont montré que l'amplification sélective avec le couple d'amorce *EcoRI* + 3 et *MseI* + 3 produit un nombre assez élevée de fragments (plus de 200) à séparer sur gel de polyacrylamide ; par contre, la combinaison d'amorce *EcoRI* + 3 et *MseI* + 4 donne un nombre de fragments plus pratique allant de 80 à 100 (Mian et *al.*, 2002), chose qu'on a pu confirmer au cours de notre expérimentation.

L'analyse des coefficients des similarités génétiques (*GS*) des marqueurs AFLP basées sur l'indice de Jaccard et du dendrogramme UPGMA montre des valeurs variant entre 0.35 et 0.73, avec une moyenne de 0.54 suggérant une assez grande variabilité inter-variétales, et un coefficient de corrélation cophénétique $r = 0.95$ (Tableau 25, Figure 29).

A ce sujet, Powell *et al.* (1996) et Lübberstedt *et al.* (2000) ont également obtenu des coefficients de similarités élevés pour les AFLP par rapport à d'autres marqueurs. La variété australienne Fraydo et française Lutine présentent la plus grande divergence génétique ($GS = 0.35$). Fraydo apparaît génétiquement proche des variétés Française Centurion et sud américaine Flecha. Quant aux variétés européennes Tanit et Sisa, elles présentent une grande similitude génétique ($GS = 0.73$) et forment un groupe, lui-même très distant génétiquement de la variété française Lutine, et assez éloigné de la variété Centurion bien quelles soient de la même origine (Figure 29).

Les résultats de l'analyse en coordonnées principales (ACoP) basée sur l'indice de similitude de Jaccard (Figure 31) dans lesquels l'axe 1 compte 41.17% de la variation totale et l'axe 2 compte à lui 23.91% s'avèrent relativement similaires à ceux obtenus par les dendrogrammes UPGMA. En effet, l'axe 1 discrimine très nettement les variétés Fraydo et Lutine et regroupe les variétés Flecha endophytée, Flecha non endophytée et Centurion d'une part et les variétés Tanit et Sisa d'autre part.

De même, pour les variétés de dactyle, l'analyse des coefficients de similarité génétique (*SG*) sur la base des marqueurs AFLP basées sur l'indice de Jaccard (Tableau 26) et des dendrogrammes UPGMA (Figure 30) montre des taux qui varient entre 0.13 et 0.59 exprimant une grande divergence inter variétale. Les variétés Kasbah et Jana d'origines

respectives marocaine et italienne sont génétiquement les plus proches. Elles forment avec Delta1 (Portugal) et Currie (France) un groupe de variétés très proches génétiquement et qui sont relativement séparées des autres variétés mises en évidence par le dendrogramme UPGMA, à savoir la variétés italienne Ottava et française Medly, et qui présentent tout de même la plus grande divergence génétique entre toutes les variétés testées (GS = 0.13).

Les mêmes résultats sont confirmés par les ACoP (Figure 32) où les deux premières composantes expliquent plus de 71% des variations dans l'estimation des similarités génétiques et dont l'axe 1 compte 45.51% de la variation totale et l'axe 2 en compte 26. A cet effet, Cresswell *et al.*, (2001) dans une étude sur plusieurs espèces du genre *Lolium* recueillies au Portugal en utilisant des marqueurs AFLP n'avaient mentionné aucune corrélation entre la distance géographique et moléculaire. Cette même conclusion a été donnée par Bolaric *et al.*, (2005). Par contre, d'autres travaux sur d'autres genres mentionnent des corrélations positives entre les distances moléculaires AFLP et géographiques (Sharma *et al.*, 2000 sur le genre *Morus* ; Vergara et Bughrara, 2003 sur le genre *Agrostis*).

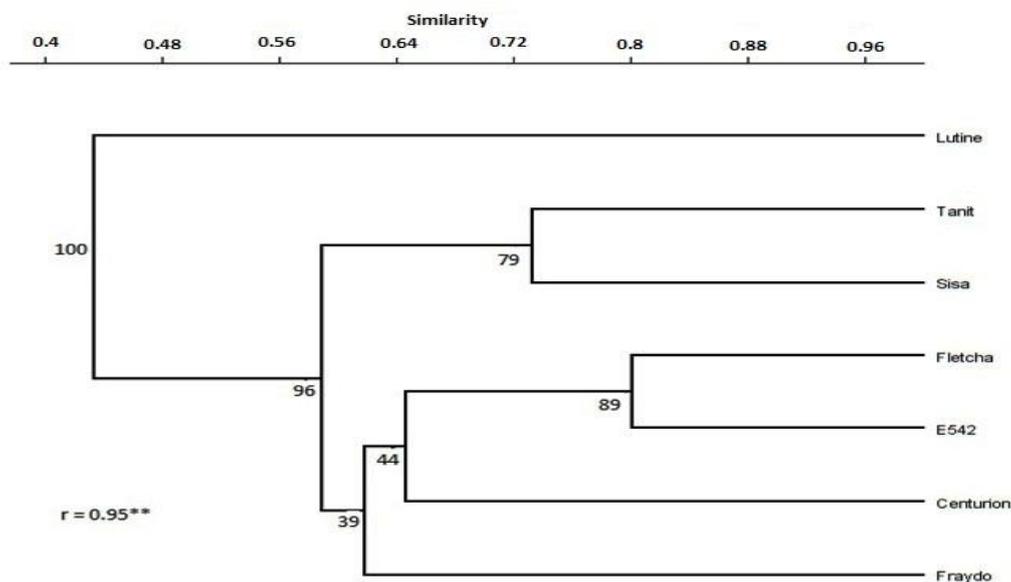


Figure 29 : Dendrogramme des marqueurs AFLP basé sur l'indice de similarité de Jaccard pour les variétés de fétuque élevée.

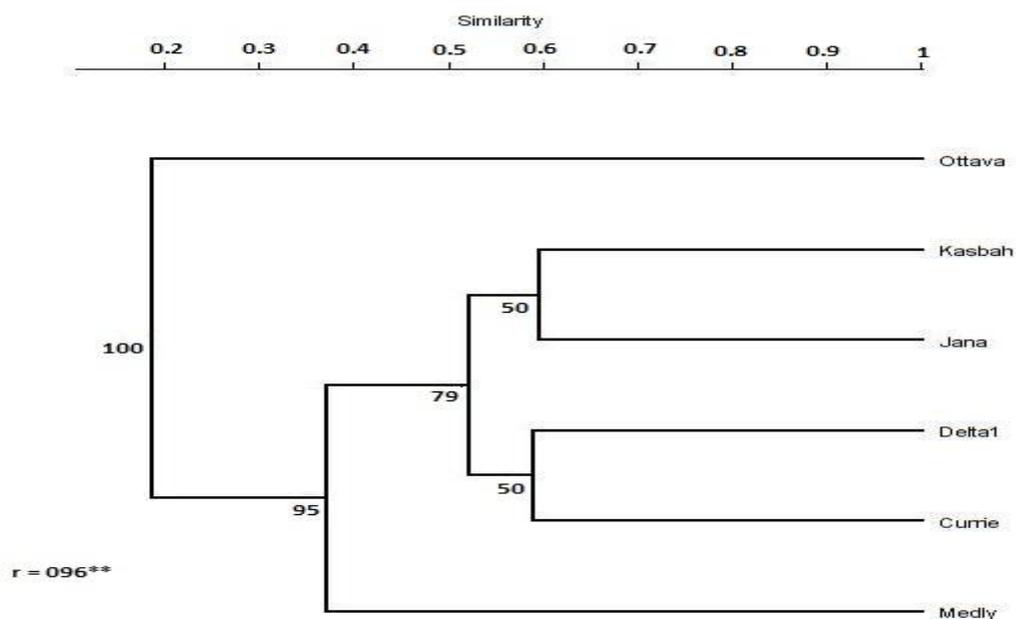


Figure 30 : Dendrogramme des marqueurs AFLP base sur l'indice de similarité de Jaccard pour les variétés de dactyle.

Tableau 25 : Similarités génétiques entre les différentes variétés de fêtuque basées sur l'indice de Jaccard

Géotype	Lutine	Fraydo	Tanit	Flecha	E-542	Centurion	Sisa
Lutine	1						
Fraydo	0.351	1					
Tanit	0.454	0.547	1				
Flecha	0.451	0.648	0.609	1			
E-542	0.425	0.589	0.568	0.800	1		
Centurion	0.442	0.621	0.595	0.648	0.641	1	
Sisa	0.462	0.641	0.731	0.625	0.581	0.534	1

Tableau 26 : Similarités génétiques entre les différentes variétés de dactyle basées sur l'indice de Jaccard

Génotype	Jana	Medly	Kasbah	Delta1	Currie	Ottava
Jana	1					
Medly	0.363	1				
Kasbah	0.592	0.444	1			
Delta1	0.461	0.307	0.516	1		
currie	0.555	0.357	0.545	0.586	1	
Ottava	0.156	0.137	0.243	0.171	0.216	1.000

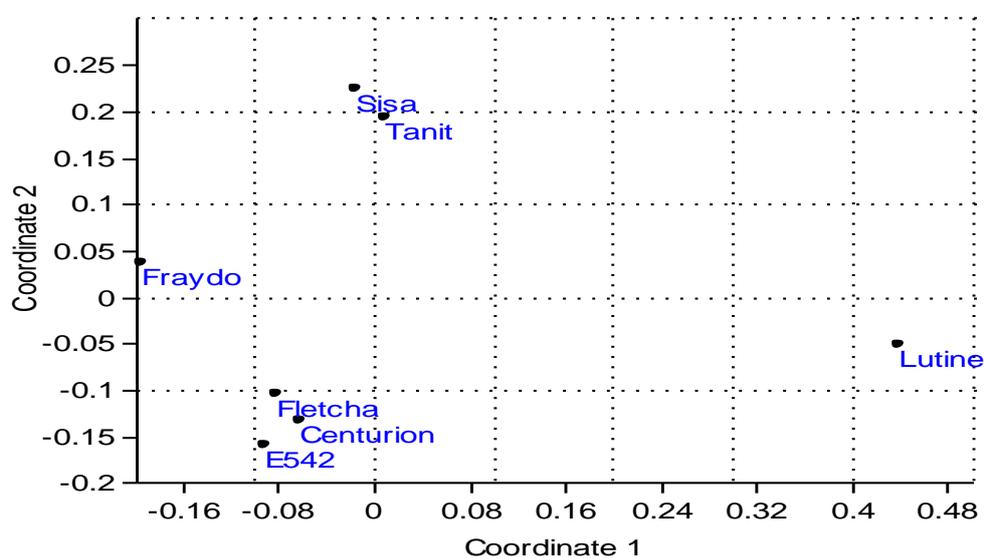


Figure 31 : Analyse en coordonnées principales des données de l'AFLP des variétés de fêtuque élevée basée sur l'indice de similitude de Jaccard

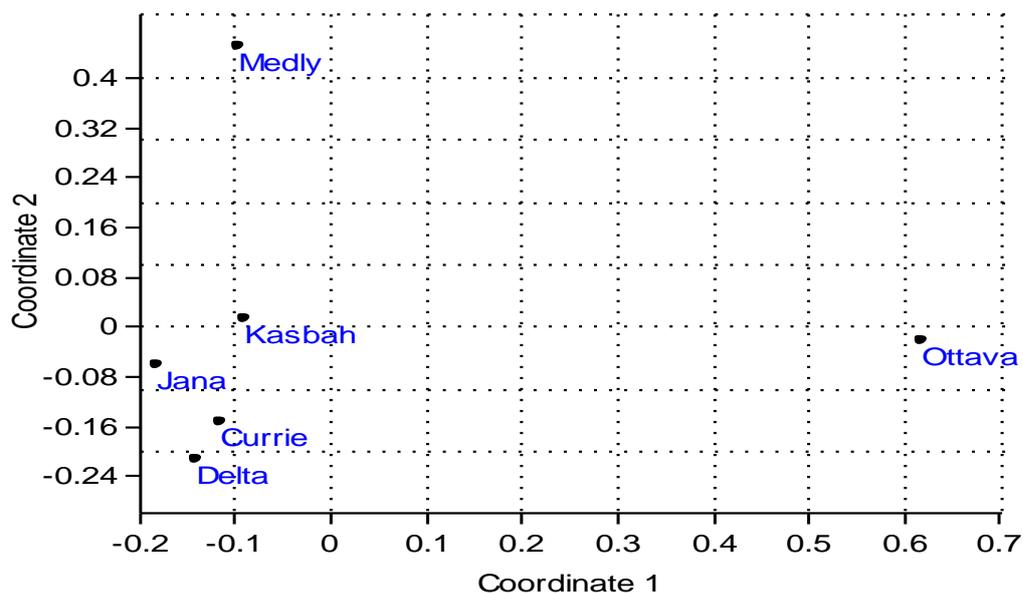


Figure 32: Analyse en coordonnées principales des données de l'AFLP des variétés de dactyle basée sur l'indice de similitude de Jaccard.

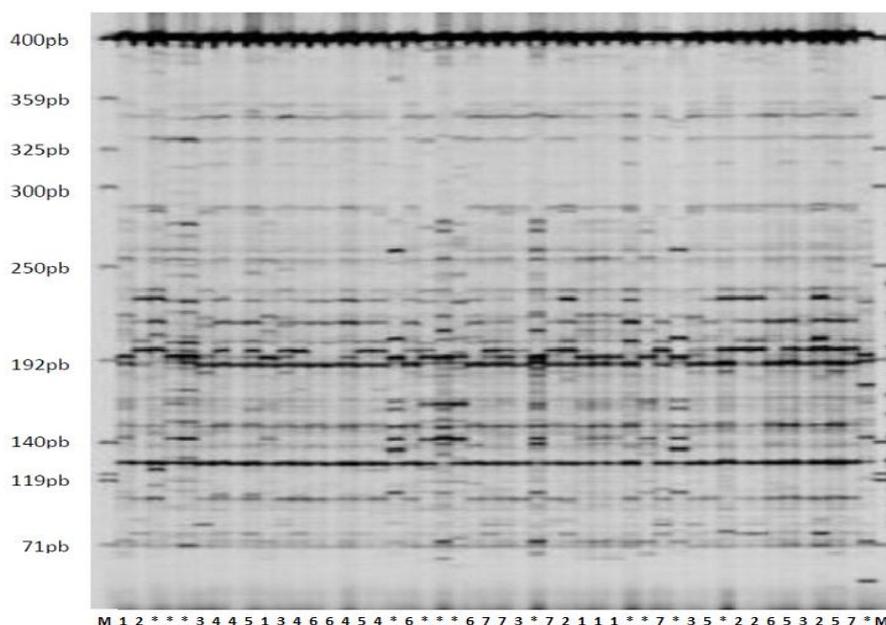


Figure 33. Profil AFLP des variétés de fétuque élevée obtenu par le couple d'amorces E-ACG/M-CACG. (1.Lutine ; 2. Frado ; 3. Tanit ; 4. Flecha ; 5. E-542 ; 6. Centurion ; 7. Sisa)

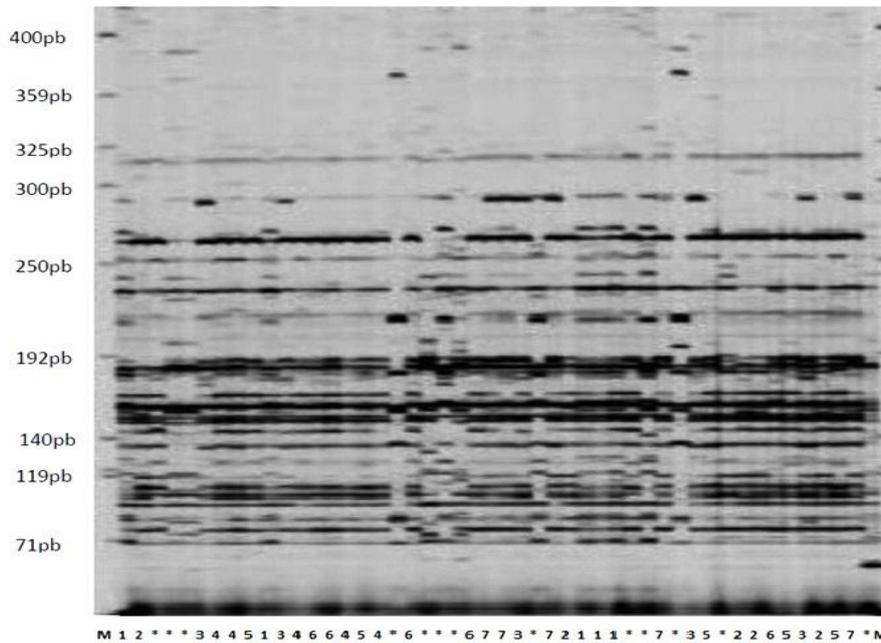


Figure 34. Profil AFLP des variétés de fétuque élevée obtenu par le couple d'amorces E-ACA/M-CTCG. (1.Lutine ; 2. Frado ; 3. Tanit ; 4. Flecha ; 5. E-542 ; 6. Centurion ; 7. Sisa)

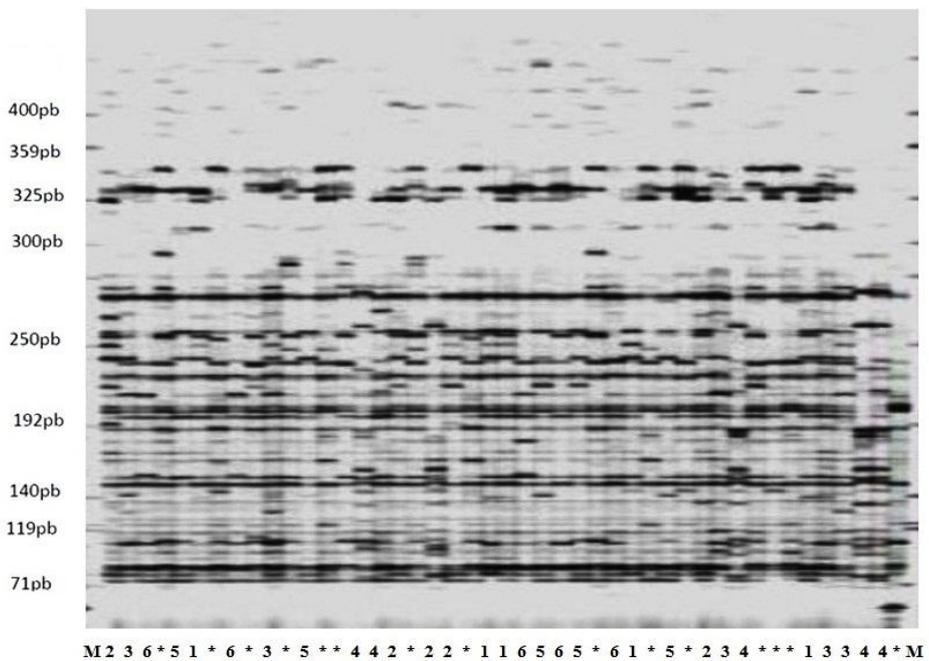


Figure 35. Profil AFLP des variétés de Dactyle obtenu par le couple d'amorces E-ACA/M-CTCG (1.Durrie ; 2. Delta1 ; 3. Kasbah ; 4. Ottawa ; 5. Jana ; 6. Medly)

La méthode d'ADN en vrac (bulk) a été déjà utilisée par Mian *et al.*, (2002) pour faire la distinction entre 18 populations de féтуque élevée. Yu et Pauls (1993) Sweeny et Danneberger (1997) et Warburton *et al.*, (2000) ont aussi évalué la diversité génétique basée sur des marqueurs moléculaires entre des populations respectives de *Medicago sativa*, de raygrass anglais et de maïs à travers des échantillons d'ADN en Bulk.

Au lieu de travailler avec des échantillons d'ADN distincts à partir d'un certain nombre d'individus de chaque population, on peut déterminer la diversité des populations sur la base d'échantillons d'ADN en vrac. Il serait possible d'étudier la diversité au sein des populations choisies en fonction des besoins. Cette stratégie pourrait être appliquée pour évaluer la diversité des populations à partir d'espèces allogames dans un programme d'amélioration ou de collection de matériel génétique (Mian *et al.*, 2002).

Nous constatons donc, que l'utilisation des marqueurs AFLP constitue un outil précieux pour l'identification des variétés commercialisées comme le confirment les travaux de Roldan-Ruiz *et al.*, (2000), pour qui, le fait que des variétés de raygrass apparaissent dans des groupes distincts sur la base de génotypage AFLP révèle la présence de marqueurs discriminants au niveau des données permettant la différenciation des variétés les une des autres ainsi que d'autres populations. Le niveau élevé de polymorphisme montre l'efficacité des marqueurs AFLP dans l'évaluation des relations phylogénétiques et des études de variation génétique. Les produits spécifiques d'amplification du génome sont des marqueurs moléculaires utiles pour la discrimination des espèces, la vérification des hybrides et le suivi des introgressions de gènes aussi bien pour des hybrides interspécifiques qu'inter-génériques.

Conclusion

A l'issue de ce travail, et en dépit du faible nombre de variétés et d'amorces utilisées, les résultats obtenus ont pu mettre en exergue la différenciation des différentes variétés étudiées, issues de diverses origines et l'intérêt des marqueurs moléculaires dans l'analyse de la diversité génétique et l'identification variétale. En effet, bien que les variétés testées présentent une assez grande similitude génétique surtout pour les variétés de féтуque élevée, la technique utilisée a permis tout de même une bonne discrimination et regroupement de ces dernières. En revanche, les outils moléculaires ont un intérêt certain dans le processus d'amélioration génétique des plantes cultivées.

Pour l'ensemble des espèces de grande culture, des avancées considérables sont déjà réalisées dans ce domaine. Néanmoins, pour les cultures fourragères et à gazon, beaucoup de travail reste à faire dans le développement des outils moléculaires. Des marqueurs moléculaires de type RFLP, RAPD, AFLP, SSR ont déjà été développés pour la fétuque élevée qui est considérée comme l'une des graminées fourragères et à gazon les plus importantes au niveau des zones tempérées et qui pourrait avoir un grand succès dans le développement des zones arides. Par contre, peu de marqueurs ont été développés pour le dactyle.

Ces marqueurs ont été utilisés pour l'analyse phylogénétique, l'amplification des croisements interspécifiques, la construction de cartes génétiques et l'étiquetage des QTLs pour des caractères d'intérêt. L'utilisation de ces ressources dans les programmes de développement permettra certainement d'accélérer le processus d'amélioration variétale. Enfin, l'utilisation de ces acquis sur un large panel de populations algériennes dans le but de rechercher d'éventuelles corrélations entre les distances moléculaires et celles géographiques présenterait un intérêt certain dans l'orientation ultérieure des prospections et collecte du matériel génétique local dans le but d'accélérer le processus de son amélioration génétique.

Conclusion générale

Au terme de ce travail et au travers des résultats obtenus et discutés, nous remarquons qu'il y'a une assez grande variabilité entre les variétés étudiées pour l'ensemble des paramètres testés, ce qui signifie la possibilité de créer et sélectionner un matériel végétal plus tolérant quelques soient les contraintes climatiques des milieux de production notamment les milieux semi-arides. Les possibilités d'amélioration des productions fourragères et pastorales existent réellement en Algérie où la régénération et l'amélioration des prairies permanentes constituent un enjeu très important. Ainsi, nous avons essayé de donner au moins une idée sur l'intérêt des cultures fourragères dans les zones céréalières et pastorales afin de sensibiliser nos agriculteurs à pratiquer cette spéculation surtout dans les zones semi-arides où les conditions climatiques sont défavorables pour la céréaliculture.

Au niveau des zones semi arides où les précipitations annuelles ne dépassent pas les 400 mm par an, les pâturages pérennes menés en pluvial à base de variétés adaptées de fétuque élevée et de dactyle sont tout à fait possibles. Ces variétés peuvent cumuler un taux de croissance et une efficacité d'utilisation de l'eau élevés durant les saisons favorables avec une bonne tolérance à la sécheresse qui se traduit par une bonne survie a travers les saisons estivales successives. Les variétés résistantes sélectionnées sont celles qui combinent les caractères favorables à un prélèvement hydrique efficace, un fort niveau de tolérance à la déshydratation et le cas échéant, à l'expression d'une dormance estivale telle est le cas de Kasbah. Cette étude nous a permis de faire ressortir les génotypes performants caractérisés par un haut rendement, une bonne croissance en hauteur, une précocité à l'épiaison, une bonne efficacité d'utilisation de l'eau ainsi qu'une bonne persistance.

La végétation pérenne de longue durée est souvent nécessaire dans les systèmes extensifs agricoles tels que ceux de l'Algérie, pour laquelle un matériel complètement dormant de la subsp. *hispanica* du genre *Dactylis glomerata*, comme Kasbah présente un intérêt certain aussi bien pour l'amélioration génétique que pour la production fourragère dans les zones subissant des sécheresses régulières en été. Néanmoins, et du fait que la dormance complète est en général associée à un faible potentiel de production, il serait nécessaire de déterminer le contrôle génétique de ce trait pour développer des cultivars dont la gamme de dormance serait associée à un niveau supérieur de productivité.

L'amélioration des espèces fourragères vise toujours la création de variétés précoces, ayant une bonne capacité de production de biomasse ainsi qu'une bonne efficacité de l'utilisation de l'eau, et surtout une meilleure tolérance à la sécheresse, ce sont les caractéristiques qui doivent être visées afin d'introduire des variétés endémiques des zones semi-arides où les conditions de la culture sont contraignantes.

Une des voies possibles pour améliorer la production fourragère consiste à utiliser des génotypes qui tolèrent mieux des périodes de manque d'eau et nécessitent ainsi moins d'irrigation, ou qui valorisent mieux l'eau en produisant plus de biomasse par unité d'eau apportée, qu'ils soient d'origine étrangère comme ceux testés lors de notre expérimentation, ou issues de populations recherchées au niveau de notre patrimoine local très riche et bien adapté. Il importe donc de faire le point sur les progrès déjà réalisés et sur les voies possibles d'amélioration, pour cela nous suggérons de :

- * Reconduire des essais similaires, dans d'autres étages bioclimatiques (essais multi locaux) afin d'analyser l'expression de certains gènes favorables dont les fonctionnements sont restés inhibés sous nos conditions d'expérimentation, ainsi que pour confirmer les performances génétiques de certaines variétés.

- * analyser la qualité fourragère des différentes espèces étudiées, afin de trouver un compromis entre morphogénèse et qualité (principalement la digestibilité) du fourrage, particulièrement chez la fétuque élevée, dont l'appétabilité, qui est souvent corrélée avec la digestibilité et la souplesse des feuilles, est souvent déficiente.

- * Prendre conscience de l'intérêt des ressources phylogénétiques locales dans tout plan d'amélioration.

- * Organiser des opérations de collecte dans le but d'évaluer ces ressources génétiques, non pas seulement par les méthodes phénotypiques classiques, mais aussi par d'autres méthodes, d'abord biochimiques utilisant surtout l'analyse iso enzymatique, puis faisant intervenir les méthodes de la biologie moléculaire en recherchant des marqueurs de la diversité au niveau du génome et des QTLs (Quantitative Trait Loci), contrôlant des caractères quantitatifs ainsi que l'étude des mécanismes moléculaires de réponse au stress hydrique.

* maîtriser la production de semences qui est le véhicule du progrès génétique : c'est le développement de toute une filière semences, allant du sélectionneur au distributeur, qui permettrait le développement de semences de qualité et le succès de la sélection.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abbas K. Et Abdelguerfi A., 2005. Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones semi-arides. *Fourrages*, 184 : 533-546.
2. Abberton M.T., MacDuff J.H., Marshall A.H. and Humphreys M.W., 2008. The genetic improvement of forage grasses and legumes to enhance adaptation of grasslands to climate change. Paper prepared for FAO, May 2008.
<http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/climatechange/papers/Adaptationpaper.pdf>
3. Abdelguerfi A., 1987. Quelques réflexions sur la situation des fourrages en Algérie. *Fourrages*, 16 : 1-5.
4. Abdelguerfi A., 2001. Ressources génétiques d'intérêt pastoral et/ou fourrager : distribution et variabilité chez les légumineuses spontanées (*Medicago*, *Trifolium*, *Scorpiurus*, *Hedysarum* et *Onobrychis*) en Algérie. *Thèse de doctorat d'état en Sciences agronomiques*. El-Harrach, Algérie : Institut National Agronomique, 433p.
5. Abdelguerfi A. et Laouar M., 1999. Autoécologie et variabilité de quelques légumineuses d'intérêt fourrager et/ou pastoral : possibilités de valorisation en région méditerranéenne. *Pastagens e Forragens*, 20 : 81-112.
6. Abdelguerfi A. et Laouar M., 2001. Situation et possibilités de développement des productions fourragères et pastorales en Algérie. *Actes du 1^{er} Atelier national sur la stratégie de développement des fourrages en Algérie*, 10-12 juin 2001, Alger, 36-48.
7. Abdelguerfi A. et Abdelguerfi-Laouar M., 2004. Les ressources génétiques d'intérêt fourrager et/ou pastoral : Diversité, collecte et valorisation au niveau méditerranéen. *Options méditerranéennes*, 62 : 29-41.
8. Abdelguerfi A., Laouar M. et M'Hammedi Bouzina M., 2008. Les productions fourragères et pastorales en Algérie : Possibilités d'Amélioration. *Revue Semestrielle 'Agriculture & développement'* (INVA, Alger), n°6 : 14-25.
9. Abdelmoneim A.H., Khair M.A, and Cocks P.S., 1990. Growth analysis, herbage and seed yield of forage legumes species under rainfed conditions. *J. Agron. Crop Sci.*, 164: 34-41.
10. ACTA, 1987. Fétuque élevée. Paris, France, Acta, fiche n° 406, 2 p.
11. Adem R. et Ferrah A., 2002. Les ressources fourragères en Algérie: déficit structurel et disparités régionale. Analyse du bilan fourrager pour l'année 2001. GREDAAL. (Groupe de Recherche et d'Etude sur l'Agriculture en Algérie).

12. Adler P.B., Milchunas D.G., Lauenroth W.K., Sala O.E. and Burke I.C., 2004. Functional traits of graminoids in semi-arid steppes: a test of grazing histories. *Journal of Applied Ecology*, 41: 653-663.
13. Al Hakimi A., Monneveux P. and Galiba G., 1995. Soluble sugars, proline, and relative water content as traits for improving drought tolerance in triticum durum. *J. Gen. Breed.*, 49: 234-244.
14. Amirouche N., 1987. Contribution à l'étude biosystématique du genre *Dactylis* L. en Algérie. *Thèse Mag. USTHB*. Bab Ezzouar. 172 p.
15. Anderson M.W, Cunningham P.G., Reed K.F.M. and Byron A., 1999. Perennial grasses of Mediterranean origin offer advantages for central western Victorian sheep pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 39: 275-284.
16. Annicchiarico P., Chiari T., Bellah F., Doucene S., Yallaoui-Yaici N., Bazzani F., Abdellaoui Z., Belloula B., Bouazza L., Bouremel L., Hamou M., Hazmoun T., Kelkoui M., Ould-H. and Zerargui H., 2002. Response of durum wheat cultivars to Algerian environments. II. Adaptive traits. *J. Agric. Environ. Int. Develop.*, 96: 189-208.
17. Annicchiarico P., Abdelguerfi A., Ben Younes M., Bouzerzour H., Carroni A.M., Pecetti L. and Tibaoui G., 2008. Adaptation of sulla cultivars to contrasting Mediterranean environments. *Aust. J. Agri. Res.*, 59 (8): 702-706.
18. Annicchiarico P., Pecetti L., Bouzerzou H., Kallida R., Khedim A., Porqueddu C., Simões N.M., Volaire F. and Lelièvre F., 2011. Adaptation of contrasting cocksfoot plant types to agricultural environments across the Mediterranean basin. *Environmental and Experimental Botany*, 74: 82-89.
19. Arachevaleta M., Bacon C.W., Hoveland C.S. and Radcliffe D.E., 1989. Effect of the tall fescue endophyte on plant response to environmental stress. *Agron. J.*, 81: 83-90.
20. Arachevaleta M., Bacon C.W., Hoveland C.S. and Radcliffe D.E. 1992. Accumulation of ergopeptide alkaloids in symbiotic tall fescue grown under deficits of soil water and nitrogen fertilizer. *Applied and Environmental Microbiology*, 58: 857-861.
21. Araus J.L., Slafer G.A., Reynolds M.P. and Royo C., 2002. Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? *Ann. Bot.* 89, 925-940.
22. Armstread I.P., Turner L.B., Farrel M., Skot L., Gomez P., Montoya T., Donnison I.S., King I.P. and Humphreys M.O., 2004. Synteny between a major heading date QTL in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and the Hd3 heading date locus in rice. *Theor. Appl. Genet.*, 108: 822-828.
23. Arrandea, M., 1989. Breeding strategies for drought. In : *Drought Resistance in Cereals*, Baker, F.W.G. (Ed.). Cab International, Wallingford, pp. 107-116.
24. Assuero S.G., Mattew C., Kemp P. and Barker D.J., 2002. Effects of water deficit on Mediterranean and temperate cultivars of tall fescue. *Aust. J. Agric. Res.*, 53: 29-40.

25. Aspinall D. and Paleg L.G., 1981. Proline accumulation: physiological aspects. In: Paleg L.G., Aspinall D., Eds. *Physiology and biochemistry of drought resistance*. Sydney: Academic Press, 205-241.
26. Bajji M., Kinet J. and Lutts S., 2002. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regul.*, 36: 61–70.
27. Baker N.R., 1991. A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis. *Physiol. Plant*, 81: 563–570.
28. Balfourrier F. et Charmet G., 1995. Les Ray-grass ou le genre *Lolium*. In *Ressources génétiques des plantes fourragères et a gazon*. Ed. J.M Prosperie, P. Guy et F. Balfourrier : 87-111.
29. Ballard, R.A., Simpson, R.J. and Pearce G.R., 1990. Losses of the digestible components of annual ryegrass (*Lolium rigidum* Gaudin) during senescence. *Australian journal of agricultural research*, 41: 719-731.
30. Baron V.S. and Bélanger G., 2007. Climate and forage adaptation. In *Forages Vol. II. The Science of Grassland Agriculture*. Eds. R.F. Barnes, C.J. Nelson, k.J. Moore and M.Collins. Blackwell Publishing, Oxon, UK, pp. 83-104.
31. Barre P. et Julier B., 2005. Recherche de QTL chez les espèces fourragères pérennes des régions Tempérées. *Fourrages*, 183 : 405-418.
32. Bedrani S., Chehat F. et Ababasa S., 2001. L'agriculture algérienne en 2000. Une révolution tranquille le PNDA. *Prospectives agricoles* (1): 7-51.
33. Becker H.C. and Leon J., 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed.*, 101: 1-23.
34. Benmahammed A., Nouar H., Haddad L., Laala Z., Abdelmalek O. et Bouzerzour H., 2010. Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14(1): 177-186.
35. Bensalem M., 1993. Etude comparative de l'adaptation à la sécheresse du blé, de l'orge et du triticale. Dans : Tolérance à la Sécheresse des Céréales en Zone Méditerranéenne. Diversité Génétique et Amélioration Variétale. *Les Colloques de l'INRA*, 64 : 275-298.
36. Bettany A.J.E., Dalton S.J, Timms E, Manderyck B, Dhanoa M.S. et Morris P., 2003. Agrobacterium tumefaciens-mediated transformation of *Festuca arundinacea* (Schreb.) and *Lolium multiflorum* (Lam.). *Plant Cell Rep.*, 21: 437-444.
37. Biddiscombe E.F, Rogers A.L. and Maller R.A., 1977. Summer dormancy, regeneration and persistence of perennial grasses in South-Western Australia. *Australian journal of experimental agriculture and animal husbandry*, 17: 795-801.
38. Bidinger F.R. and Witcomb J.R., 1989. Evaluation of specific avoidance traits as selection criteria for improvement of drought resistance. In : F.W.G. Baker (ed.), *Drought resistance in cereals*, C.A.B. International, pp. 151-164.

39. Bland B.F. and Dent J.W., 1964. Animal preference in relation to the chemical composition and digestibility of varieties of cocksfoot. *Journal of the British Grassland Society*, 19: 306-315.
40. Blum A., 1989. Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress *Crop Sci.*, 29: 230-233.
41. Blum A., 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Res.*, 112: 119-123.
42. Bolaric S., Barth S., Melchinger A.E. and Posselt U.K., 2005. Molecular genetic diversity within and among German ecotypes in comparison to European perennial ryegrass cultivars. *Plant Breeding*, 24: 257-262.
43. Bolton S., 1980. The computation of equivalent potential temperature. *Monthly weather review*, 108:1046-1053.
44. Borrill M., 1961. Chromosomal status gene exchange and evolution in *Dactylis* (part I). Gene exchange in diploids and tetraploids. *Genetica*, 32: 94-117.
45. Borrill M., 1978. Evolution and genetic resources of cocksfoot. Annual Report Welsh Plant Breeding Station, Aberystwyth, pp. 190-209.
46. Boschma S.P., Hill M.J., Scott J.M. and Rapp G.G., 2003. The response to moisture and defoliation stresses and traits for resilience of perennial grasses on the Northern Tablelands of New South Wales, Australia. *Aust. J. Agric. Res.*, 54: 903-916.
47. Boschma S.P., Lodge G.M. and Harden S., 2008. Herbage mass and persistence of pasture legumes and grasses at two potentially different saline and/or waterlogging sites in northern New South Wales. *Aust. J. Exp. Agr.*, 48: 553-567.
48. Boschma P., Lodge G.M. and Harden S., 2009. Establishment and persistence of perennial grass and herb cultivars and lines in a recharge area, north-west slopes new south wales. *Crop Pasture Sci.*, 60: 753- 767.
49. Botstein D., White R.L., Skolnick M., and Dvies R.W., 1980. Construction of genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphism. *Am. J. Hum.Genet.* 32, p. 314–331.
50. Bouslama M. and Schapaugh W.T., 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Sci.*, 24: 933-937.
51. Bouton J.H., Latch G.C.M., Hill N.S., Hoveland C.S., McCann M.A., Watson R.H., Parish J.A., Hawkins L.L. and Thompson F.N., 2002. Reinfection of tall fescue cultivars with nonergot alkaloid producing endophytes. *Agron. J.* 94:567–574.
52. Boyer J.S., 1982. Plant productivity and environment. *Science*, 218: 443–448.

53. Bouzerzour H. et Makhlouf M., 1988. L'influence des proportions de mélange des espèces de légumineuses et de céréales sur le rendement et la qualité des fourrages d'association. *Annales Agronomiques de l'INA*, 13: 194-208.
54. Bradford K.J. et Hsiao T.C., 1982. Physiological responses to moderate water stress. In : *Encyclopedia of Plant Physiology. Physiological plant Ecology II. Water Relations and Carbon Assimilation*. Springer Verlag.
55. Brancourt-Hulmel M., Biarnès-Dumoulin V. and Denis J.B., 1997. Points de repère dans l'analyse de la stabilité et de l'interaction génotype-milieu en amélioration des plantes. *Agronomie*, 17: 219-246.
56. Bray E.A., 1993. Molecular responses to water deficit. *Plant Physiology*, 103: 11-16.
57. Bretagnolle, F. and Thompson, J. D. 1996. An experimental study of ecological differences in winter growth between sympatric diploid and autotetraploid *Dactylis glomerata*. *J. Ecol.*, 84: 343-351.
58. Buckland S.M., Thompson K., Hodgson J.G. and Grime J.P., 2001. Grassland invasions: effects of manipulations of climate and management. *Journal of Applied Ecology*, 38: 301-309.
59. Buckner R.C., Webster G.T., Burrus P.B. and Bush L.P., 1976. Cytological, Morphological and Agronomic characteristics of Tall X Giant Fescue Hybrids and Their Amphiploid progenies. *Crop Sci.*, 16: 811-816.
60. Bultman T.L. and Bell G.D., 2003 Interaction between fungal endophytes and environmental stressors influences plant resistance to insects. *Oikos*, 103: 182-190.
61. Bunce J.A., 1987. Species-specific responses to water stress of gas exchange parameters mimicked by applied abscisic acid. *Can. J. Bot.*, 65: 103-106.
62. Burton G.W., Monson W.G., Johnson J.C., Lowrey R.S., Chapman H.D. and Marchant W.H., 1969. Effect of the *d2* dwarf gene on the forage yield and quality of pearl millet. *Agronomy journal*, 61: 607-612.
63. Bush L.P., Wilkinson H.H. and Schardl C.L., 1997. Bioprotective of grass-fungal endophyte symbioses. *Plant Physiol.*, 114: 1-7.
64. Carrow R.N., 1996. Drought avoidance characteristics of diverse tall fescue cultivars. *Crop Sci.*, 36: 371-377.
65. Carrow R.N. and Duncan R.R., 2003. Improving drought resistance and persistence in turf-type tall fescue. *Crop Sci.*, 43 (3): 978-984.
66. Casler M.D. and Vogel K. P., 1999. Accomplishment and impact from breeding for increased forage nutritional value. *Crop Sci.*, 39:12-20.

67. Cattivelli L., Rizzia F., Badeck F.-W., Mazzucotelli E., Mastrangelo A.M., Francia E., Mare C., Tondelli A. and Stanca A.M., 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*, 105: 1-14.
68. Ceccarelli S., 1989. Wide adaptation: how wide? *Euphytica*, 40: 197-205.
69. Chakroun M.C., Taliafero M. and McNew R.W., 1990. Genotype-environment interaction for bermudagrass forage yields. *Crop Sci.*, 30: 49-53.
70. Chapman D.F., Clark D.A., Land C.A. and Dymock N., 1983. Leaf-and-tiller-growth-of-*Lolium-perenne*-and *Agrostis* spp. and leaf appearance rates of *Trifolium repens* in set-stocked and rotationally grazed hill pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 26: 159-168.
71. Chapman D.F., Robson M.J., Snaydon R.W. and Caradus J.R., 1992. The growth and carbon allocation patterns of white clover (*Trifolium repens* L.) plants of contrasting branching structure. *Annals of botany*, 69: 523-531.
72. Chapot J.Y. Chapuis J., Conesa A.P., Hadj Miloud D., Pilas J.M. et Van Kaester W., 1975. Etude comparative du comportement de populations spontanées et cultivars étrangers de Luzernes annuelles, Fétuque élevée, Luzerne pérenne, Sulla, Phalaris... en vue de leur introduction sur les hauts plateaux et sur les plaines intérieures. INA, Alger. 110p.
73. Charmet G., Ravel C. et Balfourier F., 1997. Phylogenetic analysis in the *Festuca-lolium* complex using molecular markers and ITS rDNA. *Theor. Appl. Genet.*, 94: 1038-1046.
74. Chatterton L. and Chatterton B., 1996. Sustainable dry land farming: combining farmer innovation and medic pasture in a Mediterranean climate. Cambridge Press University, Melbourne, Australia, 339 pages.
75. Chebli M.D., 1989. Arrière effet de la date d'introduction du premier cycle sur la production d'une prairie mono spécifique à base de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) en zone subhumide. *Thèse Ing. Agro.*, INESA Blida, 121p.
76. Chen C., Sleper D.A. and West C.P., 1995. RFLP and cytogenetic analysis of hybrids between *Festuca mairei* and *Lolium perenne*. *Crop Sci.* 35:720-725.
77. Chen C., Sleper D.A. and Johal G.S., 1998. Comparative RFLP mapping of meadow and tall fescue. *Theor. Appl. Genet.*, 97:255-260.
78. Chen C., Payne A.W., Smiley R.W. and Stoltz M., 2003a. Yield and water use efficiency of eight wheat cultivars planted on seven dates in North-eastern Oregon. *Agron. J.*, 95: 836-843.
79. Chen L., Auh C., Dowling P., Bell J., Chen F., Hopkins A.A., Dixon R.A. and Wang Z.Y., 2003b. Improved forage digestibility of tall fescue (*Festuca arundinacea*) by transgenic down-regulation of cinnamyl alcohol dehydrogenase. *Plant Biotechnol J.*, 1: 437-449.

80. Chen L., Auh C., Dowling P., Bell J., Lehmann D. and Wang Z.Y., 2004. Transgenic down regulation of caffeic acid O-methyltransferase (COMT) led to improved digestibility in *tall fescue* (*Festuca arundinacea*). *Funct Plant Biol.*, 31: 235–245.
81. Chenafi H., Aïdaoui A., Bouzerzour H. and Saci A. 2006. Yield response of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5: 854- 860.
82. Clay K., 1988. Fungal endophytes of grasses: a defensive mutualism between plant and fungi. *Ecology*, 69, 10-16.
83. Clay K., 1990. Fungal endophytes of grasses. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 21, 275–297.
84. Clayton W. and Renvoize S., 1986. Genera Graminum, grasses of the world. *Kew Bulletin Additional Series*, 13: 1-389.
85. Close T.J., 1997. Dehydrins: a commonality in the response of plants to dehydration and low temperature. *Physiologia Plantarum*, 100: 291–296.
86. Cooper P.J.M., Keatinge J.D.H. and Hughes G., 1983. Crop evapotranspiration. A technique for calculation of its components by field measurements. *Field Crop Res.*, 7: 299-312.
87. Cornic G., Papageorgiou L. and Louason G., 1987. Effect of a rapid and slow drought cycle followed by rehydration on stomatal and non stomatal components of leaf photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* L. *J. Plant Physiol.*, 126: 309-318.
88. Cresswell A., Hamilton N.R.S., Roy A.K. et Viegas M F., 2001. Use of amplified fragment length polymorphism markers to assess genetic diversity of *Lolium* species from Portugal, *Mol. Ecol.*, 10: 229-241.
89. Critchley C. and Russel A.W., 1994. Photoinhibition of photosynthesis in vivo: The role of protein turnover in photosystem II. *Physiol. Plant*, 92: 188-196.
90. CropStat 7.2., 2008. *Software package for windows*. Manila: International Rice Research Institute (IRRI).
91. Culvenor R.A., 1994: The persistence of five cultivars of phalaris after cutting during reproductive development in spring. *Australian journal of agricultural research*, 45 (4): 945-962.
92. DaCosta M., Wang Z. and Huang B., 2004. Physiological adaptation of Kentucky bluegrass to localized soil drying. *Crop Sci.*, 44:1307-1314.
93. DaCosta M. and Huang B.R., 2006. Osmotic adjustment associated with variation in bentgrass tolerance to drought stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 131: 338–344.

94. Davies I., 1976: Developmental characteristics of grass varieties in relation to their herbage production. 1. An analysis of high-digestibility varieties of *Dactylis glomerata* at three stages of development. *Journal of agricultural science, Cambridge*, 87: 25-32.
95. Davies W. and Mansfield T.A., 1983. The role of abscisic acid in drought avoidance. In : addicott F.T., eds, *Abscisic Acid*. New York : Praeger Publishers : 237-268.
96. De Battista J. P., Bouton C., Bacon, W. and Siegel M.R., 1990. Rhizome and herbage production of endophyte removed tall fescue clones and populations. *Agron. J.*, 71: 540-543.
97. Decamps C., Vander Vennet D., Collignon A., Lambert R., Toussaint B. et Peeters A., 2004. Comparaison de variétés de dactyle en régime de fauche en Moyenne et Haute Belgique. Evaluation de l'intérêt fourrager du dactyle en Wallonie.
www.ecop.ucl.ac.be/prairies/service/brochure/indexa.html
98. Dekkers J.C.M. and Hospital F., 2002. The use of molecular genetics in the improvement of agricultural populations. *Natl. Rev. Genet.*, 3 (1), p. 22–32.
99. DeLacy I.H., Basford K.E., Cooper M., Bull J.K. and McLaren C.G., 1996. Analysis of multi-environment trials an historical perspective. In: Cooper, M., and Hammer, G.L. (Eds.), *Plant Adaptation and Crop Improvement*, Oxford: CAB International, PP. 39-124.
100. Demarquilly C., 1969. Valeur alimentaire du maïs fourrage. I. Composition chimique et digestibilité du maïs sur pied. *Ann. Zootech.*, 18, 17-32.
101. Demmig-Adams B. and Adams W.W., 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 43: 599–626.
102. Dhanda S.S., Sethi G.S. and Behl R.K., 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *J. Agron. Crop Sci.*, 190, 6–12.
103. De Vienne D. et Santoni S., 1998. Les principales sources de marqueurs moléculaires. In : *Les marqueurs moléculaires en génétique et biotechnologies végétales*. Paris : Inra : 15-48.
104. Domin K., 1943. Monograficka studie o rodu *Dactylis* L. *Acta Bot. Boh.*, 14: 3–147.
105. Donald, C.M., 1963. Competition among crop and pasture plants. *Advances in agronomy* 15: 1-118.
106. Duchauffour P., 1997. Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement. Masson, Paris, 291p.
107. Duru M. et Ducrocq H., 1998. La hauteur du couvert prairial : un moyen d'estimation de la qualité d'herbe disponible. *Fourrages*, 154 : 173-190.
108. Duru M., Cruz P. et theau J.P., 2008. Un modèle générique de digestibilité des graminées des prairies semées et permanentes pour raisonner les pratiques agricoles. *Fourrages*, 193 : 79-102.

109. Eagles H.A., Bariana H.S., Ogonnaya F.C., Rebetzke G.J., Hollamby G.J., Henry R.J., Henschke P.H. and Carter M., 2001. Implementation of markers in Australian wheat breeding. *Aust. J. Agric. Res.*, 52 (11–12), p. 1349–1356.
110. Eberhart S.A. and Russel W.A., 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.*, 6: 36-40.
111. Eckhart N.A., 2002. Abscisic acid biosynthesis gene underscores the complexity of sugar, stress and hormone interactions. *Plant cell.*, 14: 2645-2649.
112. Eizenga G.C., Burner D.M. and Buckner R.C., 1990. Meiotic and isozymic analyses of tall fescue X geant fescue hybrids and amphiploids. *Plant Breeding*, 104: 202-212.
113. Eizenga G.C., Schardl C.L., Phillips T.D. and Sleper D.A., 1998. Differentiation of tall fescue monosomic lines using RFLP markers and double monosomic analysis. *Crop Sci.*, 38:221-225.
114. Elbersen H.W. and West C.P., 1996. Growth and water relations of field-grown tall fescue as influenced by drought and endophyte. *Grass and Forage Science* 51: 333-342.
115. El Jaafari S. et Paul R., 1993. Accumulation foliaire de proline et résistance à la sécheresse chez le blé (*Triticum aestivum* L.) *Arch. Int. Phys. Bioch. Biochis.*, 101 : 88-92.
116. Emile C., Gillet M., Ghesquière M. et Charrier X., 1992. Pâturage continu de fétuque élevée par des vaches laitières : amélioration de la production par l'utilisation d'une variété sélectionnée pour l'appétibilité. *Fourrages*, 130 : 159-169.
117. Emile C., Ghesquière M., Traineau R. and Mousset C., 1995. *In vivo* assessment of different breeding strategies for improving quality in tall fescue. In : *Proceedings of the 4th International Symposium on the nutrition of herbivores*, 11-15 septembre 1995. INRA, *Ann. Zootech.*, 44, suppl, 60.
118. Evans, G. 1926. Chromosome complements in grasses. *Nature*, 118:841.
119. Evans G.M, Asay K.M. and Jenkins R.G., 1973. Meiotic irregularity in hybrids between diverse genotypes of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Corp Sci.*, 13: 376-379.
120. Fang C., 2003. Comparative genome analyses, QTL mapping and genetic analyses of seed yield and related traits in meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.), Ph.D.thesis, Agricultural University of Norway.
121. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., and Basra S.M.A., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.*, 29: 185–212.
122. Fernández G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: *Proceedings of the International Symposium on "Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress"*, Chapter 25, Taiwan, 13-16 August, pp. 257-270.

123. Finlay K.W. and Wilkinson G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Aust. J. Agric.Res.*, 14: 742-754.
124. Fjellheim S. and Rognli O.A., 2005. Genetic Diversity within and among Nordic Meadow Fescue (*Festuca pratensis* Huds.) Cultivars Determined on the Basis of AFLP Markers. *Crop Sci.*, 45: 2081-2086.
125. Fribourg H.A., Hoveland C.S. and Codron P., 1991. Fétuque élevée et *l'Acremonium coenophialum*. Aperçu de la situation aux Etats-Unis. *Fourrages*, 126 : 209-223.
126. Fox P.N., Skovmand B., Thompson B.K., Braun H.J. and Cormier R., 1990. Yield and adaptation of hexaploid spring triticale. *Euphytica*, 47: 57-64.
127. Fulkerson W.J. and Slack K., 1995. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*: I. Effect of defoliation frequency and height. *Grass Forage Sci.*, 50: 16–20.
128. Fulkerson W.J. and Donaghy D.J., 2001. Plant soluble carbohydrate reserves and senescence: Key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: A review. *Aust. J. Exp. Agric.*, 41: 261–275.
129. Gaff D.F., 1980. Protoplasmic tolerance of extreme stress. In: *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. Eds NC Turner, PJ Kramer, John Wiley & Sons: New York, pp. 207-230.
130. Gallais A. et Bannerot H., 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed., INRA, Paris, 1992, 768p.
131. Garcia A. and Lindner R., 1998. *Dactylis glomerata* genetic resources : Allozyme frequencies and performance of two subspecies on an acid loam with summer drought. *Euphytica*, 102: 255-264.
132. Garwood E. A. and Sinclair J., 1979. Use of water by six grass species. 2. Root distribution and use of soil water. *Journal of agricultural science, Cambridge*, 93: 25-35.
133. Garnier E., Cortez J., Billèz G., Navas M.L., Roumet C., Debussche M., Laurent G., Blanchard A., Aubry D., Bellman A., Neill C. and Toussaint J.P., 2004. Plant Functional Markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology*, 85: 2630-2637.
134. Gauthier P., Lumaret R. and Bédécarrats A., 1998. Ecotype differentiation and coexistence of two parapatric tetraploid subspecies of cocksfoot (*Dactylis glomerata*) in the Alps. *New Phytol.*, 139: 741-750.
135. George J.R., Obermann D.J. and Wolf D.D., 1989. Seasonal trends for nonstructural carbohydrates in stem bases of defoliated switchgrass. *Crop sci.*, 29: 1282-1287.
136. Ghesquière M. et Jadas-Hécart J., 1995. Les fétuques ou le genre *festuca*. In Prosperi, J.M.;GUY, P.;Balfourier, F. (coord.); *Ressources génétiques des plantes fourragères et à gazon.*, pp 53-70.

137. Gibson D.J. and Newman J.A., 2001. *Festuca arundinacea* Schreber (*F. elatior* L. ssp. *Arundinacea* (Schreber) Hackel). Biological Flora of British Isles. *Journal of Ecology*, 89: 304-324.
138. Gillet M., 1980. Les graminées fourragères: description, fonctionnement, applications à la culture de l'herbe. Ed Bordas, Paris, 306p.
139. Gillet M., Noël C., Jadas-hecart J. and Traineau R., 1983. La cafeteria d'auges, méthode d'étude de l'appétibilité des fourrages. *Agronomie*, 3(8) : 817-822.
140. Gillet M., Lemaire G. et Gosse G., 1984. Essai d'élaboration d'un schéma global de la croissance des graminées fourragères. *Agronomie*, 4 (1): 75-82.
141. Gilliland T.J., Barrett P.D., Mann R.L., Agnew R.E. and Fearon A.M., 2002. Canopy morphology and nutritional quality traits as potential grazing value indicators for *Lolium perenne* varieties. *Journal of Agricultural Science*, 139 (3). 257-273.
142. Gowen N., O'Donovan M., Casey I., Rath M., Delaby L. and Stakelum G., 2003. The effect of grass cultivars differing in heading date and ploidy on the performance and dry matter intake of spring calving dairy cows at pasture. *Animal Research*., 52 (4): 321-336.
143. Gredaal, 2002. Ressources fourragères en Algérie.
<http://desertification.wordpress.com/2007/03/31/ressources-fourrageres-en-algerie-gredaalcom/>
144. Guo Y., Ma Y., Zhan Z., Li B., Dingkuhn M., Luquet D. and DeReffye P., 2006. Parameter Optimization and Field Validation of the Functional-Structural Model GREENLAB for Maize. *Annals of Botany*, 97: 217-230.
145. Gupta P.K., Varshney R.K., Sharma P.C. and Ramesh B., 1999. Molecular markers and their applications in wheat breeding. *Plant Breed.*, 118: 369-390.
146. Gupta P.K., Roy J.K. and Prasad M., 2001. Single nucleotide polymorphisms: A new paradigm for molecular marker technology and DNA polymorphism detection with emphasis on their use in plants [Review]. *Curr. Sci.*, 80 (4): 524-535.
147. Guthridge K.M., Dupal M.P., Jones E.S., Kolliker R., Smith K.F. and Forster J.W., 2001. AFLP analysis of genetic diversity within and between populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). In: Plant and Animal Genome. The 9th Inter. Conf. on the Status of Plant and Animal Genome Research, San Diego. Scherago Int., New York. PP. 141-152.
148. Hackel, E., 1882: Monographia Festucarum Europearum. *Verlag von Fischer*, Berlin.
149. Hakimi M., 1993. Les systèmes traditionnels basés sur la culture de l'orge. In *Proc Symposium on the agro- meteorology of rainfed barley based farming system*. Eds WMO-Icarda, 179-183.

150. Hamadache A., 2001a. Les ressources fourragères actuelles en Algérie : situation et possibilités d'amélioration. Actes du 1^{er} Atelier national sur les stratégies de développement des fourrages en Algérie, 10-12 juin, Alger : 18-19.
151. Hamadache A., 2001b. Evolution récente des principales ressources fourragères et possibilités d'amélioration en Algérie. *Céréaliculture*, 35 : 13-20.
152. Hammer Ø., Harper D.A.T., et Ryan P. D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 9pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
153. Hamrit S., 1995. Situation des fourrages en Algérie. *Al Awamia*, 89: 97-108.
154. Hare P.D. and Cress W.A., 1997. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant cell and environment*, 21: 535-553.
155. Harper J. L., 1978. Plant relations in pastures. pp. 1-14 *In: Plant relations in pastures*, Wilson, J. R. ed. CSIRO, Melbourne.
156. Hartley W., 1954. The agrostological index : A phytogeographical approach to the problems of pasture plant introduction. *Aust. J. bot.*, 2: 1-21.
157. Hayes R.C., Dear B.S., Li G.D., Virgona J., Conyers M.K., Hackney B.F. and Tidd J., 2010. Perennial pastures for recharge control in temperate drought-prone environments. Part 1: productivity, persistence and herbage quality of key species. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 53 (4): 283-302.
158. Hazard L., 1996. La plasticité pour une meilleure souplesse d'utilisation des graminées fourragères. *Fourrages*, 147: 293-302.
159. Hazard L. and Ghesquière M., 1995. Evidence from the use of isozyme markers of competition in swards between short-lived and long-leaved perennial ryegrass. *Grass and Forage Science*, 50: 241-248.
160. Hazard L., Barker D. and Easton S., 2001. Morphogenetic adaptation to defoliation and soil fertility in perennial ryegrass. *N.Z.J. Agric. Res.*, 44: 1-12.
161. Hazard L., Betin M. and Molinari N., 2006. Correlated response in plant Height and Heading date to selection in Perennial ray grass Populations. *Agronomy Journal*, 98: 1384-1391.
162. Hesse U., Schöberlein W., Wittenmayer L., Förster K., Warnstorff K., Diepenbrock W. and Merbach W., 2004. Influence of water supply and endophyte infection (*Neotyphodium* spp.) on vegetative and reproductive growth of two *Lolium perenne* L. genotypes. *Grass and Forage Science*, 58 (4): 407-415.
163. Hill N.S., Belesky D.P. and Stringer W.C., 1991. Competitiveness of tall fescue as influenced by *Acremonium coenophialum*. *Crop Sci.*, 31: 185-190.

164. Hopkins W.G., 2003. Physiologie végétale. Edition De Boeck, Bruxelles. 513p.
165. Hopkins A.A. and Saha M.C., 2005. Application of molecular diversity in a forage grass breeding program. *4th Int. Symp. MBFT. Abstracts*. Aberystwyth, Wales, UK.
166. Horst G.L., Nelson C.J. and Asay K.H., 1978. Relationship of leaf elongation to forage yield of tall fescue genotypes. *Crop Sci.*, 18:715-719.
167. Houmani H., 1999. Situation alimentaire du bétail en Algérie. *Recherche Agronomique*, 4: 35-45.
168. Housley T.L., Kirleis A.W., Ohm H.W. and Patterson F.L., 1982. Dry matter accumulation in soft red winter wheat seeds. *Crop Science*. 22 : 290-294.
169. Huang B. and Fry J.D., 1998. Root anatomical, morphological, and physiological responses to drought stress for tall fescue cultivars. *Crop Sci.*, 38: 1017-1022.
170. Huang B., and Gao H., 1999. Physiological responses of diverse tall fescue cultivars to drought stress. *Hortscience*, 34: 897-901.
171. Huang B., Fry J.D. and Wang B., 1998. Water relations and canopy characteristics of tall fescue cultivars during and after drought stress. *Hort. Science*, 33: 837-840.
172. Huehn M., 1990. Nonparametric measures of phenotypic stability: II. Applications. *Euphytica*, 47: 195-201.
173. Hume D., 1991. Effect of cutting on production and tillering in prairie grass (*Bromus willdenowii* Kunth) compared with two ryegrass (*Lolium*) species. 2. Reproductive plants. *Annals of botany*, 68: 1-11.
174. Humphreys M.O. and Turner L., 2003. Nutritive quality QTL and marker assisted selection in ryegrass. Vortage für Pflanzenzüchtung (59), *Proc. Of Eucarpia meeting on grass breeding*, Braunschweig, Germany, 22-25 september 2002, 280-289.
175. Humphreys N.W., Thomas H.M., Morgan W.G., Meredith M.R., Haper J.A., Thomas H., Zwierzykowski Z. and Ghesquière M., 1995. Discriminating the ancestral progenitors of hexaploid *festuca arundinacea* using GISH. *Heredity*, 75: 171-174.
176. Humphreys M.W., Thomas H.M., Harper J., Morgan G., James A., Ghamari-Zare A. and Thomas H., 1997. Dissecting drought- and cold-tolerance traits in the *Lolium-Festuca* complex by introgression mapping. *New Phytologist* 137: 55–60.
177. Humphreys M.W., Humphrey J. Donnison S.I., King I.P., Thomas H.M., Ghesquiere M., Durand J.L., Rognli O.A., Zwierzykowski Z, and Rapacz M., 2004. Molecular breeding and functional genomics for tolerance to abiotic stress. p. 61–80. In A. Hopkins, Z.Y. Wang, R. Mian, M. Sledge, and R.E. Barker (ed.) *Molecular breeding of forage and turf*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, the Netherlands.
178. Hyder, D.N. 1972. Defoliation in relation to vegetative growth. In V.B. Younger and C.M. McKell (ed.). *The biology and utilization of grasses*. Academic Press, New York. pp. 303-317.

179. Inoue M., Gao Z. and Cai H., 2004a. "QTL analysis of lodging resistance and related traits in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.)", *Theor.Appl.Genet.*, 109: 1576-1585.
180. Inoue M., Gao Z., hirato M., Fujimori M. and Cai H., 2004b. Construction of a high density linkage map of italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) using restriction fragment length polymorphism, and telomeric repeat associated sequence markers. *Genome*, 47: 57-65.
181. INRAA., 2006. Deuxième Rapport national sur l'Etat des ressources phytogénétiques. INRAA, Juin 2006. www.fao.org/docrep/013/i1500e/Algeria.pdf
182. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge University Press, Cambridge.
183. Issolah R., 2008. Les fourrages en Algérie : Situation et perspectives de développement et d'amélioration. *Recherche Agronomique*, 22: 34-47.
184. Jadas-Hecart J., 1982. Etude en pâture de l'appétibilité de fétuques élevées (*Festuca arundinacea* Schreb.) à l'aide de moutons. *Agronomie*, 2 (5): 487-492.
185. Jadas-Hecart J., 1993. Diversité et conservation des ressources génétiques dans l'espèce *Festuca arundinacea* Schreb. <http://www.inra.fr/dpenv/jadass04.htm>.
186. Jadas-Hecart J. et Gillet M., 1978. Note sur les caractères agronomiques des hybrides entres fétuques élevées (*Festuca arundinacea* Schreb.) européennes et méditerranéennes avant et après doublement. Effet de la sélection dans les amphiploïdes. *Ann. Amelio. Plantes*, 28 (5) : 501-511.
187. Jadas-Hecart J. et Gillet M., 1987. Prospections et évaluations de Jauhar P.P., fétuques élevées de l'Ouest de la France. *Le sélectionneur français*, 38, 21-27.
188. Jadas-Hecart J. et Poisson C., 1992. La fétuque élevée, in Amélioration des espèces végétales cultivées, Gallais A et Bannerot H. (ed.), INRA, Paris, 299-309.
189. Jafari A. and Naseri H., 2007. Genetic variation and correlation among yield and quality traits in cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). *Journal of Agricultural Science*, 145: 599-610.
190. Jaritz G., 1982. Amélioration des herbages et cultures fourragères dans le nord-ouest de la Tunisie : étude particulière des prairies de trèfles-graminées avec *trifolium subterraneum*. GTZ, Germany. *Schriftenreihe* 119, Eschborn. 340 p.
191. Jartz G. et Bounedjmate M., 1991. Graminees vivaces (*Festuca arundinacea* Schreb., *Dactylis glomerata* L., *Pharparis aquatica* L., *Ehrharta calycina* Sm). In *Production et utilisation des cultures fourragères au Maroc*. Ed. INRA. Rabat. Maroc. pp. 269-276.
192. Jauhar P.P., 1975. Genetic regulation of diploid like chromosome pairing in the hexaploid species, *Festuca arundinacea* Schreb. and *Festuca rubra* L. (Graminae). *Chromosoma* (Berlin), 52: 363-382.

193. Jones H.G., 1987. Correction for non-specific interference in competitive immunoassays. *Physiol. Plant.*, 70:146-154.
194. Jones H.G., 1992. *Plant and Microclimates (Ed): A quantitative approach to environmental plant physiology*, Cambridge University Press, London.
195. Jones B.M. and Lazenby A., 1988. *The grass crop, the physiological basis of production*. Chapman and Hall, London. pp. 226-240.
196. Julier B. et Barre P., 2005. Les cartes génétiques chez les espèces fourragères pérennes des régions Tempérées. *Fourrages*, 183: 389-403.
197. Kaiser W.M., 1987. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. *Physiol. Plantarum*, 71: 142-149.
198. Kang M.S., 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: consequences for growers. *Agron. J.*, 85: 754-757.
199. Kang M.S., Gorman D.P., Pham H.N., 1991. Application of a stability statistic to international maize yield trails. *Theor. Appl. Gen.*, Vol. 81(2): 162-165.
200. Kavar T., Maras M., Kidric M., Sustar-Vozlic J. and Meglic V., 2007. Identification of genes involved in the response of leaves of *Phaseolus vulgaris* to drought stress. *Mol. Breed.*, 21: 159-172.
201. Kemp D.R. and Guobin L., 1992. Winter temperatures and reproductive development affect the productivity and growth components of white clover and phalaris growing in a mixed pasture. *Australian journal of agricultural research*, 43: 673-683.
202. Kemp D.R. and Michalk D.L., 2007. Towards sustainable grassland and livestock management. *Journal of agricultural Science*, 145: 543-564.
203. Kerbaa F., 1984. Utilisation des graminées comme plantes entières en fourrage au stade floral (orge). *El Hindiss*, 4: 52 - 64.
204. Kijne J.W., Barker R. and Molden D., 2003. *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunity for Improvement*. CABI, Cambridge, UK.
205. Knight R., 1973. The climatic adaptation of populations of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) from southern France. *Journal of Applied Ecology*, 10: 1-12.
206. Krauss S. and Peakall R., 1998. An evaluation of the AFLP fingerprinting technique for the analysis of paternity in natural population of *Persoonia mollis* (Proteaceae). *Aust. J. Bot.*, 46: 533-546.
207. Laddada, M., 2001. Alternatives fourragères en zones semi arides. *Actes de l'atelier national sur la stratégie de développement des cultures fourragères en Algérie*, 10-12 Juin 2001 : 55-59.

208. Lane P.A., Hall E. and Reid R., 1998. Evaluation of temperate perennial grasses for low to medium rainfall areas of Tasmania. *Proceedings, July 1998, Wagga Wagga NSW*, pp. 188-191.
209. Lane P.A., Hall E. and Reid R., 1999. Evaluation of temperate perennial grasses for low to medium rainfall areas of Tasmania. *Australian Society of Agronomy*. <http://www.regional.org.au/au/asa/1998/1/041lane.htm>
210. Lang G.A., Early J.D., Martin G.C. and Darnell R.L., 1987. Endo-, Para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *Hort. Science*, 22: 371–377.
211. Langridge P., Lagudah E.S., Holton T.A., Appels R., Sharp P.J. and Chalmers K.J., 2001. Trends in genetic and genome analyses in wheat: a review. *Aust. J. Agric. Res.*, 52: 1043-1077.
212. Lapeyronie A., 1982. Les productions fourragères méditerranéennes. Généralités, caractères biométriques et biologiques. Tome 1, Maisonneuve et Larousse, 390p.
213. Laude H.M., 1953. The nature of summer dormancy in perennial grasses. *Botanical Gazette* 114: 282-292.
214. Lawlor D.W., 1987. Photosynthesis: Metabolism, Control and Physiology. John Wiley and Sons, Inc., New York. pp. 236-241.
215. Lazaridou M. and Koutroubas S. D. 2004. Drought effect on water use efficiency of berseem clover at various growth stages. In, Fischer T *et.al.* (2004). *New directions for a diverse planet: Proceedings for the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia*, http://www.regional.org.au/au/asa/2004/poster/1/3/2/849_lazaridoum.htm
216. Leconte D., Simon J.C. et Stilmant D., 2004. «Diversité floristique de la prairie permanente normande. Approche en cours sur les liens entre composition botanique de ces prairies et caractéristiques des laits crus dérivés». *Actes des journées AFPP – 23-24 mars 2004 – Biodiversité des prairies*.
217. Lecomte D. et Simon J.C., 2004. Diversité floristique des prairies normandes, un patrimoine, un rôle fonctionnel. http://www.prairiales-normandie.com/iso_album/b_pin04_1.pdf.
218. Ledda L., Seddaiu G., Muroli S. and Caredda S., 2004. Summer dormancy and persistence in *Dactylis glomerata* L., in relation to genotype and water regimes. In : Jacobsen et al. (Eds.). *Proceedings of the VIII congress of the European Society of Agronomy*. 11-15 July 2004, Copenhagen, Denmark, pp. 123-124.
219. Le Floch D. et Mouchet C.H., 1979. La culture de la fétuque dans l'ouest : techniques d'implantation et d'exploitation. *Document INRA* : 113-132.
220. Le Houérou N.H., 1987. Les ressources fourragères de la flore Nord Africaine. *FAO-European Cooperative Network on Pasture and Fodder Crop Production. Bulletin* 5:127-132.

221. Lelièvre F. et Volaire F., 1993. Rythme saisonnier de croissance de quelques espèces fourragères utilisables en complément des parcours naturels en Corse. *Fourrages*, 133 : 59-81.
222. Lelièvre F. and Volaire F., 2009. Current and Potential Development of Perennial Grasses in Rainfed Mediterranean Farming Systems. *Crop Sci.*, 49: 2371–2378.
223. Lelièvre F., Norton M.R. and Volaire F., 2008. Perennial grasses in rainfed Mediterranean farming systems – Current and potential role. *Options Méditerranéennes*, Serie A, N° 79: 137-146. <http://ressources.ciheam.org/om/pdf/a79/00800635.pdf>.
224. Lelièvre F., Seddaiu G., Ledda L., Porqueddu C. and Volaire F., 2011. Water use efficiency and drought survival in Mediterranean perennial forage grasses. *Field crops research*, 121: 333-342.
225. Lemaire G., 1987. Tillering and Leaf Area Index in grasses in vegetative phase. *Grass and Forage Science*, 42(4): 373-380.
226. Lemaire G., 1991. Productivité des peuplements prairiaux: caractérisation et diagnostic. *Fourrages*, 127: 259-272.
227. Lemaire G., 2006. La Luzerne: Productivité et qualité. Workshop international sur la diversité des fabacées fourragères et leurs symbiotes: Applications Biotechnologiques, Agronomiques et Environnementales. Alger. Ed. A. Abdelguerfi. pp. 174-182.
228. Le Page-Degivry M.T., Bianco J., Barthe P. and Garello G. 1996. Change in hormone sensitivity in relation to the onset and breaking of sunflower embryo dormancy. In: Lang GA, ed. *Plant dormancy: physiology, biochemistry and molecular biology*. Wallingford, CAB International, pp. 221-231.
229. Levitsky G.A. and Kuzmina N.E., 1927. Morphological investigations on the genus *Festuca*. *Bull. Appl. Bot. Gent. Plant Breed.*, 17: 3-36.
230. Levitt J., 1980. Responses of plant to environmental stresses. London: Academic Press. 297p.
231. Lewis G.C., 2004. Effects of biotic and abiotic stress on the growth of three genotypes of *Lolium perenne* with and without infection by the fungal endophyte *Neotyphodium lolii*. *Ann.appl. Biol.*, 144: 53-63.
232. Lewis E.J., Humphreys M.W. and Caton M.P., 1980. Disomic inheritance in *Festuca arundinacea* Schreb. *Z. Pflanzenzüchtung*, 84: 335-341.
233. Lewis G.C., Bakken A.K., Macduff J.H. and Raistrick N., 1996. Effect of infection by the endophytic fungus *Acremonium lolii* on growth and nitrogen uptake by perennial ryegrass (*Lolium perenne*) in flowing solution culture. *Ann. appl. Biol.* 129: 451-460.
234. Lin C.S., Binns M.R. and Lefkovitch L.P., 1986. Stability analysis: where do we stand? *Crop Sci.*, 26: 894-900.

235. Lin C.S. and Binns M.R., 1988a. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Can. J. Plant Sci.*, 68: 193-198.
236. Lin C.S. and Binns M.R., 1988b. A method of analyzing cultivar x location x year experiment: a new stability parameter. *Theor. Appl. Genet.*, 76: 425-430.
237. Lindner R., Lema M. and Garcia A., 1999. Ecotypic differences and performance of the genetic resources of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) in northwest Spain. *Grass Forage Sci.*, 54: 336-346.
238. Lindner R., Lema M. and García A., 2004. Extended genetic resources of *Dactylis glomerata* subsp. *izcoi* in Galicia (northwest Spain). *Genet. Resour. Crop Evol.*, Vol. 51(4): 437-442.
239. Lingle S., 1987. Sucrose metabolism in the primary Culm of sweet sorghum during development. *Crop Sci.*, Vol. 27 (6): 1214-1219.
240. Lingorsky V., 1994. Effet du rythme d'exploitation sur 15 prairies temporaires bulgares. *Fourrages*, 138: 157-164.
241. Lolicato S.J., 2000. Soil water dynamics and growth of perennial pasture species for dryland salinity control. *Aust. J. Exp. Agric.*, 40: 37-45.
242. Lovelli S., Perniola M., Ferrara A. and Tommaso T.D., 2007. Yield response factor to water (ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum melongena* L. *Agric. Water Management*, 92: 73-80.
243. Lowe K. F., Bowdler T.M and Casey N., 1996. Economics of milk produced from temperate grasses in the subtropics. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production*, 21: 354.
244. Ludlow M.M., 1989. Strategies of response to water stress. In: Kreeb K.H., Richter H., Hinckley T.M., eds. *Structural and functional responses to environmental stresses*. The Hague, The Netherlands: Academic Publishing, 269-281.
245. Ludlow M.M., Chu A.C.P., Clements R.J. and Kerslake R.G., 1983. Adaptation of species of *Centrosema* to water stress. *Aust. J. Plant Physiol.*, 10: 119-130.
246. Lumaret R., 1981. Etude de l'hérédité des phosphatases acides chez le Dactyle (*Dactylis glomerata* L.) diploïdes et tétraploïdes. *Can. J. Genet.*, 23: 513-523.
247. Lumaret R., 1988. Cytology, genetics and evolution in the genus *Dactylis*. *CRC Critical Reviews in Plant Sciences*, 7: 55-91.
248. Lumaret L. and Borrientos E., 1990. Phylogenetic relationships and gene flow between sympatric diploid and tetraploid plants of *Dactylis glomerata* (*Gramineae*). *Plant Syst. Evol.*, 169: 81-96.
249. Lumaret L., Guillerm J.L., Delay J., Loutfi A., Izco J. and Jay M., 1987. Polyploidy and habitat differentiation in *Dactylis glomerata* L. from Galicia (Spain). *Oecologia*, 73: 436-446.

250. Maatoughi M.E.H., 2001. Alternatives fourragères en zones semi arides. Actes de l'atelier national sur la stratégie de développement des cultures fourragères en Algérie, 10-12 Juin 2001 : 49-50.
251. Maire R., 1955. La flore de l'Afrique du nord. Volume III. Ed. Paul Chevalier. Paris. pp 399.
252. Majidi M.M., Mirlohi A.F. and Sayed-Tabatabaei B.E., 2006. AFLP Analyses of Genetic Variation in Iranian Fescue Accessions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9 (10): 1869-1876.
253. Makhoulouf A., Dehbi H., bouzerzour H., Hannachi A., benmahammed A. and Adjabi A., 2006. Relationships between cold tolerance, grain yield performances and stability of durum wheat (*Triticum durum* desf.) genotypes grown at high elevation area of Eastern Algeria. *Asian J. Plant Sci.*, 5: 700-708.
254. Malinowski D.P. and Belesky D.P., 1999. *Neotyphodium coenophialum*-endophyte infection affects the ability of tall fescue to use sparingly available phosphorus. *J. Plant Nutr.*, 22: 835-853.
255. Malinowski D., Hill N.S., Baligar V.C. and Fedders J.M., 1998. Influence of phosphorus on the growth and ergot alkaloid content of *Neotyphodium coenophialum*-infected tall fescue "*Festuca arundinacea* Schreb. *Plant and Soil*, 198: 53-61.
256. Malinowski D.P., Belesky D.P., Zuo H., Ruckle J.M. Alloush G.A. and Stratton A.E., 2003. Do *Neotyphodium*-endophytes affect copper acquisition by cool-season grasses? In Annual Meetings Abstracts. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
257. Malinowski D.P., Zuo H., Kramp B.A., Muir J.P. and Pinchak W.E., 2005. Obligatory Summer-Dormant Cool-Season Perennial Grasses for Semiarid Environments of the Southern Great Plains. *Agron. J.*, 97:147-154.
258. Man D., Bao Y.X. and Han L.B., 2011. Drought tolerance associated with proline and hormone metabolism in two tall fescue cultivars. *HortScience*, 46: 1027-1032
259. Mannam V., 2011. Transpiration –use efficiency coefficient of seven weed species as affected by fraction of transpirable soil water and growth stage. Thèse de magister, Université Lincoln, Nebraska, 105p. DigitalCommons@University of Nebraska - Lincoln
260. Marks S., and Clay K., 1996. Physiological responses of *Festuca arundinacea* to fungal endophyte infection. *New Phytologist*, 133: 727-733.
261. Martin U., Alladru S.G. and Bahri Z.A., 1987. Dehydration tolerance of leaf tissues of six woad angiosperm species. *Physiol. Plant.*, 69: 182-186.
262. M.A.P., 1992. Le secteur agricole et les perspectives de sa promotion et de son développement. Rapport général de la commission nationale consultative sur l'agriculture. Ministère de l'Agriculture. P 207.

263. May L.H. and Mithorpe F.L., 1962. Drought resistance of crop plants. *Field Crop Abstracts*, 15: 171-179.
264. Mazzanti A., Lemaire G. and Gastal F., 1994. The effect nitrogen fertilization upon herbage production of tall fescue sward continuously grazed with sheep. 1. Herbage growth dynamics. *Grass and forage Science*, Vol. 49 (2): 111-120.
265. McCallum M.H., Kirkegaard J.A., Green T.W., Cresswell H.P., Davies S.L., Angus J.F. and Peoples M.B., 2004. Improved subsoil macroporosity following perennial pastures. *Aust. J. Exp. Agric.*, 44: 299–307.
266. Mebarkia A., 2001. Caractéristiques et comportement de quatre espèces du genre *Vicia* (ssp) dans une région semi aride de Sétif. *Thèse Magistère*, INA, Alger, 91p.
267. Mefti M., Bouzerzour H., Abdelguerfi A. et Nouar H., 2008. Morphological and Growth Characteristics of Perennial Grass cultivars Grown under Semi- Arid Conditions of the Algerian High Plateaus. *Journal of Agronomy*, Vol. 7 (2): 138-147.
268. Medrano H., Chaves M.M., Porqueddu C. and Caredda S., 1998. Improving forage crops for semi-arid areas. *Outlook Agric.*, 27: 89-97.
269. Merrien A., Blancher B. and Gelfi N., 1981. Relationships between water supply, leaf area development and survival and production in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Agronomie*, 1: 917-922.
270. Mezali A., 1978. Valeur alimentaire de quelques foins utilisés en Algérie. Thèse ingénieur, INA, Alger : 68-69.
271. Mian A.R., Hopkins A.A. and Zwonitzer J.C., 2002. Determination of genetic diversity in tall fescue with AFLP markers. *Crop Sci.*, 42:944-950.
272. Mian R.M.A., Zwonitzer J. C., Chen Y., Saha M.C. and Hopkins A.A., 2005. AFLP Diversity within and among Hardinggrass Populations. *Crop Sci.*, 45: 2591–2597.
273. Mitchell K.J., 1956. "Growth of pasture species under controlled environment. I. growth at various level of constant temperature", *New Zeland J. Sci. Techn.*, 1 (38): 203-216.
274. Mohguen K., 2000. Comportement agronomique et valeur fourragère de quelques populations de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Thèse. Magistère*. INA, El Harrach, 164 p.
275. Mohguen K. and Abdelguerfi A., 2004. Seasonal changes of quantitative and qualitative performances of 72 tall fescue populations in Algeria. *Cahiers Options Méditerranéennes*, 62: 113-114.
276. Mojayad F., 1993. Adaptation à la sécheresse, photosynthèse et photoinhibition chez le tournesol (*Helianthus annuus* L.). *PhD Thesis. Institut National Polytechnique, Toulouse, France*, 97p.

277. Monneveux P. et Nemmar M., 1986. Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, 6 (6): 583-590.
278. Moreno M., Gulías J., Lazaridou M., Medrano H. and Cifre J., 2008. Ecophysiological strategies to overcome water deficit in herbaceous species under Mediterranean conditions. Proceeding of 12th Meeting of the Sub-network on Mediterranean Forage Resources of the FAO-CIHEAM,. 247-257. <http://www.iamz.ciheam.org/elvas2008/pdfs-proceedings/247-257%20OPTIONS%20A-79.pdf>
279. Morgan J.M., 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant. Physiology*, 35: 299-319.
280. Morgan J.M., Hare R.A. and Fletcher R.J., 1986. Genetic variation in osmoregulation in bread and durum wheats and its relationship to grain yield in a range of field environments. *Aust. J. Agric. Res.*, 37: 449-457.
281. Morgante M. and Olivieri AM., 1993. PCR-amplified microsatellites as markers in plant genetics. *Plant J.*, 3 (1): 175–182.
282. Morizet J. and Merrien A., 1990. Principaux traits du comportement hydrique du tournesol. In *Le tournesol et l'eau* (eds. R. Blanchet & A. Merrien), pp.7–21. Cetiom Pub., Paris.
283. Mossab M., 2007. Contribution à l'étude de l'exploitation à double fin de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en région semi aride. *Thèse de Magister, ENSA, El-Harrach*, 110.
284. Mousset C., 1992. Le Dactyle. Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. INRA. Paris. 285-298.
285. Mousset C., 1993. Diversité et conservation des ressources génétiques dans le genre *Dactylis*. *Sauve qui peut*, 4 : 25-32.
286. Mousset C., 1995. Les dactyles ou le genre *Dactylis*. In *Ressources génétiques des plantes fourragères et a gazon*. Ed. J.M Prosperie, P. Guy et F. Balfourier : 29-52.
287. Mousset C., 2000. Rassemblement, utilisation et gestion des ressources génétiques de dactyle à l'INRA de Lusignan. *Fourrages*, 162 : 121-139.
288. Mousset C., Volaire F. et Ghesquiere M., 1992. Caractérisation des populations corses de dactyle. Etude de l'adaptation en zone méditerranéenne. *Fourrages*, 130 : 191-209.
289. Mundree S.G., Baker B., Mowla S., Peters S., Marais S., Wilingen C.V., Govender K., Mareza A., Muyanga S., Farrant J.M. and Thomson J.A., 2002. Physiological and molecular insights into drought tolerance. *Afr. J. Biotechnol.*, 1: 28–38.
290. Nedjraoui D., 2001. Profil Fourrager : <http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/Counprof/Algeria/Algerie.htm>.

291. Nefzaoui A., 1994. Adaptation de l'utilisation et du traitement des pailles aux conditions de l'Afrique du Nord. In Tisserand J.-L. (ed.). *Les pailles dans l'alimentation des ruminants en zone méditerranéenne*. Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 1994 : 61-78.
292. Nguyen H. T., Sleper D. A. and Hunt K. L., 1980. Genotype X environment interactions and stability analysis for herbage yield in tall tescue synthetics. *Crop Sci.*, 20: 221-224.
293. Niemann G.J., Purveen J.B.M., Eijkel G.B., Poorter H. and Boon J., 1992. Differences in relative growth rate in 11 grasses correlate as determined by pyrolysis mass spectrometry. *Oecologia*, 89: 567-573.
294. Nielsen D.C., Unger P.W. and Miller P.R., 2005. Efficient water use in dryland cropping systems in the Great Plains. *Agron. J.*, 97: 364-372.
295. Norris I.B. and Thomas H., 1982. Recovery of ryegrass species from drought. *Journal of agricultural science, Cambridge* 99: 623-628.
296. Norton M.R., Koetz E. and Stewart G., 2004. Perennial grasses for waterlogging prone, summer dry environments. CIHEAM. *Options Méditerranéennes*, 62: 121-124.
297. Norton M.R., Volaire F. and Lelièvre F., 2006a. Summer dormancy in *Festuca arundinacea* Schreb., the influence of season of sowing and a simulated mid-summer storm on two contrasting cultivars. *Australian Journal Agricultural Research*, 57: 1267-1277.
298. Norton M.R., Volaire F. and Lelièvre F., 2006b. Summer dormancy in *Festuca arundinacea* Schreb.: the influence of season of sowing and a simulated mid-summer storm on two contrasting cultivars. *Aust. J. Agric. Res.*, 57: 1267-1277.
299. Norton M.R., Volaire F. and Lelièvre F., 2006c. Summer dormancy in *Dactylis glomerata* L., the influence of season of sowing and a simulated mid-summer storm on two contrasting cultivars. *Aust. J. Agric. Res.*, 57: 57:565-675.
300. Norton M.R., Volaire F. and Lelièvre F., 2006d. How measuring summer dormancy in temperate perennial grasses ? In XXVI *Eucarpia meeting 'Fodder crops and amenity grasses'*, Perugia, Italy.
301. Norton M.R., Volaire F. and Lelièvre F., 2007: Measuring summer dormancy in temperate perennial grasses. In: D. Rosellini, and F. Veronesi, eds. *Breeding and Seed Production for Conventional and Organic Agriculture*. Università degli Studi di Perugia, Facoltà di Agraria, Perugia. pp. 353-356.
302. Norton M.R., Lelièvre F., Fukai S. and Volaire F., 2008. Measurement of summer dormancy in temperate perennial pasture grasses. *Aust. J. Agric. Res.*, 59: 498-509.
303. Norton M. R., Volaire F., Lelièvre F. and Fukai S., 2009. Identification and measurement of summer dormancy in temperate perennial grasses. *Crop Sci.*, 49: 2347-2352.
304. Ober S. and sharp P., 1994. Polyphasic chlorophylla fluorescence transients in plants and cyanobacteria. *Photosynthesis research*, 29: 147-150.

305. O'Donovan. M., 2001. The influence of grass cultivars on milk production. Teagasc. Fermoy. Teagasc Report no. ARMIS-4572.
306. Ofir M. and Kigel J., 1998. Abscisic acid involvement in the induction of summer-dormancy in *Poa bulbosa*, a grass geophytes. *Physiologica planetarium*, 102: 163-170
307. Ofir, M. and Kigel J., 2003. Variation in onset of summer dormancy and flowering capacity along an aridity gradient in *Poa bulbosa* L., a geophytic perennial grass. *Annals of Botany*, 91: 391-400.
308. Ofir, M. and Kigel J., 2007. Regulation of summer dormancy by water deficit and ABA in *Poa bulbosa* ecotypes. *Ann. Bot.*, 99: 293-299.
309. Olson G.L., Phillips T.D., Lacifield G.D., Vanzant E. and Smith S.R., 2005. Cool-season grass grazing tolerance. Kentucky Agric. Exp. Stn., Univ. of Kentucky, Lexington University of Kentucky, *Extension Service Report 515*, 14 pages.
310. Openstat, 2010. Free statistical software written by W.G. Miller.
311. Oram R.N., 1983. Ecotypic differentiation for dormancy levels in over summering buds of *Phalaris aquatica* L. *Botanical gazette*, 144: 544-551.
312. Oram R.N., 1990. Register of Australian herbage plant cultivars, 3rd edn. CSIRO, East Melbourne, Australia. ISBN 0643 05054X.
313. Ouknider M. et Jacquard P., 1986. Production et valeur nutritive de l'association vesce avoine en zones méditerranéennes. *Fourrages*, 105: 39-66.
314. Ozturk Z.N., Talamé V., Deyholos M., Michalowski C.B., Galbraith D.W., Gozukirmizi N., Tuberosa R. and Bohnert H.J., 2002. Monitoring large-scale changes in transcript abundance in drought- and salt-stressed barley. *Plant Molecular Biology*, 48: 551–573.
315. Paglia G. and Morgante M., 1998. PCR-based multiplex DNA fingerprinting techniques for the analysis of conifer genomes. *Mol. Breed.*, 4: 173-177.
316. Panaccione D.G., Johnson R.D., Wang J., Young C.A., Damrongkool P., Scott B. and Schardl C.L., 2001. Elimination of ergovaline from a grass-Neotyphodium endophyte symbiosis by genetic modification of the endophyte. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98: 12820–12825.
317. Paterson J., Forcherio C., Larson B., Samford M. and Keeley M., 1995. The effects of fescue toxicosis on beef cattle productivity. *J. Anim. Sci.*, 73: 889-898.
318. Pattanagul W. and Madore M.A., 1999. Water deficit effects on raffinose family oligosaccharide metabolism in coleus. *Plant Physiol.*, 121: 987-993.
319. Pearson J. and Stewart G.R., 1987. Aspects of nitrogen metabolism in barley in relation to drought stress. In : Monti L., Porceddu E., Eds. *Drought resistance in plants, Physiological and genetic aspects*. Luxembourg : C.E.E., 203-214.

320. Pearson C.J. and Ison R.L., 1997. Agronomy of grassland systems. 2nd Edition. Cambridge University Press. 222 pages.
321. Pecetti L., Annicchiarico P., Abdelguerfi A., Kallida R., Mefti M., Porqueddu, C., Simões N.M., Volaire F. and Lelièvre F., 2011. Response of Mediterranean tall fescue cultivars to contrasting agricultural environments and implications for selection. *J. Agron. Crop Sci.*, 197: 12-20.
322. Peng Y., Zhang X., Deng Y. and Ma X., 2008. Evaluation of genetic diversity in wild orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) based on AFLP markers. *Hereditas*, 145:174-181.
323. Petersen R.G., 1994. Agricultural field experiments: Design and Analysis. New York, Marcel Dekker. p.190.
324. Pham H.N. and Kang M.S. 1988. Interrelationships among and repeatability of several stability statistics estimated from international maize trials. *Crop Sci.*, 28: 925-928.
325. Piano E. and Pusceddu S., 1989. Breeding new varieties of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) adapted to Mediterranean environments. Proc. XVI Intern. Grasslands Congress., Nice, France, 317-318.
326. Piano E., Pecetti L., Annicchiarico P., Carroni A.M., Fornasier F. and Romani M., 2004. Combining drought tolerance and responsiveness to summer moisture availability in cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) germplasm grown in Mediterranean environments. *Austr. J. Agric. Res.*, 55: 1197-1204.
327. Poisson C. 1992. Les plantes fourragères. In Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. ed. Gallais A. et Bannerot H. pp : 2267-283.
328. Porqueddu C., Nieddu S. and Maltoni S., 2008. Drought survival of some perennial grasses in Mediterranean rainfed conditions: Agronomic traits. *Options Méditerranéennes*. Series A. N°79: 231-235.
329. Premachandra G.S., Saneoka H., Kanaya M. and Ogata S., 1991. Cell membrane stability and leaf surface wax content as affected by increasing water deficits in maize. *J. Exp. Bot.*, 42: 167-171.
330. Prioul J.L., Cornic G. and Jones H.G., 1984. Distribution of stomatal and non stomatal component in leaf photosynthesis decline under stress conditions. In : Sybesma C., eds. *Advances in photosynthesis research*, Vol. IV. The Hague : Martinus Nijhoff : 375-378 pp.
331. Quian Y.L., Fry J.D. and Upham W.S., 1997. Rooting and drought avoidance of warm season turfgrasses and tall fescue in Kansas. *Crop Sci.*, 37: 905-910.
332. Quisenberry J.E, Cartwright G.B., McMichael B.L., 1984. Genetic relationship between turgor maintenance and growth in cotton germplasm. *Crop Sci.*, 24: 479-482.
333. Rafalski J.A., 2002a. Novel genetic mapping tools in plants: SNPs and LD-based approaches. *PlantSci.*, 162 (3): 329-333.

334. Rafalski J.A., 2002b. Applications of single nucleotide polymorphisms in crop genetics. *Curr. Opin.Plant Biol.*, 5 (2): 94-100.
335. Ramanjulu S. and Bartels D., 2002. Drought and dessication-induced modulation of gene expression in plants. *Plant Cell. Env.*, 25: 141-151.
336. Rambal S., Ourcival J.M., Joffre R., Mouillot F., Nouvelon Y., reichstein M. and Rocheteau A., 2003. Drought controls over conductance and assimilation of a Mediterranean evergreen ecosystem : Scaling from leaf canopy. *Global Change Biology*, 9: 1-12.
337. Ravel C., Courty C., Coudret A. and Charmet G., 1997. Beneficial effects of *Neotyphodium lolii* on the growth and water status in perennial ryegrass cultivated under nitrogen deficiency or drought stress. *Agronomie*, 17: 173- 181.
338. Raynal G., 1991. Observations françaises sur les *Acremonium*, champignons endophytes des graminées fourragères. *Fourrages*, 126: 225-237.
339. Reed, K.F.M., 1996. Improving the adaptation of perennial ryegrass, tall fescue, phalaris, and cocksfoot for Australia. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 39: 457-464.
340. Reed, K.F.M., Lee C.K., Jahufer M.Z.Z. and Anderson M.W., 2004. Fraydo tall fescue (*Festuca arundinacea* L.). *Aust. J. Exp. Agric.*, 44: 955–957.
341. Rees A.R., 1992. Ornamental bulbs, corms and tubers. Wallingford: CAB International.
342. Reeves G., Francis D., Davies Davis M. S., Rogers H.J. and Hodkinson T.R., 1998. Genome size is negatively correlated with altitude in natural populations of *Dactylis glomerata*. *Ann. Bot.*, 82: 99-105.
343. Reuter R.R. and Horn G.W., 2002. Cool-season perennial grasses as complementary forages to winter wheat pasture. *Prod. Anim. Sci.*, 18: 44-51.
344. Reynolds M.P., Ortiz-Monasterio J.I. and McNab A., 2001. Application of physiology in wheat breeding, CIMMYT, Mexico.
345. Riccardi F., Gazeau P., de Vienne D. and Zivy M., 1998. Protein changes in response to progressive water deficit in maize. *Plant Physiology*, 117: 1253–1263.
346. Richardson M.D., Bacon C.W. and Hovel C.S., 1990. The Effect of Endophyte Removal on Gas Exchange in all Fescue. In: *Proceedings of the International Symposium on Neotyphodium/Grass Interactions*, Quisen-Berry, S. and R. Joost (Eds.). Louisiana Agricultural Experiment Station, Baton Rouge, LA., pp: 189-193.
347. Rice J.S., Pinkerton B.W., Stringer W.C. and Undersander D.J., 1990. Seed production in tall fescue as affected by fungal endophyte. *Crop Sci.*, 30: 1303-1305.

348. Rogers M.E. and Lush W.M., 1989. Comparisons of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) accessions grown as turfs (lawns). *Australian journal of agricultural research*, 40: 549-559.
349. Rognli O.A., 2005. Genetic Diversity within and among Nordic Meadow Fescue (*Festuca pratensis* Huds.) Cultivars Determined on the Basis of AFLP Markers. *Crop Sci.*, 45: 2081-2086.
350. Rohlf F.J., 2000. NTSYSpc. Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System, version 2.1. Exeter Publ., Setauket, NY.
351. Roldán-Ruiz I., Dendauw j., Van Bockstaele E., Depicker A. and De Loose M., 2000. AFLP markers reveal high polymorphic rates in ryegrasses (*Lolium* spp.). *Molecular Breeding*, 6: 125–134.
352. Roldán-Ruiz I., De Riek J., Muylle H., Baert J., Ghesquiere A. et Vandewalle M., 2005. Les marqueurs moléculaires : quelles utilisations possibles en cultures fourragères ?. *Fourrages*, 183: 419-438.
353. Rose L.W., Das M.K. and Taliaferro C.M., 2008. A comparison of dry matter yield stability assessment methods for small numbers of genotypes of Bermudagrass. *Euphytica*, 164: 19-25.
354. Rudgers J.A. and Clay K., 2007. Endophyte symbiosis with tall fescue: how strong are the impacts on communities and ecosystems?. *Fungal Biology Reviews*, 21 :107-124.
355. Sabaghnia N., Dehghani H. and Sabaghpour S.H., 2006. Nonparametric methods for interpreting genotype x environment interaction of Lentil genotypes. *Crop Sci.*, 46: 1100-1106.
356. Saha M.C., Mian M.A.R., Eujayl I., Zwonitzer J.C., Wang L., and May G.D., 2004. Tall fescue EST-SSR markers with transferability across several grass species. *Theor. Appl. Genet.*, 109: 783–791.
357. Saha M.C., Mian M.A.R., Zwonitzer J.C., Chekhovskiy K., and Hopkins A.A., 2005. An SSR and AFLP based genetic linkage map of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *Theor. Appl. Genet.*, 110: 323–336.
358. Saha M.C., Cooper J.D., Mian R., Chekhovskiy K. and May G.D., 2006. Tall fescue genomic SSR markers: development and transferability across multiple grass species. *Theor. Appl. Genet.*, 113 (8): 1449-1458.
359. Sahuquillo E. and Lumaret R., 1995. Variation in the subtropical group of *Dactylis glomerata* L. Evidence from allozyme polymorphism. *Biochem. Syst. Ecol.*, 23: 407-418.
360. Salisbury J.H., 1961. A study of dormancy, survival, and other characteristics in *Lolium perenne* L. at Adelaide, South Australia. *Aust. J. Agric. Res.*, 12: 1-9.

361. Samaras Y., Bressan R.A., Csonka L.N., Garcia-Rios M.G., Paino D'urzo M. and Rhodes D., 1995. Proline accumulation during drought and salinity. In: *Smirnoff N. Ed. Environment and plant metabolism, flexibility and accumulation*, Oxford BIOS 161, 79-88.
362. Sambrook J, Fritsch E.F. and Maniatis T, 1989. Molecular cloning: A laboratory manual, 2nd ed. Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, NY.
363. Saneoka H., Ogata S. and Agata W., 1996. Cultivar differences in dry matter production and leaf water relations in water stressed maize (*Zea mays* L.). *Grassland sci.*, 41(4): 294-301.
364. Santoni S., Faivre-Rampant P., Prado E. et Prat D., 2000. Marqueurs moléculaires pour l'analyse des ressources génétiques et l'amélioration des plantes. *Cah. Agric.*, Vol. 9 (4): 311-327.
365. Scehovic J., 1995. Etude de l'effet de diverses espèces de plantes des prairies permanentes sur l'hydrolyse enzymatique des constituants pariétaux. *Ann. Zootech.* 44: 87-96.
366. Schields R. and Burnett W., 1960. Determination of protein bound carbohydrate in serum by a modified anthrone method. *Annal. Chem.*, 32, 885-886.
367. Schmidt D. et Guy R., 1997. Influence de la présence de l'endophyte *Acremonium uncinatum* et d'un traitement insecticide sur la productivité en semences de la fétuque des prés. *Revue Suisse d'Agriculture*, 29 : 97-99.
368. Seal A.G., 1983. DNA variation in *Festuca*. *Heredity*, 50: 225-236.
369. Setter T.L. and Meller V.H., 1984. Reserve carbohydrate in maize stem. Glucose and sucrose uptake characteristics. *Plant Physiol.*, 75: 617-622.
370. Shaimi, N., Kallida, R., Volaire, F. and Al Faiz, C., 2009. Summer dormancy in orchardgrass: evaluation and characterization through ecophysiological and genetic studies. *Crop Sci.*, 49: 353-2358.
371. Sharma A., Sharma R. and Machii H., 2000. Assesment of genetic diversity in a *Morus* germplasm collection using fluorescens-based AFLP markers. *Theor. Appl. Gent.*, 101: 1049-1055.
372. Sharp R.E., 1990. Comparative sensitivity of root and shoot growth and physiology to low water potentials. In *Importance of Root to Shoot Communication in the Response to Environmental Stress*. Eds. W.J. Davies and B. Jeffcoat. British Society for Plant Growth Regulation, Bristol, U.K., pp. 29-44.
373. Shukla G.K., 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype x environmental components of variability. *Heredity*, 29: 237-245.
374. Siddique K.H.M., Tennant D., Perry M.W. and Belfort R.K., 1990. Water use and water use efficiency of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aust. J. Agri. Res.*, 45: 431-447.

375. Siegel M.R., Johnson M.C., Varney D.R., Nesmith W.C., Buckner R.C., Bush L.P., Burrus II P.B., Jones T.A. and Boling J.A., 1984. A fungal endophyte in tall fescue: Incidence and dissemination. *Phytopathology*, 74: 932–937.
376. Simane B., Peacock J.M. and Struik P.C., 1993. Differences in development plasticity growth rate among drought. Resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Plant and Soil*, 157: 155-166.
377. Sinclair T.R. and Ludlow M.M., 1985. Who taught plants the thermodynamics of water? The unfulfilled potential of plant water potential. *Aust. J. Plant Physiol.*, 12: 213-217.
378. Singh T.N., Aspinall D. and Paleg L.G., 1972. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley: a potential metabolic measure of drought resistance. *Nature new biology*, 236: 188-190.
379. Si Ziani Y. et Boulberhane D., 2001. Bilan fourrager 1998 : comparaisons offre/besoins. *Actes du 1er atelier national Sur le développement des fourrages en Algérie ITGC* : 20-26.
380. Slim H., 1982. Etude du comportement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en double exploitation : fourrage et grain. *Thèse ingéniorat, INA Tunis*, 124p.
381. Sleper D.A., 1985. Breeding tall fescue. *Plant breed. Rev.*, 3: 313-342.
382. Sleper D.A. and Buckner R.C., 1995. The fescues. In R. F. Barnes, D. A. Miller, C. J. Nelson, and M. E. Heath [eds.], *Forages*, 345–356. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
383. Smit H.J., Tas B.M., Taweel H.Z., Tamminga S. and Elersma A., 2005. Effects of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars on herbage production. nutritional quality and herbage intake of grazing dairy cows. *Grass and Forage Science*, 60 (3): 297-309.
384. Soreng R.J. and Davis J.I., 1998 Phylogenetics and character evolution in the grass family (Poaceae): simultaneous analysis of morphological and chloroplast DNA restriction site characters. *Botanical Review*, 64: 1–85.
385. Spangenberg G., Wang Z.Y., Wu X.L., Nagel J., Iglesias VA. and Potrykus I., 1995a. Transgenic tall fescue (*Festuca arundinacea*) and red fescue (*F. rubra*) plants from microprojectile bombardment of embryogenic suspension cells. *J Plant Physiol.*, 145: 693-701.
386. Spangenberg G., Wang Z.Y., Wu X.L., Nagel J. and Potrykus I., 1995b. Transgenic perennial ryegrass (*Lolium perenne*) plants from microprojectile bombardment of embryogenic suspension cells. *Plant Sci.*, 108:209–217.
387. Sperry J.S., 2000. Hydraulic constraints on plant gas exchange. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104: 13-23.
388. Stebbins G.L. and Zohary D., 1959. Cytogenetic and evolutionary studies in the genus *Dactylis*. I. Morphology, distribution and inter relationships of the diploid subspecies.

- University of California Publications in Botany 31. California Univ. Press, Berkeley, Los Angeles, p. 40.
389. Steel R.G.D. and Torrie J.H., 1982. Principles and Procedures of Statistics. 3rd Ed., McGraw-Hill International Book Co., London.
390. Stewart C.R., 1981. Proline accumulation : Biochemical aspects. In : PAleg L.G., Aspinal D., eds. *The physiology and biochemistr of drought resistance in plants*. Sydney : Academic press : 609-635.
391. Stone B.A., 1994. Prospects for improving the nutritive value of temperate perennial pasture grasses. *New Zealand J. Agric. Res.*, 37: 349-363.
392. Sweeny P.M. and Danneberger T.K., 1997. RAPD markers from perennial ryegrass DNA extracted from seeds. *Hort. Science*, 32(7): 1212–1215.
393. Tarpley L., Lingle S.E., Vietor D.M., Andrews D.L. and Miller F.R., 1994. Enzymatic control of non structural carbohydrate concentrations in stems and panicles of sorghum. *Crop Sci.*, Vol. 34 (2): 446-452.
394. Tosun M., Akgun I., Taspinar M.S. and Kanli M., 2002. Determination of variations of some enzymes in orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) ecotypes. *Soil Plant Sci.*, 52: 110-115.
395. Troll W. and Lindsley J., 1955. A photometric method for the determination of proline. *J. Bio. Chem.*, 215: 655-660.
396. Turgen A.J., 1985. Turf Grass Managements. *Reston publishing company*. Reston Virginia. PP. 416.
397. Turner N.C., 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. In: *Stress physiology in Crop Plants*, (Eds.): H. Mussell and R.C. Staples. pp. 181-194.
398. Turner N.C., 1986. Adaptation to water deficits: A changing perspective. *Australian J Plant Physiol*, 13: 175–190.
399. Turner N.C., 1997. Further progress in crop water relation. *Adv Agron*, 58: 293-338.
400. Turner N.C., 2004. Sustainable production of crops and pastures under drought in a Mediterranean environment. *Annals of Applied Biology*, 144:139-147.
401. Turner N.C., Wright G.C and Siddique K.H.M., 2001. Adaptation of grain legumes (pulses) to water-limited environments, *Adv. Agron.*, 71: 123-231.
402. Tyree M.T. and Jarvis P.G., 1982. Water in tissues and cells. In: Lange DL, Nobel PS. Osmond CB, Ziegler H, eds. *Encyclopedia of plant physiology*. New Series, Vol. 128, *Physiological plant ecology II., Water relations and carbon assimilation*. Springer-Verlag, Berlin : 36-77.

402. Van Loo E.N., Dolstra O., Humphreys M.O., Wolters L., Leusink W., De Riek J. and Bark N., 2003. Lower nitrogen losses through marker assisted selection for nitrogen use efficiency and feeding value in ryegrass (NIMGRASS), Vortage für Pflanzenzüchtung (59), *Proc. Of Eucarpia meeting on grass breeding*, Braunschweig, Germany, 22-25 september 2002, 270-280.
403. Van Wijk A.J.P., Boonman J.G. and Rumball W., 1993. Achievements and perspectives in the breeding of forage grasses and legumes. In: Baker. M.J. ed. Grasslands for our world: proceedings of the 17th international grassland congress. held in February 1993. in New Zealand and Queensland. SIR. Wellington. 379-383
404. Vegis A., 1964. Dormancy in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 15: 185-224.
405. Verdager B., Bonnacuelle M.H., Balardelle C., Romestant M. et Lacaze P., 2005. Génie génétique appliqué à l'amélioration des espèces fourragères. *Fourrages*, 183: 347-364.
406. Vergara G.V. and Bughrara S.S., 2003. AFLP analyses of genetic diversity in bentgrass. *Crop Sci.*, 43: 2162-2171.
407. Vergara G.V. and Bughrara S.S., 2004. Genetic differentiation of tetraploid creeping bentgrass and hexaploid redtop bentgrass genotypes by AFLP and their use in turfgrass breeding. *Crop Sci.*, 44: 884-890.
408. Vicari M., Hatcher P.E. and Ayres P.G., 2002 Combined effect of foliar and mycorrhizal endophytes on an insect herbivore. *Ecology*, 83: 2452-2464.
409. Villax E.J., 1963. La culture des plantes fourragères dans la région méditerranéenne occidentale. INRA Rabat. 641p.
410. Vogel K.P., Brejda J.J., Walters D.T. and Buxton D.R., 2002. Switchgrass Biomass Production in the Midwest USA: Harvest and Nitrogen Management. *Agron. J.*, 94: 413-420.
411. Volaire F., 1991. Agronomical evaluation of local populations of cochsfoot (*Dactylis glomerata* L.) *Agroicultura Mediteranea*, 121; 263-271.
412. Volaire F., 1995. Growth, carbohydrate reserves and drought survival strategies of contrasting *Dactylis glomerata* populations in a Mediterranean environment. *Journal of Applied Ecology*, 32: 56-66.
413. Volaire F., 2002. Drought survival, summer dormancy and dehydrin accumulation in contrasting cultivars of *Dactylis glomerata*. *Physiologia Plantarum*, 116: 42-51.
414. Volaire F., 2003. Seedling survival under drought differs between an annual (*Hordeum vulgare*) and a perennial grass (*Dactylis glomerata*). *New Phytologist*, 160: 501-510.

415. Volaire F., 2008: Plant traits and functional types to characterise drought survival of pluri-specific perennial herbaceous swards in Mediterranean areas. *Eur. J. Agron.*, 29: 116-124.
416. Volaire F. and Thomas H., 1995. Effects of drought on water relations, mineral uptake, water-soluble carbohydrates accumulation and survival of 2 contrasting populations of cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). *Annals of Botany*, 75: 513-524.
417. Volaire F. and Lelièvre F., 1997. Production, persistence and water-soluble carbohydrate accumulation in 21 contrasting populations of *Dactylis glomerata* L. subjected to severe drought in the South of France. *Aust. J. Agric. Res.*, 48 (7): 933-944.
418. Volaire F. and Lelièvre F., 2001. Drought survival in *Dactylis glomerata* and *Festuca arundinacea* under similar rooting conditions in tubes. *Plant and Soil*, 229: 225-234.
419. Volaire F. and Norton M.R., 2006. Summer dormancy in perennial temperate grasses. *Ann. Bot.*, 98: 928-933.
420. Volaire F., Gordon M. et Lelièvre F., 1990a. Etude typologique des formations herbacées de Corse. I. Elaboration d'une typologie par la caractérisation mésologique et floristique des types. *Agronomie*, 10 : 163-174.
421. Volaire F., Gordon M. et Lelièvre F., 1990b. Les formations herbacées de Corse. II. Essai de validation de la typologie par la caractérisation de la structure végétale des types. *Agronomie*, 10: 233-241.
422. Volaire F., Thomas H. and Lelièvre F., 1998. Survival and recovery of perennial forage grasses under prolonged Mediterranean drought. I. Growth, death, water relations and solute content in herbage and stubble. *New Phytol.*, 140: 439-449.
423. Volaire F., Conejero G. and Lelièvre F., 2001. Drought survival and dehydration tolerance in *Dactylis glomerata* and *Poa bulbosa*. *Australian Journal of Plant Physiology*, 28: 743-754.
424. Volaire F., Satge S. et Lelièvre F., 2007. Résistance et survie à la sécheresse chez les graminées pérennes. *Journées AFPP. Production fourragères et adaptation à la sécheresse*. 27-28 Mars, 2007.
425. Volaire F., Norton M.R, Norton G.M, and Lelièvre F. 2005. Seasonal patterns of growth, dehydrins and water-soluble carbohydrates in genotypes of *Dactylis glomerata* varying in summer dormancy. *Ann. Bot.*, 95:981-990.
426. Volaire F., Seddaiu G., Ledda L. and Lelièvre F. 2009. Water deficit and induction of summer dormancy in perennial Mediterranean grasses. *Annals of Botany*, 103: 1337-1346.
427. Vos P., Hogers R., Bleeker M., Reijans M., van de Lee T., Hornes M., Frijters A., Pot J., Peleman J., Kuiper M. and Zabeau M., 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucl. Acids Res.*, 23, p. 4407-4414.
428. Waldron B.L., Asay K.H. and Jensen K.B., 2002. Stability and yield of cool-season pasture grass species grown at five irrigation levels. *Crop. Sci.*, 42: 890-896.

429. Wang Z., Hopkins A. and Main R., 2001. Forage and turfgrass biotechnology. *Critical Rev. in Plant Sci.*, 20: 573-619.
430. Wang Z.Y., Bell J., Ge Y.X. and Lehmann D., 2003. Inheritance of transgenes in transgenic tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). *In Vitro Cell Dev Biol Plant.*, 39:277–282.
431. Warburton M.L., Hoisington D.A., Xia X.C. and Charcosset A., 2000. Fingerprinting maize populations using a bulking strategy. p. 191–192. *In 2000 Annual Meeting Abstracts. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI*
432. Warnke S.E., Barker R.E., Jung G., Sim S.C., Mian M.A.R., Saha M.C., Brilman L.A., Dupal M.P. and Forster J.W., 2004. Genetic linkage mapping of an annual 3 perennial ryegrass population. *Theor. Appl. Genet.*, 109: 294–304.
433. Watson L., Clifford H. T. and Dallwitz M. J., 1985. The classification of Poaceae: subfamilies and supertribes. *Aust. J. Bot.*, 33: 433-484.
434. Weising K., Nybom H., Wolff K. and Meyer W., 1995. DNA Fingerprinting in Plants and Fungi (ed. Arbor, A.). CRC Press, Boca Raton.
435. West C.P., Izekor E., Turner K.E. and Elmi A.A., 1993. Endophyte effects on growth and persistence of tall fescue along a water-supply gradient. *Agronomy Journal*, 85: 264-270.
436. White R.H., Engelke M.C., Morton S.J., Johson-Cicalese M. and Ruemmele B.A., 1992. *Acremonium* endophyte effects on tall fescue drought tolerance. *Crop Sci.*, 32: 1392-1396.
437. Wilhelm WW. and Nelson CJ., 1978. Growth analysis of tall fescue genotypes differing in yield and leaf photosynthesis. *Crop Sci.* 18: 951-954.
438. Williams JGK., Kubelik AR., Livak KJ., Rafalski JA. and Tingey SV., 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucl. Acids Res.*, 18 (22), p. 6531–6533.
439. Wricke G., 1962. Evaluation method for recording ecological differences in field trials. *Z. Pflanzenzücht.*, 47: 92-96.
440. Wright LN., 1964. Drought tolerance-program-controlled environmental evaluation among range grass genera and species. *Crop Sci.*, 4: 472-474.
441. Wu Y.Q., Taliaferro C.M., Bai G.H. and Anderson M.P., 2004. AFLP analysis of *Cynodon dactylon* L. Var. *dactylon* genetic variation. *Genome*, 47: 689-696.
442. Xu W.W. and Sleper D.A., 1994. Phylogeny of tall fescue and related species using RFLPs. *Theor. Appl. Genet.*, 88: 685–690.
443. Xu W.W., Sleper D.A. and Krause G.F., 1994. Genetic diversity of tall fescue germplasm based on RFLPs. *Crop Sci.*, 34:246–252.

444. Xu W.W., Sleper D.A. and Chao S., 1995. Genome mapping of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) with RFLP markers. *Theor. Appl. Genet.*, 91:947–955.
445. Yancey P.H., Clark M.E., Hand S.C., Bowlus R.D. and Somero G.N., 1982. Living with water stress evolution of osmolyte system. *Science*, 217: 1214-1222.
446. Yamada T., Jones E.S., Cogan N.O.I., Vecchies A.C., Nomura T., Hisano H., Shimamoto Y., Smith K.F., Hayward M.D. and Forster J.W., 2004. “QTL analysis of morphological, developmental, and winter hardiness-associated traits in *perennial ryegrass*”, *Crop Sci.*, 44, 925-935.
447. Yau S.K. and Mekni M.S., 1985. Characterization of dual purpose barley approach. *Rachis*, (4) 1: 33-34.
448. Young C.A., Bryant M.K., Christensen M.J., Tapper B.A., Bryan G.T. and Scott B., 2005. Molecular cloning and genetic analysis of a symbiosis-expressed gene cluster for lolitrem biosynthesis from a mutualistic endophyte of perennial ryegrass. *Molecular Genetics and Genomics* 274: 13-29.
449. Yu K. and Pauls K.P., 1993. Rapid estimation of genetic relatedness among heterogeneous populations of alfalfa by random amplification of genomic DNA samples. *Theor. Appl. Genet.*, 86:788–794.
450. Zeghida, A. 1987. La rotation céréale- medicago dans les zones à vocation céréales-élevage. *Céréaliculture*, 16: 52-56.
451. Zeghida A., 2001. Amélioration de la production fourragère : les associations pour la production de foin. *Actes du 1^{er} Atelier national sur la stratégie de développement des cultures fourragères en Algérie*, 10-12 Juin 2001 : 21-31.
452. Zhang J., Jia W., yang J. and Ismail A., 2006. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses. *Field crop research*, 97: 111-119.
453. Zwierzykowski Z., 2004. Amphiploid and introgression breeding within the *Lolium-Festuca* complex- achievements and perspectives. In Development of novel grass with environmental stress tolerance and high forage quality through intergeneric hybridisation between *Lolium* and *Festuca*. Yamada T. and Takamizo T. Ed. pp. 17- 29.
454. Zwonitzer J.C., Mian M.A.R., Saha M.C. and Wang Z., 2004. SSR diversity in Darnel ryegrass and its relationship to fescue species. *In Annual Meetings Abstracts (CD)*. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, WI.

Résumé:

La présente étude a été conduite au niveau du site expérimental de la station de l'ITGC de Sétif au cours des campagnes 2005/06, 2006/07, 2007/08 et 2008/2009 avec l'objectif d'évaluer les performances de 14 variétés de graminées pérennes, appartenant à deux espèces : *Festuca arundinacea* Schreb. et *Dactylis glomerata* L. dans une zone semi-aride. La caractérisation a porté sur divers caractères morphologiques et physiologiques dans le but d'évaluer leur liaison avec la tolérance à la sécheresse. Les résultats obtenus montrent l'existence d'un large éventail de variabilité suite à la diversité des réponses des variétés évaluées des deux espèces, notamment en ce qui concerne la production de la biomasse aérienne, la durée du cycle de production et la persistance, ainsi que l'efficacité d'utilisation de l'eau, qui est considérée comme un élément des plus importants dans la réussite des prairies artificielles dans les zones semi-arides. Ces résultats montrent des possibilités de sélection d'un matériel végétal adapté aux conditions spécifiques des zones semi-arides des hauts plateaux d'Algérie. En effet, cette étude nous a permis de faire ressortir les génotypes performants caractérisés par un haut rendement, une bonne croissance en hauteur, une précocité à l'épiaison ainsi qu'une bonne persistance. De plus une évaluation de la diversité génétique des variétés étudiées a été réalisée sur la base d'une analyse du polymorphisme de longueur des fragments amplifiés (AFLP), révélée par la méthode de marquage fluorescent et en utilisant des échantillons d'ADN en Bulk. Les dendrogrammes réalisés par la méthode UPGMA (*Unweighted Pair Group Method using arithmetic average*) ainsi que l'analyse en coordonnées principale (ACoP) ont permis d'évaluer les variations génétiques entre les variétés étudiées.

Mots clés: Graminées pérennes, matière sèche, persistance, Efficacité d'utilisation de l'eau, climat semi-aride, Diversité génétique, AFLP.

Summary:

This study was conducted at the experimental site of the ITGC institute in Sétif during the cropping seasons 2005/06, 2006/07, 2007/08 and 2008/2009 with the objective of evaluating the performance of 14 varieties of perennial grasses, belonging to two species: *Festuca arundinacea* Schreb. and *Dactylis glomerata* L. in a semi arid region. Characterization has focused on various morphological and physiological characteristics in order to assess their relationship with drought tolerance. The results showed the existence of a wide range of variability due to the diversity of responses of the evaluated varieties of both species, particularly regarding biomass production, production cycle, persistence and water use efficiency, which is considered as one of the most important factors in the success of artificial grasslands in semi-arid areas. These results show high potential for the selection of a plant material adapted to the specific conditions of the semi-arid areas of the Algerian high plateaus. Indeed, this study allowed us to discriminate the most adapted genotypes characterized by high performance, good height growth, earliness in heading and good persistence. In addition an assessment of the genetic diversity of the studied varieties was carried out on the basis of an analysis of the polymorphism of amplified fragment length (AFLP), revealed by fluorescent labeling method using Bulk DNA samples. Dendrograms made by the UPGMA (Unweighted Pair Group Method using arithmetic average) method as well as principal coordinate analysis (Pcoa) were used to assess the genetic variation between the studied varieties.

Key words: Perennial grasses, Dry matter, persistence, Water use efficiency. Semi-arid climate, Genetic diversity, AFLP.

ملخص:

أجريت هذه الدراسة في الموقع التجريبي للمعهد التقني للزراعات الواسعة خلال المواسم 2006/2005-2007/2006-2008/2007-2009/2008 وذلك بهدف تقييم 14 نوعا من الفستوقة *Festuca arundinacea* Schreb. و الاصبعية *Dactylis glomerata* L. في منطقة شبه جافة. ارتكزت عملية التقييم على مختلف الصفات المورفولوجية و الفسيولوجية وذلك لأجل دراسة علاقتها مع تحمل الجفاف. أظهرت النتائج وجود كم من التنوع وذلك نظرا لتباين ردود أفعال الأنواع المدروسة للصفين معا، و لاسيما فيما يخص إنتاج المادة النباتية، و دورة الإنتاج واستمرارية الإنتاج و كذا استخدام المياه التي تعتبر واحدة من أهم عناصر إنجاح المراعي الاصطناعية في المناطق شبه جافة، كما أظهرت النتائج إمكانية اختبار بعض الأنواع من المجموعة التي خضعت للدراسة والتي أثبتت تأقلمها مع الظروف المناخية الخاصة، إذ سمحت الدراسة بتسليط الضوء على مجموعة من الأنماط الوراثية ذات المرود الحسن، العلو المعتبر، الازدهار المبكر واستمرارية إنتاج جيدة. بالإضافة إلى ذلك تم إجراء تقييم للتنوع الوراثي للأصناف المدروسة باستخدام تقنية عينات مجمعة من الحمض النووي، إذ أثبتت مجموعة التحاليل الإحصائية المستعملة على غرار تحليل الإحداثيات الرئيسية و الدوندروقرام تباين و تنوع البني الوراثية للأصناف المدروسة

الكلمات المفتاحية : الأعشاب المعمرة، المادة الجافة، الاستمرارية، كفاءة استخدام المياه، المناخ شبه الجاف، التنوع الوراثي،