

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة بالحراش

THESE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Option : PRODUCTIONS ANIMALES

THEME :

**Recherches sur des espèces spontanées du
genre *Medicago* d'Algérie : caractéristiques
phénologiques, biométriques et nutritionnelles**

Présentée par : ALANE FARIDA

Jury

Président : Professeur ABDDEKRIM HACENE, ENSA

Directrice de thèse : Professeur CHABACA RABEHA, ENSA

Codirecteur de thèse : Professeur ABDELGUERFI AISSA, ENSA

Examineurs :

Directeur de Recherche ABBAS KHALED, INRAA

Professeur BOUDJENIBA MESSAOUD, ENS Kouba

Professeur BAALICHERIF DJAMEL, ENSA

ANNEE UNIVERSITAIRE

2018/2019

Table des Matières

INTRODUCTION GENERALE	1
Partie I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	06
Chapitre 1. Bref aperçu sur la classification végétale	06
1. Division du règne végétale	06
2. Items de la classification végétale couramment utilisés	07
Chapitre 2. La famille des légumineuses	09
1. Brève présentation	09
2. L'appareil végétatif des légumineuses	09
3. Les sous-familles de légumineuses	10
Chapitre 3. Nutrition azotée des légumineuses	11
1. Le <i>Rhizobium</i> .	11
➤ L'infectivité et l'effectivité	14
➤ Processus de nodulation et de fixation de l'azote	14
➤ Spécificité du processus de nodulation des légumineuses par le <i>Rhizobium</i>	17
➤ Des Légumineuses qui ne nodulent pas et des non légumineuses qui nodulent	18
2. Bilan de la fixation de l'azote symbiotique	19
➤ Au niveau de la plante	19
➤ Au niveau du sol	20
Conclusion sur la fixation symbiotique	21
Chapitre 4. Importance des légumineuses dans l'économie humaine	22
1. Les légumineuses cultivées pour leurs graines	22
2. Réhabilitation des légumineuses à graines	23
3. Les Légumineuses fourragères	24
Chapitre 5. Le genre <i>Medicago</i>	25
1. Points généraux	25
2. Points historiques, distribution géographique et	

évolution du genre <i>Medicago</i> .	26
➤ Historique et distribution	
➤ Evolution du genre <i>Medicago</i>	26
	27
Chapitre 6. Les luzernes	28
1. Points généraux	28
2. Notions de luzernes pérennes et de luzernes annuelles	31
➤ Les luzernes annuelles	31
➤ Les luzernes pérennes	33
➤ Différences morphologiques entre luzernes pérennes et luzernes annuelles	36
3. La dormance des graines	37
➤ La dormance tégumentaire ou physique	38
➤ La dormance physiologique	39
➤ La dormance morpho-physiologique	39
➤ La dormance physique-physiologique	39
3.1 .La levée des dormances	39
3.2.La germination des graines	40
4. Evolution de la qualité des luzernes avec l'organogenèse	41
	41
Chapitre 7. La luzerne en Algérie	42
1. L'endémicité de la luzerne en Algérie	42
2. La luzerne en Algérie avant l'indépendance	43
3. La luzerne en Algérie après l'indépendance	45
➤ Acclimatation de variétés étrangères dans les zones littorales	45
➤ Investigations sur les hauts plateaux	46
➤ Investigations dans les Oasis	46
4. Synthèse de la recherche sur le genre <i>Medicago</i> annuels et pérennes en Algérie	47
5. Stratégie possible d'utilisation de la luzerne en Algérie	50
➤ Avantage de l'association	52
➤ Mais la pérennisation du système est fragile	53
1 .Quelle démarche pour des créations variétales	54
	54
Conclusion	55
	55
Partie II. MATERIEL ET METHODES	57
	57
Chapitre 1. Eléments phénologiques des populations de luzernes étudiés	58
	58
1. Effet du stockage prolongé des semences de luzernes annuelles, associé à des techniques de scarification sur leur capacité germinative	58

1.1. Obtention des graines	58
1.1.1. Caractéristiques du site et environnement climatique	58
1.1.2. Travail du sol, caractéristiques physico-chimiques et fertilisation	59
1.1.3. Matériel végétal, dispositif de semis, conduite de la culture	59
1.1.4. Nature des traitements appliqués	60
1.2. Conditions générales de mise en œuvre des prétraitements avant semis	61
1.3 Réalisation des prétraitements des semences	62
1.3.1. Traitement à l'acide sulfurique concentré	62
1.3.2. Traitement à la chaleur sèche : passage à l'étuve à 200 degré centigrade	62
1.3.3. Traitement à la chaleur humide : passage des graines à l'eau bouillante	63
1.3.4. Traitement par le froid : passage des graines au congélateur	63
1.3.5. Traitement dans de l'azote liquide	63
1.3.6. Scarification mécanique	64
1.3.7. Les témoins	64
1.4. Périodicité des Traitements et des semis	64
1.5. Semis après prétraitement et conditions de la germination	64
1.6. Observations de la germination et mesure de paramètres	65
2. Evaluation de paramètres végétatifs et de production semencière de populations de luzernes annuelles spontanées d'Algérie	65
1.1 Relevés des données pour les paramètres végétatifs	67
2.2 Relevés des données des paramètres de production de semences	68
Chapitre 2. Evaluation de la valeur nutritionnelle des luzernes	68
1. Test physique	69
1.1 Récolte, préparation des échantillons et des coupes	69
1.2 Coloration des coupes	70
1.3 Mesure de l'épaisseur des tissus et calculs	70
2. Test microbiologique	71
2.1 Sur la composition des solutions minérales	71
2.2. Sur le fourrage témoin	72
• Les aliments	72
• Les animaux	72
• déroulement del'expérimentation	72
• Les mesures	72
• Calcul de la digestibilité	73

• Résultat de digestibilité du foin de luzerne témoin	73
2.3 Sur le jus de rumen	73
2.4. Sur le mode opératoire	74
Analyses statistiques des résultats	76
➤ Statistiques descriptives	76
➤ ANOVA à un facteur	76
➤ Des corrélations entre variables	76
➤ Des régressions	76
➤ Analyse en composante principale(ACP)	76
 Partie III. RESULTATS ET DISCUSSION	 78
 Chapitre 1. Effet de procédés de scarification et du stockage sur la germination des semences de luzerne	 78
1. Résultats	78
 Essai 1. Effet de stockage associé à des procédés de scarification sur la germination et la cinétique de germination	 78
 Travail 1. Effet du stockage	 78
Travail 2. Cinétique de germination des semences d'espèces de <i>Medicago</i>	80
1. Trempage dans de l'azote liquide	80
2. Trempage dans l'acide sulfurique	81
 Essai 2. Germination comparative entre semences traitées et semences non traitées	 83
2. Discussion	85
2.1.1. Effet comparatif de quelques procédés de scarification sur la dormance et la germination des semences de luzerne	86
2.1.2. Effet du stockage associé à divers procédés de scarification sur le pouvoir germinatif de nos luzernes	88
2.1.3. Intérêt des courbes de tendance	88
2.1.4. Quels sont les produits qui ont servi à notre cinétique ?	90
➤ L'Acide sulfurique	90
➤ Azote liquide	91

2.1.5. Conclusion	.....92
Chapitre 2. Stades phénologiques et biométriques de populations locales de luzernes annuelles	.....93
1. Précocité des populations	.....93
2. Paramètres biométriques déterminant la production de matière sèche	.....94
Culture 2013	.....94
Culture 2015	.....96
Synthèse des années 2013 +2015 pour la production de matière sèche	.....97
3. Paramètres biométriques déterminant la production de semences	.....98
Culture 2013	.....99
Culture 2015	.....100
Synthèse des années 2013 +2015 pour la production de semences	.....101
-Production de MS et de semences, quelles explications données à la forte différence observée entre l'année 2013 et l'année 2015 ?	.....102
Chapitre 3. Qualité productive et nutritionnelle des populations de luzernes annuelles étudiées	.....103
3.1 Rendement en semences	.....103
3.2. Rendement en matière sèche et en matière azoté totale	.....106
Chapitre 4. Valeur de la digestibilité des luzernes étudiées	.....108
1. Recherche d'un index de digestibilité (M1)	.....108
2. Etude de la digestibilité <i>in vitro</i> des luzernes	.....112
2.1. Production du témoin	.....112
➤ Implantation, et développement végétatif	.....113
➤ Composition chimique	.....114
➤ Mesure <i>in vivo</i> de la digestibilité de Triade	.....114
2.2. Autres facteurs pouvant avoir un effet sur la mesure de la digestibilité <i>in vitro</i>	.....115
2.3. Composition chimique et digestibilité des	.....115

populations de luzernes étudiées	116
➤ Composition chimique	116
➤ Digestibilité <i>in vitro</i> de la matière sèche des populations étudiées (M2)	118
➤ Confrontation de différents outils rapides d'évaluation de la digestibilité de la luzerne	120
➤ Validation de M1 par M2	122
Chapitre5. Essai de screening des luzernes étudiées	123
1. Paramètres pouvant impacter la digestibilité	123
1.1. Etude des variables	123
➤ Matrice de corrélations des variables (R)	123
➤ Le poids des variables (ou valeurs propres)	124
➤ Contribution des variables à la construction des axes.	124
➤ Corrélation entre les variables et les axes principaux (ou vecteurs propres)	124
➤ Cercle de corrélations	124
1.2. Etudes des individus	125
➤ Contribution des populations de luzernes à la construction des axes	125
➤ Distribution des populations dans le plan 1-2	126
➤ Qualité de la représentation des individus sur les axes	126
2. Paramètres pouvant impacter la production de semences	127
2.1. Etude des variables	127
➤ Matrice de corrélations des variables (R)	127
➤ Poids des variables ou valeurs propres	127
➤ Contribution des variables à la construction des axes	127
➤ Corrélation entre les variables et les axes principaux	127
2.2. Etudes des individus	128
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	132
Références bibliographiques	136
Annexes	
Résumés	

Les tableaux

Titre des tableaux	Numéro de page
Tableau 1. Nombre de chromosomes et taille du génome des principales espèces de légumineuses cultivées	.....11
Tableau 2. Distinction entre <i>Medicagosativa</i> L. et <i>Medicagofalcata</i> L	.....30
Tableau 3. Compatibilité de reproduction entre la luzerne cultivée et d'autres espèces du genre <i>Medicago</i> (synthèse à partir de Mc Coy et Bingham, 1988 ; Quiros et Bauchan, 1988)	.....35
Tableau 4. Quelques variables botaniques distinguant la luzerne pérenne de la luzerne annuelle (résumé à partir de Mc Comb, 1974 ; Clark, 2004 ; Semental, 2010)	.....37
Tableau 5. Principales méthodes de scarifications des graines	..... 40
Tableau 6. Fréquence des principales espèces de luzernes annuelles en Algérie (Zeghida, 1986)	..... 49
Tableau 7. Schéma de rotation luzerne-céréale souvent utilisé en Australie (Chatterton et Chatterton, 1990)	.....51
Tableau 8. Codes et origines des populations étudiées ainsi que le poids moyen de 1000 grains	.....57
Tableau 9 : Données climatiques des campagnes expérimentales 2003/2004 et 2012/ 2013	.....59
Tableau 10: Traitements testés dans l'essai 1	.....61
Tableau 11: Cinétiques utilisées dans l'essai 2	.....61
Tableau 12 : Analyse physico-chimique des parcelles semées en 2012 et 2014	.....66
Tableau13 : Données climatiques des années 2013 et 2015	.....67
Tableau 14. Composition de la salive artificielle Mc Dougall (Pour un litre de solution)	.....71
Tableau 15. Composition de la solution d'oligoéléments (/l)	.....72
Tableau 16. Coefficient d'utilisation digestif apparent de la MS, MO et de la MAT (en%)	.....73
Tableau 17 :Espèces et populations soumises à la	.....74

digestibilité <i>in vitro</i>	
Tableau 18. Effet du stockage associé à des procédés de scarification sur la germination (%) de populations de luzernes annuelles.	79
Tableau 19 : Cinétique de la germination (%) après trempage dans de l'azote liquide	80
Tableau 20. Equations des courbes de tendance de la figure 16	81
Tableau 21 : Cinétique de la germination (%) de la semence d'espèces de <i>Medicago</i> après trempage dans de l'acide sulfurique	82
Tableau 22. Equations des courbes de tendance de la figure 17	83
Tableau. 23 : Comparaison entre semences traitées et semences non traitées	84
Tableau. 24 : Zones d'intérêt en temps de trempages pour une amélioration de l'efficacité de la scarification	89
Tableau 25. Précocité des différentes populations étudiées	94
Tableau 26. Paramètres biométriques (2013) déterminant la production de MS	95
Tableau 27. Paramètres biométriques déterminant la Production de MS (2015)	96
Tableau 28. Synthèse 2013+2015 Paramètres déterminant la production de MS	97
Tableau 29. Matrice des corrélations entre les paramètres biométriques, déterminant la production de matière sèche (synthèse des années 2013+2015)	98
Tableau 30. Les paramètres biométriques déterminant la production de semence (2013)	99
Tableau 31. Les paramètres biométriques déterminant la production de semence (2015)	100
Tableau 32. Matrice de corrélations des paramètres déterminant production de semences	101
Tableau 33. Production théorique de MS et de semence à l'hectare pour les populations de luzernes étudiées	103
Tableau 34 : Distribution des tissus primaires et secondaires	108

et leurs imprégnations en lignine	
Tableau 35. Biométrie des différents tissus des espèces étudiées et rapport des tissus non lignifiés sur tissus lignifiés	.....111
Tableau 36. Quelques caractères biométriques et phénologiques de la luzerne Triade	.....112
Tableau 37. Composition chimique (en % de la MS) de la variété Triade	.....113
Tableau 38. Coefficient d'utilisation digestif apparent de la MS, MO et de la MAT (en%) de la luzerne Triade	.....114
Tableau 39. Paramètres des conditions de réalisations de la digestibilité <i>in vitro</i>	.....115
Tableau 40. Composition chimique des populations de luzernes dont la Div a été étudiée	.....117
Tableau 41. Matrice de corrélations de quelques paramètres chimiques et biométriques des populations étudiées	.....117
Tableau 42. Valeur de la digestibilité <i>in vitro</i> des populations de luzernes étudiées	.....119
Tableau 43. Valeurs comparées de la digestibilité de luzernes étudiées calculée à l'aide de quatre méthodes	.....121
Tableau 44. Corrélations entre les 4 méthodes d'évaluation rapide de la digestibilité	.....121
Tableau 45. Regroupement des résultats obtenus sur 4 espèces de luzernes annuelles	.....123
Tableau 46 : Matrice de corrélations de paramètres déterminant la Div	.....124
Tableau 47. Matrice de corrélations des paramètres de la production de semences	.....127

Les FIGURES

Titre des figures	Numéro de page
Figure 1: Les grandes divisions du règne végétale avec les 9 embranchements (Guignard, 2001 et Jouet, 2017)	.....7
Figure 2. Echanges de signaux lors de la mise en place de la symbiose rhizobium/légumineuse Nod-dépendant (Lindstrometal., 2010)	.....15
Figure. 3 : Symbiose des échanges réciproques de nutriments entre la plante et le Rhizobium hébergé et transformé en bactéroïde dans le nodule (Voisin et Gastal, 2015)	.....18
Figure 4 : Taxonomie du genre <i>Medicago</i> (Lesins et Lesins 1979)	.....25
Figure 5 : Evolution de la luzerne vers les types cultivés (Lessin, 1976 in Grenier <i>etal.</i> , 1992)	.....28
Figure 6 : Graines préparées dans les petites cages à tamis	.....61
Figure 7 :Traitement à l'acide sulfurique	.....62
Figure 8 :Sachets prêts à être passés à l'étuve	.....62
Figure 9 : les graines en prétraitement dans l'eau bouillante	.....63
Figure 10 : Boite de pétrie contenant des graines traitées	.....63
Figure 11 : Germination de graines après 6 jours de culture	.....65
Figure 12 : Semences récoltées, ensachées et entreposées dans un local	.....68
Figure 13.Superposition des deux règles	.....70
Figure 14.Tubes préparés prêts à incubés	.....75
Figure 15 : Tubes en incubation à 39°C dans le bain-marie	.....75
Figure 16 : Courbes de variations (associées aux courbes de tendance) de la germination après trempage dans l'azote liquide à différents temps.	.....81
Figure 17. Courbes de variations (associées aux courbes de tendance) de la germination après trempage dans l'acide sulfurique.	.....82
Figure 18.Moyenne du %de germination des luzernes selon .les différentes méthodes de scarification	.....85
Figure 19.Début de formation des tissus secondaires chez <i>M</i>	.....109

<i>ciliaris</i> (Gr40X10)	
Figure 20. Coupe transversale d'une jeune tige de <i>M muriculoptis</i> (Gr10X10)	.....109
Figure 21. Coupe transversale à la base de la tige de <i>M truncatula</i> (Gr40X10)	.....110
Figure 22. Coupe transversale à la base de la tige de <i>M intertexta</i> (Gr40X10)	.....110
Figure 23. Coupe transversale à la base de la tige de <i>M sativa</i> (Gr40X10)	.....110
Figure 24. Relation entre F/T et digestibilité in vitro Tilley et Terry (Dg en %)	.....122
Figure 25. Relation entre F/T et Dg LA	.....122
Figure 26. Cercle de corrélation des variables avec deux axes principaux	.....125
Figure 27 : Distribution des populations de luzernes dans le plan formé par les deux composantes principales	.....126
Figure 28 : Cercle de corrélations des variables avec les axes	.....128
Figure 29 : Distribution des populations de luzernes sur le plan 1-2 des axes	.....129

Les annexes

Titre des tableaux	Page
ANNEXE 1 : Description des systèmes d'élevage dans le monde (FAO, 1999)	.....I
ANNEXE 2 : Les systèmes d'élevage algériens dans la nomenclature mondiale de la FAO	.....II
ANNEXE 3 : Synthèse des années 2013+2015 des paramètres déterminant la production de semences	.....III
ANNEXE 4 : Valeurs des paramètres déterminant la production de matière sèche	.....IV
ANNEXE 5 : Valeurs des paramètres déterminant la production de semences	.....V
ANNEXE 6 : Digestibilité (%) comparative des populations de luzerne pour chaque essai	.....VI
ANNEXE 7 : Tableau ACP de données des paramètres biométriques déterminant la digestibilité	.....VI
ANNEXE 8 : Poids des variables dans la construction des axes	.....VII
ANNEXE 9 : Contribution des variables à la formation des principaux axes	.....VII
ANNEXE 10 : Tableaux des vecteurs propres	.....VII
ANNEXE 11 : Contribution des individus (populations) de luzerne à la formation des axes	.....VII
ANNEXE 12 . Qualité de la représentation des individus sur les axes	.....VIII
ANNEXE 13 : Tableau ACP de données des paramètres biométriques déterminant la production de semences	.....VIII
ANNEXE14 . Poids des variables dans la construction des axes	.....VIII
ANNEXE15 . Contribution des variables à la construction des axes	.....VIV
ANNEXE 16 . Valeur des corrélations entre variables et les axes principaux	.....VIV
ANNEXE 17 : Contribution des individus à la formation des axes principaux	.....VIV
ANNEXE 18 : Coordonnées des individus sur les axes principaux	.....X
ANNEXE 19 : Qualité de la représentation des individus sur les axes (\cos^2)	.....X
ANNEXE 20 . Données climatiques à Alger (climat méditerranéen)	.....XI

Liste des abréviations

ADF : Acid detergent fiber.

AIL : année internationale des légumineuses.

ANOVA : Analyse de la variance.

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

BGA : balance globale azotée

BP : les boîtes de pétri

BT : bouton floral

CB_w : cellulose brute déterminée par la méthode de Weende.

CB : cellulose vraie déterminée par la méthode de Van -Soest.

CNIS : conseil national de l'information statistique

CUD_{app} : coefficient d'utilisation digestive apparent.

CUD_{MAT} : coefficient d'utilisation digestive de la matière azotée.

CUD : coefficient d'utilisation digestive en %.

CUD : coefficient d'utilisation digestive.

CUD_{MO} : coefficient d'utilisation digestive de la matière organique.

CUD_{MS} : coefficient d'utilisation digestive de la matière sèche.

Cv : cultivar.

DBK : Draa Ben kheda

DF : début de floraison.

dMO : digestibilité de la matière organique.

ENSA : école nationale supérieure agronomique

ET : écart-type.

F : floraison.

F/T : rapport feuilles/tiges.

FAO : organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

g : gramme.

h : heure.

ha : hectare.

Hc : hémicellulose.

Hu : humidité

INRA : institut national de recherche agricole

ITEBO : ex institut technique d'élevage bovin et ovin.

ITGC : institut technique de grande culture

J : jour.

K : potassium

kg P^{0,75} : kilogramme de poids métabolique.

Kg : kilogramme.

L : litre.

Lg : largeur des rameaux ou hauteur des tiges chez les espèces pérennes.

Ln : lignine.

MAD : matière azotée digestible.

MADI : matière azotée digestible ingérée.

MADR : ministère agricole et du développement rural.

MAT : matière azotée totale.

ml : millilitre.
MM : matière minérale.
MO : matière organique.
MOD : matière organique digestible.
MODI : matière organique digestible ingérée.
MS : matière sèche.
MSD : Quantité de matière sèche distribuée.
MSIT : matière sèche ingérée totale.
MSR : Quantité de matière sèche refusée.
N : azote.
NDF : neutrel detergent fiber.
Ns:non significatif.
OMS : organisation mondiale de la santé
P : phosphore
PA : protéines animales
PC : Poids corporel
Pr: probabilité.
PIB : produit intérieur brut
PNDA : Plan national de développement agricole
PNDAR :Plan national de développement agricole et rural
PV : poids vif.
Qx : Quintaux.
R² : coefficient de détermination.
SAU : surfaces agricoles utilisées.
UF : unité fourragère.

INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

L'élevage dans toutes ses dimensions, a un fort poids social et économique dans le monde. Il représentait 1.4% du PIB mondial, soit 1100 milliards en 2016 (Banque Mondiale). Il est par exemple, la seule activité capable de valoriser économiquement, les 23% de superficies de la planète recouverts de parcours impropres à la culture, participant ainsi à la croissance économique. Aussi, 1.5 milliards d'éleveurs, de pasteurs et de transhumants, en tirent profit directement et en vive (FAO, 1995 ; FAO, 2006). 2 milliards de personnes utilisent des animaux pour travailler la terre : 83 millions d'animaux de trait en Inde (Pradère, 2014). Ils sont également sollicités pour transporter des marchandises et le battage des céréales (Bourgeot, 2009 ; Joshi ,2011). L'élevage procure indirectement, par les activités qu'il génère (abattoirs, bouchers, usines de transformations : conserves, produits laitiers, tannage de peau, travail de la laine, commerces divers) du travail à 1.3 milliards de personnes dans le monde (FAO, 2012 ; Banque mondiale, 2014), soit 18 % de la population mondiale.

Au fil du temps, le métier s'est adapté aux conditions du milieu où l'homme s'est installé et a évolué avec les progrès techniques et scientifiques. Aujourd'hui, l'élevage est très différencié sur la planète et s'est constitué en systèmes dont la FAO a fait la synthèse en 1999 après une vaste enquête mondiale de plusieurs années (Annexe 1). Elle rend compte de la façon dont l'homme a façonné et s'est organisé, pour tirer le meilleur profit possible du couple animal-ressources fourragères, en rapport avec la zone écologique. L'annexe 2 montre, la place de l'Algérie dans la nomenclature mondiale des systèmes d'élevage de la FAO. L'élevage algérien ne côche pas les cases dédiées aux élevages développés ou intensif à haut rendement.

Néanmoins, loin de s'essouffler, l'élevage ne fait que progresser. Toute viande confondue, la consommation mondiale de viande, a atteint 286 millions de tonnes en 2010, soit une progression au rythme de 2.3 % par an au cours de ces dix années (FAO, 2012). D'ici 2050, il devrait progresser de 70% (Fages, 2015), 5.2% dans les pays en développement et 1.6% dans les pays industrialisés. Les espèces contributives de l'accroissement de la production de viande dans le monde sont : le porc (+ 36.3%), la volaille (+ 35,2%) et les bovins (+ 22,2%). La part des petits ruminants n'est que de 4.6% (FAO, 2012).

Même si l'élevage est décrié par des voies officielles comme la FAO ou par la société civile (Veganisme ; Antispécisme) qui en fait un constat sévère, « le secteur de l'élevage est un acteur majeur du réchauffement climatique » à cause de ses émissions de gaz (CH₄ ; CO₂ ; NO₂) à effet de serre, il continue et continuera à être un moteur important de l'économie au point que, la quantité de protéines animales disponibles pour la consommation humaine est devenue un indicateur de richesse et de sécurité alimentaire des pays (Pica *et al*, 2008 ; FAO,2014).

De toutes les utilités, commodités et satisfactions sociales et affectives que l'élevage apporte, celle qui est universelle, est la nourriture gouteuse, riche en protéines qu'il nous procure. Manger de la viande est perçu comme un signe d'aisance financière, de plaisir gustatif et de bien être festif, l'appétit de la viande ne fait que progresser. Par ailleurs, l'homme a besoin d'une certaine quantité de protéines par jour pour être en bonne santé. Les organismes de santé publique comme, l'OMS, la FAO, l'ANSES estiment l'ANC (apport nutritionnel conseillé) à 0.83g/kg/PC (Poids corporel) pour un adulte dans les pays du Nord (1g pour les rations des pays du Sud en moyenne plus riches en protéines végétales moins digestibles que les protéines animales (PA). Cette quantité est augmentée

respectivement de 0.70 ; 1.0 et 1.2 g, chez la femme enceinte, les personnes âgées et chez la femme allaitantes. Il est en moyennes de 63 g pour les 3-10 ans et 74 g pour les 11-17 ans. Ces apports représentent environ 15 % (entre 10 et 20 %) des apports énergétiques totaux (ANSES, 2016). On considère que 33% au moins des apports doit provenir de PA (Padilla *et al*, 1995) notamment pour un bon apport de vitamines B₁₂ que l'on ne trouve pas dans les protéines végétales (ANSES, 2016). Ainsi, pour un adulte de 70 kg (ANC de 70 g), les besoins par jour en PA, seraient de 24 g au moins. Ces besoins seront satisfaits par la consommation réelle par jour de : 90 g de viande rouge ou blanche (33kg/an) ou 100 g de poisson (36 kg/an) ou 3 gros œufs (1095 unités par an) ou encore 0.75 litre de lait (275 litres/an).

Quelle est la situation en Algérie ? Les chiffres sont rares. Néanmoins, la FAO (2014) indique une quantité de 75 g de disponibilité en protéines totales (68 pour le Maroc, 90 pour la Tunisie, 80 g pour la planète) dont 25 g en protéines animales per capita et par jour (26 ; 27 et 31 pour le Maroc, la Tunisie et pour le monde). Izeboudjéne (MADR) situe pour 2015, la consommation réelle de protéines animales par an à : 14 kg de viande rouge, 3 de poisson, 12kg de viande blanche et 162 œufs. Pour le lait : 145 litres (Djermoun, 2012 ; Kacimi El Hassani, 2013). Pour évaluer, les besoins moyens au niveau du pays, il convient d'y rajouter, les allocations pour enfants, femmes enceintes, allaitantes et personnes âgées ce qui aboutit à des besoins moyens de 30-35g de PA/j, contre 25g de disponibilité. Rappelons que, la disponibilité est toujours supérieure à la consommation réelle (difficulté d'accès par le coût surtout).

Au lendemain de l'indépendance, à travers des plans successifs de développement agricole, jusqu'au PDNA en 2000 et ses extensions, PNDAR, PRAR et le FNRDA pour le financement, la recherche de la sécurité alimentaire a toujours été l'objectif. Parmi les sources dormantes de productivité, la plus importante est la résorption de la jachère (Nedjraoui, 2003 ; Abbas et Abdelguerfi, 2005 ; MADR, 2012). En effet, l'agriculture algérienne est caractérisée par un système traditionnel agricole basé sur le triptyque : blé-jachère-élevage (apporté par les romains il y a près de 2000 ans). En 1981, la jachère représentait 47 % de la SAU et encore 43% (plus de 3 millions d'ha) aujourd'hui (MADR, 2012). En pâture aux animaux, elle ne fournirait qu'entre 200 et 360 UF/ha (Nedjraoui, 2003 ; Abba et Abdelguerfi, 2005). Alors que le déficit en unités fourragère s'élève à 3-4 milliards d'UF sur un besoin de 10-12 milliards (Yahiaoui, 2011).

Depuis des années, des voix s'élèvent pour inciter la profession à adopter une rotation luzerne céréale, qui a l'avantage d'une part d'augmenter le rendement en blé à moindre coût (la luzerne comme antécédent enrichissant le sol en azote), mais aussi celui de la production d'UF qui pourrait s'élever jusqu'à 1500 unités/ha (Van Swinderen, 1973). Un gain de poids animal de 400 kg sans compter le poids de la laine qui est indiqué par Gachet (1979).

Ce système de production appelé Ley-Farming a été, et continue à être très performant en Australie. Expérimenté en Algérie dans les années 70, avec des variétés de luzernes australiennes, inadaptées en conditions algériennes, les résultats n'ont pas été probants. L'espoir s'est alors porté sur des espèces et populations de luzernes spontanées du pays fort nombreuses. Depuis 40 ans, elles sont inventoriées, récoltées et leurs qualités sont étudiées, afin de proposer les meilleures écotypes à un programme de sélection en vue d'obtention de variétés locales ayant vocation à être utilisées dans la rotation luzernes-céréales pour résorber la jachère tout en intensifiant la production agricole : faire « d'une pierre deux coups »

C'est dans ce cadre ambitieux que se place notre travail.

Néanmoins, cette thèse n'aurait pu être entreprise, sans le gros travail de prospection et de récolte effectué par nos prédécesseurs (Conesa 1974, Adem 1974, Abdelguerfi 1976 et Zeghida 1987). Déjà au 19^{ème} siècle (1873) par **Urban (in Trabut, 1914)**. Mais aussi et surtout depuis près de 50 ans : les années 70 et 80 par **Adem, 1974 ; Conesa et al, 1974 ; Abdelguerfi, 1976 ; Zeghida, 1987**. Cette prospection fructueuse continue encore, puisque, récemment, **Boulaacheb et al (2006)** ont identifié *M. sativa* Là Djebel Megriss, au Nord de Sétif dans des champs et des broussailles ainsi que deux espèces annuelles (*M. hispida* et *M. orbicularis* L). Dans une autre prospection végétale dans le Djebel Youcef et le Djebel Zdim au Sud de Sétif, **Chermal et al. (2006)** ont recensé sept espèces de luzernes annuelles (*M. hispida*, *M. minima*, *M. tuberculata*, *M. laciniata*, *M. secundiflora*, *M. intertexta*, et *M. tribuloides*).

Parallèlement, de nombreux travaux ont été consacrés à l'adaptation des variétés étrangères dans notre pays avant l'indépendance (travaux de **Laumont, 1941** et de **Couranjou, 1965**) et après l'indépendance par des établissements de recherche tels que : l'ENSA, l'ITGC, l'INRAA, ce qui pour ces derniers cas, probablement, n'a pas permis un soutien constant permettant de faire avancer la recherche vers l'obtention de variétés à partir des populations locales s'adaptant aux diverses conditions pédoclimatiques du territoire : du moins dans le Nord du pays, car dans le Sud des variétés locales sont cultivées à grande échelle avec succès (Aoulef, In Salah, El-Menia, Tamentit et Tamacine, Magali, Lodi, Chott, ces trois dernières sont introduites par exemples).

Ce travail, modestement a pour ambition de poursuivre la recherche sur les potentialités de nos populations locales de luzernes annuelles en vue de soumettre les meilleures à la sélection dernière étape de ce périple commencé depuis 50 ans. Depuis 15 années nous avons entrepris dans le cadre de notre magister a étudié la valeur nutritive de ces populations et nous voulons poursuivre dans cette thèse la valeur nutritionnelle.

Après un bref panorama sur la classification végétale et un regard plus approfondi sur les légumineuses, nous traiterons de l'importance des légumineuses dans l'économie humaine, nous attardant plus particulièrement sur les légumineuses fourragères du genre *Medicago* plus particulièrement annuelles.

L'étude bibliographique étant faite, nous présentons la collection d'espèces et de populations de luzernes spontanées de l'Algérie, collectées et identifiées par des instituts nationaux (INRAA, ITGC...) et école (ENSA) de laquelle nous extrairons celles dont leurs caractéristiques et qualités seront étudiées sous l'angle :

- De leur capacité germinative après stockage prolongé, associé à des méthodes de scarification par différentes méthodes,
- De paramètres de production de biomasse,
- De leur production semencière en liens avec différents caractères phénologiques et biométriques ;
- De leur composition chimique, et de leur valeur nutritionnelle pour l'animal. Pour ce dernier cas, la mise au point d'un test rapide de laboratoire sera explorée pour éviter de passer par l'animal trop coûteuse. Vu le nombre élevé des populations et la quantité disponible de

semence, ces méthodes de laboratoire nous permettent d'aboutir à la valeur nutritionnelle jamais étudié sur ces populations en Algérie.

Nos méthodes d'études étant précisées, nous développerons nos résultats et nous les discuterons. Nous terminerons par, la conclusion et les projections qui s'imposeront pour la poursuite de ce travail.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Partie I. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1. Bref aperçu sur la classification végétale

1. Division du règne végétale

Dans son *Historia plantarum*, nous devons les premiers travaux sur la classification des végétaux à **Théophraste (371 av J.C.)**. Le XVI et le XVII^{ème} siècle, l'art de la description et les échanges d'herbiers entre botanistes étaient à leur apogée. La véritable avancée est due à Carl Von Linné au XVIII^{ème} siècle qui propose en 1753 dans son *Species plantarum*, l'utilisation de deux noms (le binôme linnéen) pour définir chaque plante (**Magnin-Gonze, 2004**). On parle de nomenclature binaire. Le premier est le nom du genre, le second le nom d'espèce (**Guignard, 1980 ; Laberche, 1999**). Linné peut être considéré comme le fondateur de la botanique moderne (**Laberche, 1999**).

Magnin-Gonze (2004) indique que, au cours du XIX^{ème} siècle, notamment pour les plantes à fleurs (Angiospermes), de nombreuses classifications sont proposées comme par exemple celle de **Bentham et Hooker (1862)**. Au XX^{ème} siècle d'autres classifications sont proposées, telles que celle de **Takhtajan (1954)**, de **Hutchinson (1969)** ou de **Cronquist (1981)**. Ces classifications tentant d'établir l'évolution des espèces végétales : des plus primitives aux plus évoluées (*classifications dites phylogénétiques*). Selon leurs auteurs ces classifications diffèrent par le nombre de familles, d'ordres et d'autres items.

Ainsi, ces dernières années, une nouvelle classification basée sur la phylogénie moléculaire a été proposée par l'APG (Angiosperm Phylogenetic Group). Cette classification repose sur la comparaison de séquences d'ADN qui est de plus en plus utilisée. Cette classification a fait l'objet de deux mises à jour : **APG II en 2003** et **APG III en 2009** (**Gorenflot et Foucault, 2005**). Elle revoit l'entièreté de la classification en se basant sur des caractères génétiques et en les croisant avec les données morphologiques et physiologiques (**Judet al, 2008**).

L'approche phylogénétique est basée sur l'évolution des espèces. Une « **lignée** » regroupe l'ancêtre commun et ses descendants, il s'agit d'un **clade**. La détermination de cette lignée est basée sur des **caractères dérivés communs**, que l'on nomme **synapomorphies**. Les états primitifs (chez l'ancêtre commun) sont plésiomorphes. Deux espèces dérivées d'un même ancêtre commun ou deux groupes apparentés génétiquement, présentent des caractères de synapomorphies. On peut ainsi établir des arbres phylogénétiques ou « cladogrammes » ou encore « evolutionary tree » (**Smith et al, 2011**).

Cette nouvelle approche, le plus souvent a confirmé les premières classifications de Linné (**Laberche, 1999**). La taxonomie ou systématique a deux fonctions : la première est d'identifier et de décrire aussi complètement que possible les unités taxonomiques de base ou espèces ; la seconde de trouver le moyen d'arranger et de cataloguer ces unités entre elles.

Ainsi, les grandes divisions du règne végétal distinguent neuf embranchements dont les trois plus importants sont : les Ptéridophytes, les Préspermaphytes et les Spermaphytes.... Ces neuf embranchements (**Figure.1**) se subdivisent en classes, ordres et familles, éventuellement en sous-embranchements. Par exemple, l'embranchement des Spermaphytes se divise en trois sous-

embranchements : les Gymnospermes, les Chlamydospermes et les Angiospermes ; ces dernières regroupant deux classes : les Monocotylédones (Monocots) et les Dicotylédones (Eudicots). La classe des Dicotylédones se scinde encore en six sous-classes, chacune englobant plusieurs ordres qui regroupent également diverses familles et sous-classes. Les familles contiennent un nombre plus en moins élevée d'espèces groupées elles-mêmes en genres.

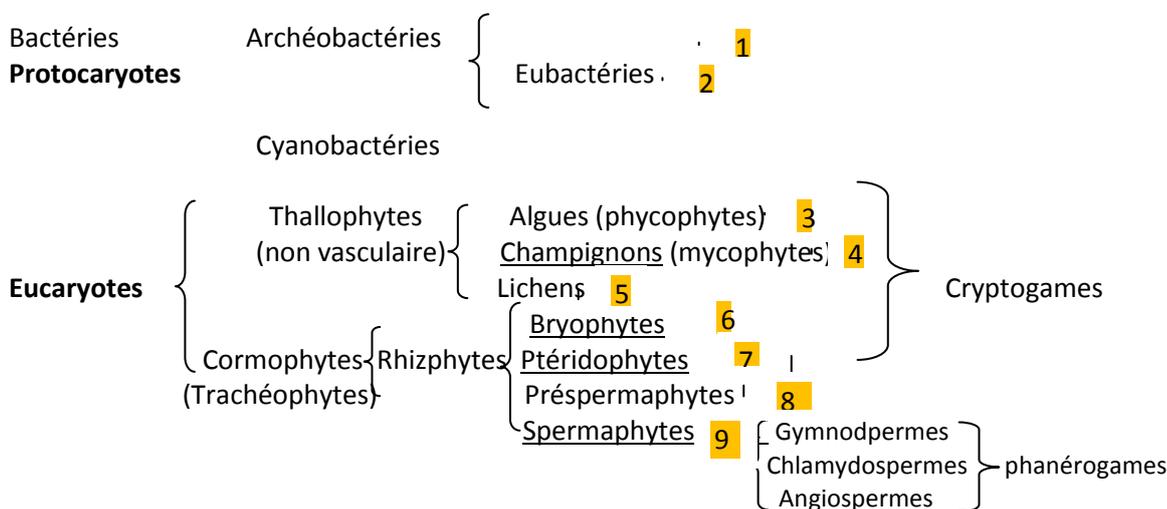


Figure 1 : Les grandes divisions du règne végétale avec les 9 embranchements (Guignard, 2001 ;Jouet, 2017)

Chaque espèce depuis **Linné (1753)**,in **Guignard (1980)**et**Laberche (1999)**, est définie par la nomenclature binaire.

L'étude de l'anatomie, des phénomènes de reproduction et plus récemment, des caractères biochimiques et moléculaires, ne sont venus que bien plus tard et n'ont fait, le plus souvent, que confirmer les premières classifications de Linné (**Laberche, 1999**).

2. Items de la classification végétale courammentutilisés

Genre : en systématique, le genre est un rang taxonomique qui regroupe une ou plusieurs espèces ayant en commun plusieurs caractères similaires. Le genre est le sixième rang principal de la systématique des espèces vivantes. Les genres sont regroupés ensuite en familles, comme dit plus haut.

Espèce : selon **Cuvier (1769-1832)** in **Guignard, 1980 ; Laberche, 1999 ; Raven et Eichlorn, 2000**), est la collection des individus nés les uns des autres, ou issus de parents communs, et de tous ceux qui leur ressemblent autant qu'ils se ressemblent entre eux et se reproduisent.

L'interfécondité permet un continuel brassage des gènes assurant l'homogénéité et, par-là, la stabilité de l'espèce (**Demarly, 1977 ; Guignard, 1980**) ; donc un niveau d'homozygotie élevé (**Demarly, 1977**). Cette homogénéité est un élément favorable à la mécanisation des récoltes (maturités synchrones, taille standard) et constitue donc une qualité appréciée par l'agriculteur (**Yve Tourte, 1998**).

Sous-espèce : **Petit et Zuckerkandl, (1976)** définissent la sous-espèce, comme un agrégat de populations phénotypiquement similaires qui habitent une subdivision géographique de l'aire de répartition de l'espèce et qui diffèrent des autres populations des espèces du point de taxonomique.

Population : est une communauté d'individus se partageant le même **pool de gènes** dont la composition est constamment modifiée par les échanges entre ses membres (**Petit et Zuckerkandl, 1976 ; Zahour, 1992 ; Lafon et al, 1996**). Ainsi, aucun individu de la population ne peut évoluer seul et c'est la communauté dans sa totalité qui constitue la seule entité capable d'évolution (**Zahour, 1992**).

Ecotypes : sont des populations locales d'une même espèce adaptées à leur habitat. Mais morphologiquement et physiologiquement différentes, constituant ainsi, autant d'écotypes. Ces **écotypes** sont définis comme étant la réponse génotypique d'une espèce à un habitat particulier (**Petit et Zuckerkandl, 1976**).

Variété : Dans la nature, les végétaux présentent des variations (port, couleur, panachure...) par suite des réactions aux conditions du milieu. Lorsque la variation est permanente, elle donne naissance à une variété de l'espèce. Son nom est souvent précédé de "var". Le terme variété vient différencier les plantes d'une même espèce. Les traits caractéristiques de cette plante peuvent être reproduits d'une génération à l'autre par semences.

Variété synthétique : La plupart des cultivars commerciaux de luzerne sont des variétés synthétiques : c'est une population artificielle résultant de la multiplication sexuée pendant un nombre déterminé de générations en fécondation libre d'un nombre de constituants (clones, lignés...) sélectionnés pour leur valeur propre et (ou) leur valeur en combinaison.

Cultivar : Variété cultivée obtenue en culture par l'homme. Bien souvent, le cultivar porte le nom de la personne à qui l'obteneur a dédié sa variété. Son nom s'écrit entre guillemets simples (‘) en minuscule romaine, avec l'(les) initiale(s) en majuscule : *Aster novii belgi* 'Marie Ballard' dans le langage courant, on confond souvent variété et cultivar.

Hybride : Plante issue du croisement de deux végétaux génétiquement différents, le plus souvent entre espèces d'un même genre. Ils sont précédés d'un x : *Camellia x williamsii* est un hybride de *C. saluenensis* et *C. japonica*.

Un hybride est le résultat d'un croisement entre deux plantes d'un même genre ou d'une même espèce. Les hybridations sont naturelles ou fabriquées par l'homme par pollinisation contrôlée. Afin d'identifier l'hybridation un « x » sera mis à l'avant du genre pour une hybridation de genre ou devant l'espèce pour une hybridation d'espèce.

Ainsi, on peut avoir un cultivar issu d'un, exemple: *Spiraea x bumalda* 'Anthony Waterer'

Taxons : en taxinomie, un **taxon** est une entité conceptuelle qui est censée regrouper tous les organismes vivants possédant en commun certains caractères taxonomiques ou diagnostiques bien définis. Ces caractères sont réputés homogènes en fonction de leur rang taxonomique, leur « poids », valeur taxonomique relative, étant laissé à l'appréciation des systématiciens

Souche : ensemble des individus de même espèce provenant d'un ancêtre unique. Synonyme : Lignée (**Morand, 1955**).

Chapitre 2. La famille des légumineuses

1. Brève présentation

Les légumineuses (jadis Leguminosae ou encore Papilionaceae) sont actuellement appelées Fabaceae (ou Fabacées). Le nom arabe est : Albaqoulyates (البقوليات).

Elles représentent la troisième grande famille des Angiospermes par son importance taxonomique, après les *Astéracées* (23 000 espèces réparties en 1 500 genres exemples : artichaut, laitue...) et les *Orchidacées* (25 000-30000 espèces réparties en 850 genres : *Vanille, Faham, et nombreuses fleurs décoratives*). Toujours susceptibles d'évoluer, la famille des légumineuses compte actuellement, 650 genres et 17 000 espèces (**Morot-Gaudry, in Briat, 2004**). Les légumineuses sous des formes diverses, sont d'une importance capitale dans l'économie humaine (voir plus loin p22). Les genres se distinguent essentiellement par leurs fruits qui sont des gousses : gousse indéhiscente, gousse courbée, gousse ovoïde, gousse droite ou arquée (**Lapeyronie, 1980**).

2. L'appareil végétatif des légumineuses

Dans les légumineuses, les parties les plus riches en azote sont les graines et les feuilles (**Whyte et al, 1955**). Sitôt issue de la graine, la jeune plantule croît par ses propres moyens, elle dépend dans les étapes successives de son développement, du milieu ambiant auquel elle emprunte sa nourriture.

Les légumineuses présentent des individus forts différents en terme de port : plantes herbacées comme la luzerne, grimpantes, buissonnantes, et de vrais arbres de plusieurs dizaines de mètres de hauteur, composant les forêts tropicales d'Amérique Latine (exemple : Févierde 25-30 m de haut) et d'Afrique (**Meyer et Broughton, 1982 ; Cronketal, 2006**), à l'image des acacias. Leurs fruits (gousses), les caractérisent par rapport aux autres végétaux. Le Caroubier (*Ceratonia siliqua*) est en Méditerranéenne et notamment en Algérie, une grande figure des « légumineux arbres » (**Konate, 2007**).

Elles peuvent être annuelles, vivaces, à feuilles caduques ou persistantes. La fleur est composée d'une corolle zygomorphe (un pétale dorsal appelé étendard, deux pétales latéraux, les ailes, deux pétales ventraux, plus au moins appliqués l'un contre l'autre qui forment la carène) (**Guignard, 1980**). Le fruit spécifique des légumineuses est la gousse. A l'intérieur de la tribu, les genres se distinguent essentiellement par la nature de leurs gousses (gousses indéhiscentes ou non), par leurs couleurs et par leurs formes : gousse courbée, gousse ovoïde, gousse droite ou arquée (**Lapeyronie, 1980**). Chez le genre *Arachis* dont l'espèce la plus connue est *A. hypogaea* (*l'arachide*), les gousses enterrées, se récoltent dans le sol en arrachant le pied.

Les feuilles sont simples ou composées, ordinairement alternes et stipules, parfois plus en moins entièrement transformées en vrilles. Tiges érigées ou dressées, non lianes, ou prostrés ne dépassant guère 20 à 30 cm (**Quezel et Santa, 1962**). La plupart des légumineuses ont une racine pivotante, capable d'aller chercher l'eau en profondeur, avec de nombreuses racines latérales ramifiées dont l'ampleur dépend de l'espèce herbacée, arbre ou arbuste. Toutefois, il y a exception dans les racines de certaines espèces de légumineuses où on les trouve sous forme de rhizomes (*Vicia cracca, Trifolium rubens, Medicago gaeula (=M.tunetana)*) et d'autre sous forme de tubercules : Phaséolées de

Madagascar par exemple (**Peltier, 1959**). La présence de nodosités sur les racines caractérise, par ailleurs, la presque totalité des espèces de légumineuses.

3. Les sous-familles de légumineuses

Classiquement, les légumineuses sont divisées en trois sous-familles classées selon la forme de leur fleurs (**Lapeyronie, 1982 ; APG, 2009 ; Encyclopédie de l'écologie**) :

- Sous-famille des *Caesalpinioideae* avec une fleur pseudo-papillonacée,
- Sous-famille des *Mimosoideae* avec une fleur régulière,
- Sous-famille des *Faboideae* ou *Papilionoideae* avec une fleur typique en papillon.

Les *Caesalpinioideae* (150 genres et 2 200 espèces) sont principalement constituées de plantes ornementales et d'arbres à bois ou alimentaires (**Young et al, 2003**). Exemples: Arbre de judée (*Cercis siliquastrum*), *Ceratonia siliqua* (*caroubier*) qui sont dépourvus de nodules (**Vernié, 2008**).

Les *Mimosoideae* étaient d'abord considérées comme une famille à part, dite des *Mimosaceae*. Selon **Gilbert et Boutique (1953)**, cette dernière est pantropicale et compte plus ou moins 40 genres et 1500 espèces, surtout d'Amérique tropicale. Ce sont des arbres de climat chaud, voire désertique. Des ligneuses, telles qu'*Acacia*, *Leucaena*, *Mimosas* pouvant fixer des quantités énormes de N₂ (jusqu'à 600 kg /hectare/an) sont utilisées en agroforesterie (**Sprent et Parsons, 2000**).

Les *Papilionoideae* (12 000 espèces réparties en plus de 400 genres ; exemples : *Cicer* : le pois chiche, *Medicago* : luzerne ...). La plupart des espèces cultivées appartiennent à cette dernière sous-famille qui constitue à son tour, deux groupes majeurs de plantes :

- **Les légumineuses tempérées** encore appelées Galégoïdes, avec entre autres, les genres *Cicer* (pois-chiche), *Lens* (lentilles), *Lotus* (lotier), *Melilotus* (melilots), *Pisum* (pois), *Trifolium* (trèfle), *Vicia* (vesce, fève, fêverole), *Medicago* (luzerne) ;
- **Les légumineuses tropicales** ou Phaséolides, avec les genres *Cajanus* (pois d'Angole) ; *Phaseolus* (les haricots : plus de 80 espèces), *Glycine max* (soja), *Vigna* avec 23 espèces, les noms vernaculaires dans ce genre, se référant tantôt aux pois, tantôt aux haricots, reflètent ces variations taxonomiques, les plus connus sont le niébé (*Vigna unguiculata*) et le pois zombi (**Young et al, 2003**). Notons aussi, le genre *Arachis* dont l'espèce la plus connue et répandue est *Arachis hypogaea* (*l'arachide*) mais, elle n'est pas classée parmi les *Papilionoideae*, elle appartient au groupe des *Aeschynomeneae* (**Broughton et al, 2003**).

Les écarts de taille entre les génomes : 466 Mégabases pour *Medicago truncatula* et plus de 13 059 pour *Vicia faba*. En passant par *P. sativum* : 4 337 ; *L. culinaris* : 4 116, *M. sativa* : 1 715 et *G. max* 1 103, caractérisent les légumineuses cultivées (**Tableau 1**).

Tableau 1 :Nombre de chromosomes et taille du génome des principales espèces de légumineuses cultivées

Genres	Espèces	Nombre de chromosomes	Taille du génome (Mb/1C)
<i>Medicago</i>	<i>M. truncatula</i>	2n=2x=16	466
	<i>M. sativa</i>	2n=4x=32	1 715
<i>Trifolium</i>	<i>T. pretense</i>	2n=2x=14	637
	<i>T. repens</i>	2n=4x=32	956
<i>Melilotus</i>	<i>M. officinalis</i>	2n=2x=16	1 103
<i>Pisum</i>	<i>P. sativum</i>	2n=2x=14	4 337
<i>Vicia</i>	<i>V. faba</i>	2n=2x=12	13 059
<i>Lens</i>	<i>L. culinaris</i>	2n=2x=14	4 116
<i>Cicer</i>	<i>C. arietinum</i>	2n=2x=16	931
<i>Lotus</i>	<i>L. japonicus</i>	2n=2x=12	466
<i>Phaseolus</i>	<i>P. vulgaris</i>	2n=2x=22	588
<i>Vigna</i>	<i>V. unguiculata</i>	2n=2x=22	515
<i>Glycine</i>	<i>G. max</i>	2n=4x=40	1103
<i>Cajanus</i>	<i>C. cajan</i>	2n=2x=22	858

Sources : Zhu et al, (2003). Une Mb (mégabase) = 1 million de paires de bases, C : autre sigle de la taille du génome. On parle de valeur C. Le paradoxe de la valeur C ainsi nommée est le constat fait par les chercheurs qu'elle n'est pas corrélée avec la complexité de l'organisme. Par exemple, le maïs et l'homme ont à peu près la même taille du génome, pourtant, l'homme est combien plus complexes. n : correspond au nombre de chromosomes dans une cellule à l'état haploïde et x au nombre de base de chromosomes.

Chapitre 3. Nutrition azotée des légumineuses

L'azote est un élément fondamental de la vie, il est le constituant de molécules comme les acides aminés, les vitamines, les hormones, les transporteurs, le génome et encore bien d'autres (Sablonière, 2001). Pour ce qui concerne les végétaux, Il en est le facteur essentiel de croissance (Cleland et Harpole, 2010). Pour les légumineuses, la source principale d'azote est l'atmosphère. Sous sa forme moléculaire N₂, il représente environ 80 % des gaz de l'atmosphère, soit 10¹⁵ tonnes de N₂ (Ounane, 2004, Duc et al, 2010) contre 24. 10⁶ tonnes pour l'ensemble : terre, mers plus sédiments marins et 194. 10⁵ pour les roches sédimentaires et primaires (Diaw, 2002).

Sous la forme gazeuse N₂, il ne peut être utilisé par les plantes supérieures comme les légumineuses, sauf lorsqu'il est en symbiose avec certaines bactéries du sol fixatrices directement de N₂ et qui après transformation en NH₄⁺, le mettent à la disposition de la légumineuses (Scheider et Hyghe, 2015).

La nutrition azotée des légumineuses est donc assurée par deux voies complémentaires : une générale : absorption de l'azote minéral du sol par les racines (ammonium, nitrates, nitrites), comme chez tous les végétaux supérieurs, l'autre spécifique : utilisation indirecte de l'azote atmosphérique, grâce à une symbiose avec certaines bactéries du sol appelées *Rhizobium* ou encore, diazotrophes. Donc deux partenaires se mettent en association pour le bien réciproque de chacun. Le **partenaire 1** est la légumineuse (cf chapitres 2 et 3) le **Partenaire 2** est le *Rhizobium*.

1. Le *Rhizobium*.

Il existe de nombreuses espèces de bactéries fixatrices d'azote dans la nature : par exemple dans les océans (cyanobactéries telles que *Trichodesmium* sp.). Dans le sol, elles peuvent être aérobies (les *Azotobacter*, *Azomonas*...) ou anaérobies (*Clostridium*, *Citrobacter*...), certaines vivent en autonomie propre : les saprophytes par exemple qui utilisent l'azote qu'exsude la matière organique en

décomposition du sol. Ils sont capables de fixer l'azote de l'air en très faibles quantités (**Hopkins, 2003**). Mais d'autres, les plus intéressantes pour l'agriculture, vivent en symbiose dans le système racinaire ou caulinaire des plantes, c'est le cas des légumineuses avec un fort rendement (tension d'oxygène plus faible dans la nodosité) de fixation de l'azote atmosphérique (**Rosenberg, 1997 ; Hopkins, 2003**).

Les plus connues et les plus étudiées sont d'une part : les Rhizobias (nodulant plus particulièrement les légumineuses) et d'autre part, les actinomycètes *Frankia* vivant en symbiose avec diverses espèces d'angiospermes non « légumineuses », essentiellement arbres et arbustes, notamment le genre *Alnus* (les aulnes), *Hippophae rhamnoides* (l'argousier), *Casuarina ceaequisetifolia* (le Filao), *Myrica gale* (la Myrte des marais).

Le terme *Rhizobia* vient du grec « *Rhiza* » : racine et *bios* : vie. Celui de *Rhizobium* est générique, il dérive du premier genre bactérien, *Rhizobium* décrit au XIX^{ème} siècle comme des bactéries qui vivent dans le sol de façon saprophyte avec le potentiel de noduler les racines des légumineuses (**Frank, 1889, in El Hilali, 2006**). Certains *Rhizobium* sont également capable de former des nodosités avec les tiges de certaines légumineuses comme : *Sesbania* et *A.eschynomene* qui portent à la fois des nodosités racinaires et caulinaires (**Hopkins, 2003**). Les *Rhizobium* se présentent sous forme de bâtonnets de 0.5 à 0.9 µm de large et 3.0 µm de longueur. Ce sont des bactéries Gram- qui ne forment pas de spores et qui sont mobiles grâce à des flagelles. Leur température et pH optimale de croissance est respectivement de 25-30°C et de 6-7 (**FAO, 1992**).

Au troisième siècle av. J.-C., Théophraste avait déjà noté que les légumineuses avaient la faculté de revigorer le sol. Les romains, il y a 2000 ans, utilisaient le lupin à cet effet (**Krishnan et Bennett, 2006**).

Au 17^{ème} siècle, il était populaire en Europe que les légumineuses non seulement n'épuisèrent pas le sol, mais avaient une action bénéfique sur la culture suivante. On doit à **Boussingault** en 1838, la découverte des nodosités (**Trinchant et al, 1997**). En 1858, **Lachmann** (*in Baulaine, 1989*) associa la nutrition azotée des légumineuses aux « vibrions » présents dans les nodules. **Woronin** en 1866 et **Atwater** en 1881, confirment respectivement chez le lupin (*Lupinus mutabilis*) et le pois (*Pisum sativum*) que les nodules racinaires étaient peuplés de bactéries capables de fixer l'azote de l'air et de le transformer. **Hellriegel et Wilfarth** en 1888 (*in El Hilali, 2006*) affirment que la formation des nodosités chez plusieurs espèces de légumineuses était la conséquence d'une infection des racines de ces plantes par des bactéries.

Il restait à isoler le microorganisme responsable de la fixation de l'azote. **Boulaine (1989)** et **El Hilali (2006)** indiquent que ce fut l'œuvre de **Beyerinck** (on écrit aussi **Beijerinck**), il nomma la bactérie isolée : *Bacillus radicumicola*. En 1889, **Franck** renomma la bactérie identifiée *Rhizobium leguminosarum* et propose que toutes les bactéries qui seront ultérieurement isolées des nodules des légumineuses porteront le nom de *Rhizobium* (**Noël, 2009**).

De nos jours, l'habitude est restée puisque, on parle de *Rhizobium* à l'endroit de toute bactérie capable de vivre à l'intérieur des nodules de plantes hôtes pour y réduire l'azote atmosphérique en ammonium assimilable par la plante.

Enfin, **Schloesing** en **1892** (*in* **Boulaïne, 1989**) montre en air confiné que la quantité d'azote gagnée par la légumineuse est égale à la quantité d'azote disparue de l'atmosphère : la démonstration de la fixation de l'azote de l'air par le *Rhizobium* était définitivement faite.

Après le premier travail de Beyerinck, six espèces : *R. leguminosarum*, *R. meliloti*, *R. trifolii*, *R. phaseoli phaseoli*, *R. lupini* et *R. japonicum* sont venues enrichir le genre *Rhizobium*. Plus tard, d'autres genres furent identifiés : *Ensifer Sinorhizobium* (initialement deux genres distincts, la fusion fut proposée en 2003), *Allorhizobium* et *Mesorhizobium*.

En 1978 en cultivant un nombre important de souches bactériennes qu'on a pu différencier en souches à croissance rapide et en souches à croissance lentes (**Schwencke, 1991**), il a été alors proposé de classer les *Rhizobia*, en fonction de leur vitesse de croissance sur milieux nutritifs bien identifiés. Ainsi, on a pu distinguer, les genres de *Rhizobia* renfermant des espèces à croissance rapide : (lorsque le temps de génération est compris entre : 2-4 h) les, plus étudiés sont : *Rhizobium*, *Ensifer*, *Sinorhizobium*, *Allorhizobium*, *Mesorhizobium*, *Azorhizobium*... de ceux renfermant des espèces à croissance lente (temps de génération supérieur à 6 h), notamment, le genre *Bradyrhizobium* (**Jordan, 1982**).

En fonction de cette durée de croissance, on distingue deux types de nodosités : les nodosités de type indéterminées, de forme allongée à croissance du méristème continue (rencontrées chez les légumineuses « tempérées » : *Pisum*, *Vicia*, *Medicago*...), et les nodosités de type déterminées de forme sphérique (rencontrées chez les légumineuses « tropicales » : *Glycine*, *Phaseolus*...), dont la croissance est limitée dans le temps (**Trincant et al, 1997 ; Voisin et Gastal, 2015**).

Actuellement, avec les outils permettant d'étudier les relations phylogénétiques entre *Rhizobia*, notamment, la confrontation entre espèces, des séquences de l'ADN ribosomique 16S (**Young et Haukka, 1996 ; Doyle, 1998 ; Moulin et al, 2001**), de nombreuses analyses ont été effectuées. Elles ont permis de mettre en évidence 12 genres de *Rhizobia* parmi neuf groupes monophylogénétiques (**Sawada et al, 2003**). Ces *Rhizobia* sont tous d'origine tellurique, Gram - et appartenant aux sous-classes alpha et beta des Protéobactéries. Mais la très grande majorité des espèces se trouvent dans la sous-classe alpha (**Sawada et al, 2003**).

Noël (2009) dénombre 12 genres de *Rhizobia* dont 10 appartiennent à la subdivision alpha-protéobactéries et 2 aux betas protéobactéries. Il apparaît donc que, la plupart des bactéries nodulant les légumineuses sont des alpha-protéobactéries.

Le nombre de genres et d'espèces sont appelés à augmenter régulièrement avec l'apparition de nouveaux outils de taxonomie moléculaire et une exploration plus large de la diversité dans des zones à forte biodiversité, notamment celui des espèces de *Rhizobium*.

De plus, la sélection exercée sur les plantes hôtes au cours du temps n'a probablement pas été sans effet sur les *Rhizobium* associés ; en conséquence, la spécificité entre les *Rhizobium* et leurs plantes-hôtes a pu également subir des modifications.

En 2006, on compterait plus de 100 espèces de *Rhizobium* (**Noël, 2009**). Les chiffres divergent avec les auteurs et les bases de données. Ainsi, le **catalogue of life 2016** (base de données) donne 59 espèces classées depuis la première de **Franck** en **1879** (*Rhizobium leguminosarum*). Le **NCBI, 2016** (National Center for Biotechnology Information) affiche bien 114 espèces mais 48 seulement sont

classées (66 espèces non classées, c'est-à-dire pas encore validées par la communauté scientifique mondiale à la date citée).

➤ L'Infectivité et l'effectivité

La capacité des bactéries à infecter les racines de légumineuses et de former des nodules s'appelle "**infectivité**", alors que le terme « effectivité » (efficience, efficacité) donne une indication de la capacité des plantes à noduler et à utiliser l'azote fixé (**Badji et al, 1987 ; Beck et al, 1993**). L'infectivité est donc le résultat de l'interaction de la légumineuse hôte et la souche envahissante de *Rhizobium*. Toutes les légumineuses ne sont pas capables de noduler : l'effectivité de la nodulation concernerait certes 88 % des espèces examinées (**Graham et Vance, 2003**), mais seulement 20 % de l'effectif total des légumineuses connues ont fait l'objet d'études d'effectivité (**Noël, 2009**). Il est à noter par ailleurs que, des trois sous-familles de légumineuses citées plus haut, les *Caesalpinoideae* sont les moins nodulantes : seulement 30 % d'entre elles forment des nodules contre 90 % chez les deux autres sous-familles : *Mimosoideae* et *Papilionoideae*. Pour **Noël (2009)**, ces proportions seraient de 10, 80 et 90 % respectivement. Faut-il encore noter que les *Papilionoideae*, étaient dominants dans ces études.

L'**infectivité** peut être interrogée de savoir si les nodosités d'une plante infectée renferment une ou plusieurs espèces de *Rhizobium* ? En effet, puisque, les racines de la légumineuse, sont en contact dans le sol avec une diversité génétique de souches indigènes de *Rhizobium* (**Rosenberg, 1997**). Il apparaît que les nodosités d'une même plante peuvent héberger plusieurs populations de cette diversité (**Laguerre et al, 2003**). Néanmoins, chez le pois et la féverole par exemple, une seule représentante de la population indigène est hébergée par nodule. Une compétitivité peut s'installer entre *Rhizobium* pour infester telle ou telle racine. De même, la plante peut avoir une préférence pour tel génotype de *Rhizobium* (**Bourion et al, 2007**).

➤ Processus de nodulation et de fixation de l'azote

L'association bactéries-racines se fait grâce à des échanges de signaux moléculaires entre les partenaires. Les racines de la légumineuse exsudent des flavonoïdes : par exemple pour la luzerne, c'est le 3', 4', 5', 7' tétrahydroxyflavone qui active les gènes de nodulation de *R. meliloti* (**FAO, 1992**), on connaît d'autres activateurs comme l'acides carboxylique et des acides aminés... qui attirent (par chimiotactisme positif) et agissent sur les *Rhizobium* qui sécrètent alors des signaux lipochitooligosaccharides spécifiques appelés facteurs Nod (**Hanin et al, 1997**). Ces facteurs Nod sont à leur tour reconnus par la légumineuse dans un premier temps. Si elle est compatible pour l'infection, dans un deuxième temps, les facteurs Nod, stimulent l'infection de la plante et provoquent la formation des structures spécialisées appelées nodules ou nodosités (**Masson-Boivinetal, 2009 ; Oldroyd et al, 2011**). La nodulation est initiée lorsque, un signal de « carence en N » envoyé par les parties aériennes de la plante arrive au niveau du système racinaire (**Voisin et al, 2002 ; Jeudy et al, 2010**). La **figure 2** montre, d'une part, une plante de légumineuse avec des nodosités et, d'autre part, l'interaction avec les deux partenaires. La « crosse de Berger » en se refermant, offre la niche pour le développement des *Rhizobiums*. Cette structure est la future nodosité (**Esseling et al, 2003**).

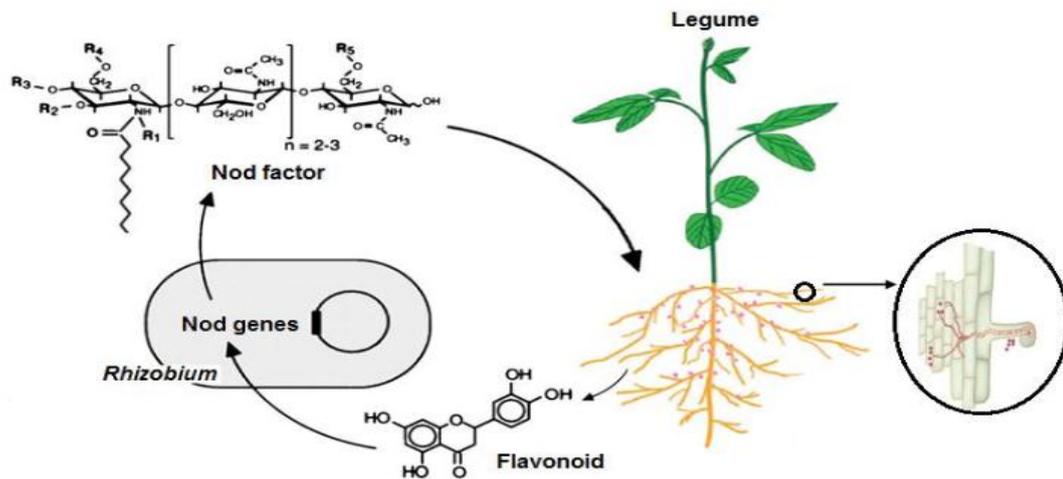


Figure 2. Echanges de signaux lors de la mise en place de la symbiose rhizobium/légumineuse Nod-dépendant (Lindstrom *et al*, 2010)

En général, la formation, d'une nodosité fixatrice d'azote suit les étapes de développement suivantes (Ganry et Dommergues, 1995) :

- Chimiotactisme et attachement des *Rhizobiums* aux poils absorbant des racines de l'hôte,
- Déformation des poils absorbants en « crosse de berger » par les bactéries,
- Invasion du cytoplasme des cellules corticales par les bactéries à travers les cordons d'infection qui s'allonge jusqu'à la cellule épidermique,
- Division des cellules du cortex, aboutissant à la formation d'un primordium nodulaire où les bactéries sont relâchées formant le symbiosome,
- Différenciation dans le symbiosome des bactéries en bactéroïdes et du primordium nodulaire en nodosité,
- Fixation et réduction de l'azote en ammonium par les bactéroïdes qui est ensuite transporté dans le cytoplasme de la légumineuse qui l'absorbe sous forme de glutamine. L'ammoniac peut être aussi transformé par le bactéroïde en acides aminés qui sont ensuite exportés vers le cytoplasme végétal pour ses synthèses protéiques.

Les gènes Nod fonctionnellement sont distingués en trois classes : les gènes Nod (ABC) communs à tous les *Rhizobiums*, les gènes régulateurs (D) impliqués dans la synthèse, l'assemblage et le transport des molécules, et les gènes Nod spécifiques (EFGH), ils codent les facteurs qui déterminent le spectre d'hôtes d'un *Rhizobium* (Rosenberg, 1997 ; Long, 2001). Le gène Nod D est central, il code la nature des exsudats racinaires qui doivent établir le dialogue avec le *Rhizobium*. Il active en particuliers, les transcriptions du groupe ABC (Hopkins, 2003).

En cas d'incompatibilité entre l'espèce de légumineuse semée et les *Rhizobiums* en place dans le sol (mécontente entre signaux moléculaires réciproques), la nodulation n'a pas lieu. Le remède consiste en l'inoculation des graines pour apporter la bactérie symbiotique compatible avec celles semées (Domergue, 2016), ce qui est couramment pratiqué en agriculture.

Pour pouvoir réduire l'azote atmosphérique N_2 en ammonium assimilable par la plante, le *Rhizobium* doit se transformer en bactéroïdes (Wang *et al*, 2010 ; Wang *et al*, 2012). Cette différenciation, se fait dans les nodosités (Oldroyd et Downie, 2008).

Le processus de différenciation du *Rhizobium* en bactéroïdes est complexe. Chez *Sinorhizobium meliloti* (*Rhizobium* de *Medicago sativa*) les étapes sont les suivantes :

- L'expression est augmentée pour 342 gènes et est diminuée pour 640 autres,
- La chaîne respiratoire est modifiée pour travailler en condition réduite d'O₂ (protection et régulation de la Nitrogénase, codée par le gène nif),
- Synthèse d'un nouveau cytochrome oxydase (cbb3) capable de fonctionner en O₂ réduite (codée par les gènes FixN, FixO FixP),
- Acquisition de la capacité à fixer l'azote (expression du gène Fix) et perte de la capacité à utiliser le NH₄⁺ (**Voisin et Gastal, 2015**).

La réaction chimique générale qui transforme l'azote atmosphérique (N₂) est une réaction chimique réductrice (**Voisin et Gastal, 2015**) qui est la suivante :



Elle peut se faire :

- Soit par voie chimique dans l'industrie qui utilise alors de l'énergie fossile (EF) : N₂ + 8H⁺ + EF + pression ---> 2 NH₃ + H₂. C'est le procédé industriel de Haber-Bosch (connu depuis le 19^{ème} siècle) pour la fabrication d'ammoniac et d'engrais azotés,
- Soit par voie biologique (ce qui nous intéresse ici) : N₂ + 8 H⁺ + 16 ATP → 2 NH₃ + H₂. Les ATP provenant de la photosynthèse des légumineuses, plantes hôtes.

Une mole d'azote atmosphérique donne donc 2 moles d'ammonium (NH₄⁺) avec une dépense énergétique de 16 moles d'ATP. Cette réaction est catalysée par une enzyme, la nitrogénase, sécrétée par les *Rhizobiums* des nodosités.

Pour assurer des conditions d'anaérobiose au fonctionnement du système, chez les Fabacées, est présente une hémoprotéine fixatrice d'oxygène : la leghémoglobine (ou LegHb), très proche de l'hémoglobine chez l'homme. Cette protéine localisée dans les nodules des racines, permet de fixer l'oxygène pour former un milieu aérobie réduit favorable aux bactéroïdes, donc à la fixation du N₂ atmosphérique (**Voisin et Gastal, 2015**).

Les nodosités sont en formation continue. Elles naissent se développent et meurent. En phase de mise en place, les nodosités sont blanches. En période de croissance et d'activité de fixation d'azote, elles sont roses (présence de LegHb). Par contre, les nodosités caulinaires sont vertes (chloroplastes). La durée d'activité d'une nodosité est d'environ cinq semaines (**Voisin et Gastal, 2015**). En se détachant des racines, elles se décomposent dans le sol, enrichissant celui-ci en azote.

De même, les composés organiques azotés majoritairement synthétisés et exportés dans le xylème, sont des amides chez les légumineuses tempérées et exceptionnellement chez l'arachide et des uréides chez les légumineuses tropicales. Pour les uréides le coût énergétique pour leur synthèse et pour leur transport est plus faible que pour les amides (rapports C/N respectif de 1 et de 2). Néanmoins, selon **Voisin et Gastal (2015)**, l'impact sur la croissance et les rendements des légumineuses restent encore incertains.

La nodulation, entraînant la fixation de l'azote atmosphérique par les légumineuses, est donc la conséquence d'un dialogue constant entre le *Rhizobia* et la plante hôte. La symbiose étant établie, elle est autocontrôlée et régulée : nombre de nodules, fixation de l'azote en fonction des besoins de la plante (stade physiologique, surface foliaire...) et le coût énergétique de la fixation (Stacey *et al.*, 2006). Ce processus d'autorégulation est réalisé à l'aide de signaux moléculaires émis par la partie racinaire (NOD divers) ainsi que par les tiges : phytohormones notamment l'acide abscissique (ABA) à l'endroit des *Rhizobium* (Oka-Kira et Kawaguchi, 2006).

La régulation du nombre de nodosités est donc la principale composante d'ajustement de la fixation de N₂ aux autres facteurs de l'environnement : température, condition hydrique, phosphore, niveau de nitrate dans le sol (diminue l'activité de la nitrogénase), adaptant ainsi précisément l'offre en azote par la fixation symbiotique à la demande en azote pour la croissance de la plante (Voisin *et al.*, 2010).

En résumé, la légumineuse met à la disposition des bactéries une grande quantité d'ATP issue de la photosynthèse pour qu'elles puissent se développer et fixer l'azote de l'air (N₂). De même, elles maintiennent dans les nodules un microenvironnement anoxique (grâce au LegHb) favorable à l'action de la nitrogénase. En compensation, la plante récupère les composés azotés (NH₄⁺) produits dans les nodules par les bactéries pour synthétiser ses protéines (Oldroyd *et al.*, 2011). Lorsque toutes les conditions sont réunies, les légumineuses peuvent couvrir l'intégralité de leurs besoins grâce à la fixation symbiotique.

La **figure 3**, montre les détails du processus de symbiose entre les racines de la légumineuse et les *Rhizobium*.

➤ **Spécificité du processus de nodulation des légumineuses par le *Rhizobium***

C'est Baldwin et Fred (1929) qui inspirent le concept de « spécificité » lorsqu'ils proposèrent que la classification des différents *rhizobiums* soit faite par rapport à leur spécificité pour la plante hôte.

La spécificité, vue du côté du *Rhizobium*, peut être définie par le nombre et la diversité d'espèces de plantes qu'un genre, une espèce ou une souche peut infecter pour constituer une symbiose (Prin *et al.*, 1993; Rosenberg, 1997). Elle peut être stricte : une seule espèce ou genre de rhizobium, affectant un seul genre ou une seule espèce de légumineuse, par exemple, *Medicago truncatula* ne peut être nodulé que par *Sinorhizobium meliloti* et *S. medicae* (Vernié, 2008) ; ou large : un genre de *rhizobium*, ne pouvant noduler qu'un nombre restreint de légumineuses; ou encore très larges : c'est le cas notamment de la souche de *Rhizobium* NGR 234.

NGR 234 est une souche de *Sinorhizobium fredii* isolée des nodosités de *Dolichos lahlah* (dolique d'Égypte). Elle possède un spectre d'hôte très étendu. Ainsi, NGR 234 peut noduler 353 espèces de légumineuses appartenant à 112 genres différents appartenant aux trois sous-familles des légumineuses. Il peut même noduler *Parasponia andersonii* qui n'est pas une légumineuse, mais de la famille des *Ulmacées* (Pueppke et Broughton, 1999 ; Noël, 2009).

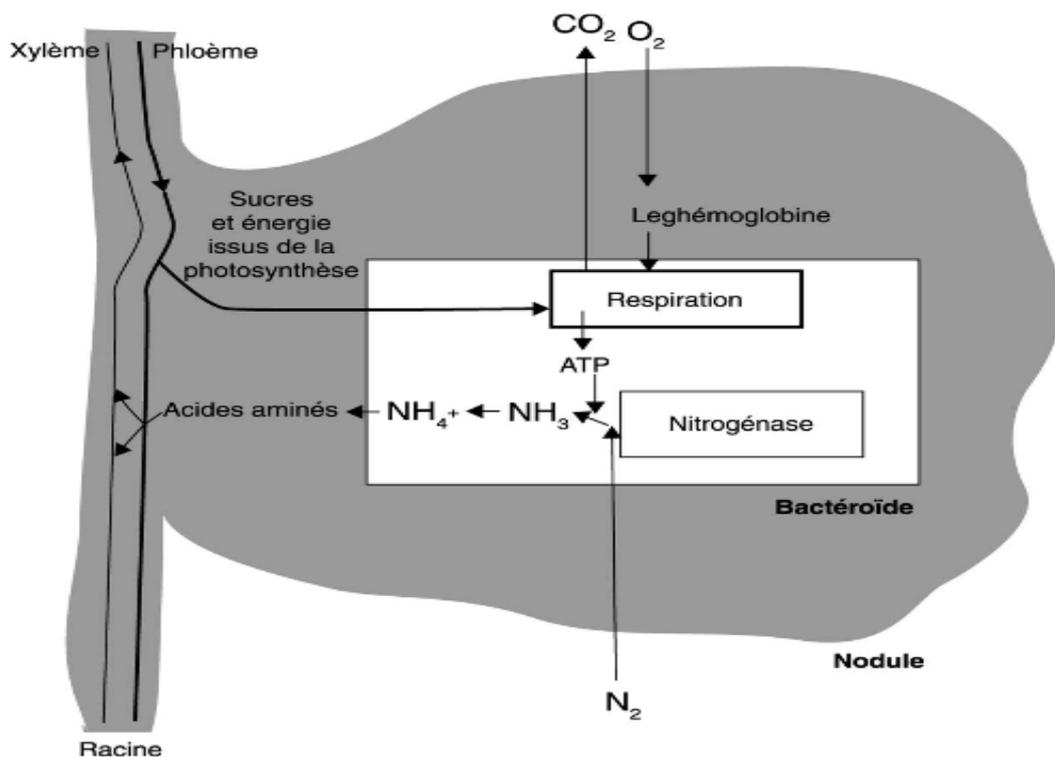


Figure 3 : Symbiose des échanges réciproques de nutriments entre la plante et le *Rhizobium* hébergé et transformé en bactéroïde dans le nodule (Voisin et Gastal, 2015).

NGR234 peut répondre positivement aux signaux lancés par de nombreuses espèces de légumineuses et s'adapter rapidement aux changements des stimuli environnementaux dans les sols. 132 gènes et protéines actives sont à la base de processus de sécrétions très diversifiées, inconnues chez les autres espèces de *rhizobium* (Pueppke et Broughton, 1999 ; Noël, 2009 ; Schmeisser *et al*, 2009). Une autre souche, également tirée de *Sinorhizobium fredii* : USDA257 a un spectre d'infectivité plus étroit que NGR234 (nodule 79 genres de légumineuses contre 112 pour NGR234) mais très largement au-delà des *Rhizobium* connus (Pueppke et Broughton, 1999).

➤ Des légumineuses qui ne nodulent pas et des non légumineuses qui nodulent

Même si la faculté de noduler et de vivre en symbiose avec des bactéries est une caractéristique des légumineuses parmi les angiospermes, toutes ne sont pas capables de noduler. La poursuite des recherches abouties à la découverte de nouvelles espèces de légumineuses, de souches de *Rhizobium* performante comme la GR.234. Mais, seulement 20 % de l'effectif total des légumineuses connues ont été étudiées pour leur aptitude à la nodulation (Giller et Wilson, 1991 ; Noël, 2009).

Quelques légumineuses appartenant aux genres *Sesbania*, *Aeschynomene* et *Casuarina* ont une double nodulation : racinaire et caulinaire (nodulation de tige) (Dommergues, 1983 ; Ganry Dommergues, 1995)

L'aptitude à noduler semble dépendre de la sous-famille. Ainsi, parmi les *Caesalpinioideae*, 77 % des espèces testées ne seraient pas capables de noduler notamment dans les tribus des *Bauhiniées*, *Cassiées* et *Eucésalpiniées* (Vincent, 1974). Par contre, 90% et 97% pour des *Mimosoideae* et

des *Papilionoideae*, respectivement, seraient capables de noduler. Il est vrai que pour cette dernière sous-famille, très cultivée par l'homme, le nombre d'espèces étudié est plus important.

A côté des légumineuses, on connaît depuis plus d'un siècle et demi plusieurs autres familles de plantes non légumineuses qui sont également capables de noduler, de fixer l'azote atmosphérique avec la même efficacité que les légumineuses et de mettre en place une symbiose à bénéfice réciproque (**Benson et Silvester, 1993**). La microsymbiote responsable est un actinomycète du genre *Frankia* (**Prin et Duhoux, 1996**).

Frankia (historique) est un genre de bactéries actinomycètes Gram+, filamenteuses et telluriques. On parle « d'actinorhizes » pour les nodules spécifiques formés par les bactéries *Frankia*. Ces "actinorhizes" sont localisés sur les racines et à moindre degré sur les tiges. Les plantes hôtes pouvant former ces nodosités pérennes en symbiose avec *Frankia* sont appelées plantes actinorhiziennes (**Orstom et Maggia, 1992 ; Prin et Duhoux, 1996**). D'après des études effectuées sur des pollens fossiles, ces plantes actinorhiziennes seraient apparues, il y a 200 millions d'années (**Oakley et al, 2004**) contre 400 millions d'années pour la symbiose légumineuses – *Rhizobium*s (**Rémy et al, 1994**).

Les bactéries actinomycètes du genre *Frankia* sont capables d'établir une symbiose avec plus de 260 angiospermes répartis dans 25 genres et 8 familles : *Betulaceae* (les Aulnes) ; *Casuarinaceae* (Filao) ; *Coriariaceae* (Herbe du tanneur ou redoul : très toxique) ; *Myricaceae* (Myrte) ; *Elaeagnaceae* (Argousier) ; *Datisceae* (Le Chanvre vivace) ; *Rhamnaceae* (appelé lilas de Californie) et *Rosaceae* (*Cercocarpus ledifolius*).

Ces plantes hôtes sont toutes des dicotylédones pérennes, arbres ou arbustes, à l'exception du genre *Datisca*, plantes vivaces de la famille des *Datisceae* (**Huss-Danell, 1997**). Les *Datisceae* sont actuellement classées dans l'ordre des *Cucurbitales* (**APG, 1998**). Leur distribution à travers le globe est très vaste ; on les retrouve en effet sur tous les continents, sauf en Antarctique (**Sagan, 1996**). Elles peuplent en général, des milieux pauvres aux conditions extrêmes : pH, salinité, métaux lourds, sécheresse et stress divers (**Dommergues, 1996**). Elles constituent des individus de choix pour des programmes de reboisement des zones difficiles.

Les bactéries actinomycètes du genre *Frankia*, utilisent le même type de réaction chimique générale réductrice à nitrification pour transformer l'azote atmosphérique (N_2) que celle du *Rhizobium*.

2. Bilan de la fixation de l'azote symbiotique

➤ Au niveau de la plante

Selon les situations, de 40 à 90% de la ressource azotée d'une légumineuse sont issus de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, le complément étant apporté par la voie de l'assimilation de l'azote minéral du sol par les racines, voie commune avec les autres espèces cultivées (**Vertes et al, 2015**). Dans tous les cas, la fixation symbiotique est régulée par les légumineuses, valorisant l'azote minéral disponible dans le sol (voie moins coûteuse en énergie pour la plante). Ainsi, en présence de quantités importantes d'azote dans le sol, quelle qu'en soit l'origine (reliques en N minéral du sol, apport d'engrais ou par les déjections), celui-ci est utilisé et limite les entrées nouvelles d'azote par fixation symbiotique. A l'inverse lorsque peu d'azote minéral est disponible, les légumineuses assurent

leur nutrition en azote par la fixation symbiotique, ce qui permet une production de biomasse et de protéines équivalente, voire plus importante (**Voisin et Gastal, 2015 ; Anglade, 2015**).

Ainsi, le taux de fixation (N fixé / N total plante) est relié négativement à l'azote minéral du sol, de façon linéaire pour les légumineuses annuelles à graines et les fourragères en monoculture, et de façon plus variable pour les associations (**Voisin et Gastal, 2015**). Ce phénomène de régulation de l'entrée d'azote réactif dans le système aboutit globalement à une meilleure utilisation du N sol qu'avec les cultures fertilisées (**Duc et al., 2010**). Toutefois, il est bien établi que la fixation potentielle dépend des caractéristiques génétiques de la souche de la bactérie associée à l'hôte (**Brunck et al, 1990**).

En 2002, **Voisin et al (2002)** ont démontré que la fixation symbiotique du pois s'arrête quand la concentration en nitrate atteint l'équivalent de 40 kg/ha dans l'horizon labouré et reprend dès que la concentration diminue, ces fluctuations n'ayant aucun impact sur le rendement et la teneur en protéine des graines. On sait aussi que, la voie de nutrition azotée que privilégie l'espèce de légumineuse, affecte le rapport biomasse aérienne / biomasse racinaire et la rhizodéposition, mais l'état des connaissances actuelles est insuffisant pour fournir des références opérationnelles et quantifier ces effets (**Fustec et al, 2010**).

De même, certaines espèces de légumineuses fixent mieux l'azote que d'autres (**Schneider et Huyghe, 2015**). Il ressort que la quantité d'azote organique restituée au sol dépend du niveau de rendement de l'espèce en question (**Schneider et Huyghe, 2015**). Par exemple, une culture de luzerne synthétise, assimile et exporte des quantités d'azote très élevées, bien plus que d'autres légumineuses, qu'elles soient annuelles comme le pois protéagineux, pérennes comme le trèfle violet (**Muller et al, 1993 ; Thiébeau et al, 2003**).

➤ Au niveau du sol

L'azote des parties souterraines d'une culture par exemple de luzerne est la somme de l'azote contenu dans son système racinaire et de la libération de composés azotés dans le sol au voisinage de ses racines (la rhizodéposition). Alors qu'elle a longtemps été négligée, des études récentes au champ montrent que la partie souterraine de l'azote d'une culture représenterait une part conséquente de l'azote de la plante entière (**Fustec et al, 2010**).

La réalisation de bilans azotés du sol, à l'échelle de la parcelle ou de l'exploitation (on parle alors de «**balance globale azotée**» ou BGA), permet de calculer un solde d'azote égal à la différence entre des apports au sol et des sorties du sol. Il y a plusieurs façons de calculer des bilans (**Oenema et al., 2003**). Les différentes variables de la rhizodéposé sont :

- La sénescence et la décomposition des racines et des nodosités,
- L'exsudation de composés solubles par les racines,
- Le renouvellement des cellules de la coiffe racinaire,
- La sécrétion de mucilage.

La majorité de l'azote rhizodéposé provient de la sénescence et de l'exsudation racinaire (**Voisin et al, 2015 ; Sophie et Gastal, 2015**). De même, on sait que la rhizodéposition augmente avec l'âge de la plante et sa teneur en azote (**Mathieu et al, 2007**).

Mais la part de chaque mécanisme de rhizodéposition est variable selon les espèces : jusqu'à 20% de l'azote rhizodéposé pour le trèfle blanc, mais moins de 5% pour la luzerne. Pour le pois, les estimations sont variables, mais pourraient représenter environ 30% de l'azote total accumulé par la plante, la biomasse racinaire et la rhizodéposition comptant respectivement pour environ 10 et 90% de cet azote (Mahieu *et al*, 2007).

Actuellement, on estime qu'au niveau de l'agriculture mondiale 46 Millions de tonnes d'azote proviennent de la fixation symbiotique par les légumineuses, à comparer aux 87 Mt d'engrais azotes utilisés (Duc *et al*, 2010).

La simulation de calcul de solde d'azote **d'une culture de luzerne de 3 ans** se décompose de la manière suivante selon Thiébeau *et al*(2003) :

- Azote de la biomasse aérienne exporté en moyenne par coupereprésente 13t de matière sèche à 18% de protéines, soit 375 kgN/an
- Azote des racines et des collets (teneur en protéines de 25% contre 18% pour biomasse aérienne) : 160 kg N/ an,
- Azote rhizodéposé (azote exsudé par le système racinaire) dans le sol : 50 kg N/ha/an.

C'est donc, près de 600 kg d'azote que produirait par an un hectare de luzerne. La majeure partie de cet azote (90%) provient de la fixation symbiotique, soit : plus de 500 kg dans cet exemple. Schneideret Huyghe (2015), dans un contexte moyen en Champagne (France), donnent 450 kg/ha/an pour la luzerne.

En conclusion, sur la fixation symbiotique

La quantité d'azote atmosphérique fixée par la plante dépend de la croissance de la plante donc des facteurs de l'environnement tels que la disponibilité en eau, température et de la teneur du sol en azote minéral (en corrélation négative), des minéraux tels que calcium, phosphore, magnésium, bore (en corrélation positive) l'efficacité des Rhizobia en causes et d'autres facteurs limitant comme le tassement du sol, les stress hydriques, les bio agresseurs, une sénescence retardée des nodosités, une architecture du système racinaire plus développée, etc. Tous ces facteurs, indiquent en même temps les pistes possibles d'amélioration de la capacité fixatrice des peuplements de légumineuses.

Pour l'intérêt agronomique, environnemental et économique, on estime que la moitié de la fixation biologique de N₂ est réalisée par la symbiose rhizobium légumineuse, avec un taux allant de 10 à 300 kg (400 à 500 kg pour la luzerne) par hectare et par an (Werner et Newton, 2005 ; Lindström *et al.*, 2010), et produit **25 à 35 % des protéines mondiales**. Ces cultures représentent un marché mondial d'environ 2 milliards de dollars par an (Werner et Newton, 2005). Des ligneuses, telles qu'*Acacia*, *Leucaena*, *Mimosas* pouvant fixer des quantités énormes de N₂ (jusqu'à 600 kg /hectare/an) sont utilisées en agroforesterie (Sprent et Parsons, 2000).

Par ailleurs, selon Muller *et al*, (1993), Justes *et al* (2001), dans un contexte moyen, 60% de l'azote contenu dans la biomasse des légumineuses, présente au moment de la destruction de la plante sont libérés progressivement au cours des 18 mois suivants. Par ailleurs, des travaux sur cases lysimétriques avec marquage isotopique N¹⁵ des résidus de luzerne, montrent qu'un effet significatif persiste durant les 4 années qui suivent leur destruction (Waligora, 2009).

Les services agro-écologiques offerts par les symbioses fixatrices devraient nous inciter à reconsidérer la place que les légumineuses pourraient tenir dans l'agriculture pour une gestion durable des

territoires. L'avenir des légumineuses dans l'économie du monde a reçu le timbre de la FAO qui a proclamé 2016, année internationale des légumineuses (AIL).

Chapitre 4. Importance des légumineuses dans l'économie humaine

Outre l'intérêt direct que l'homme porte aux légumineuses pour son alimentation et son industrie, les légumineuses fournissent du bois de construction, pour l'ameublement : bois de qualité (bois de rose, ébène), combustibles. Elles contribuent à la protection de l'environnement : en limitant l'utilisation d'engrais azotés de fabrication industrielle (2.5 Tonnes de pétrole consommées par tonne d'engrais azotés fabriquée) et du même coup la contamination par les nitrates. Comme tête d'assolement, les populations antiques connaissaient déjà parfaitement, les bienfaits sur le sol des précédents culturaux de légumineuses et comme engrais vert, (**Guerrouj et al, 2009**). De même, elles ont enrichi la Pharmacopée humaine et vétérinaire (**UNESCO, 1960**).

De nos jours, l'agriculture biologique considère incontournables (comme précédents culturaux), dans ce système de production en absence d'intrants de synthèse.

Cultivées depuis plus de 9000 ans (**Lev-Yadun et al, 2000**), c'est la famille végétale qui fournit le plus grand nombre d'espèces utiles à l'homme, qu'elles soient d'intérêts alimentaires, fourragers ou autres. Ainsi, les légumineuses contribuaient à la qualité des rations et des diètes, à la fois pour les animaux de rente ; mais aussi pour les populations humaines (**Huyghe, 2006**).

La culture des légumineuses est, depuis longtemps, un des pivots de l'agriculture méditerranéenne. La géographie de la domestication des plantes cultivées permet de localiser l'origine de nombreuses légumineuses fourragères dans le Proche Orient, à l'extrémité Est de la Méditerranée (**Harlan, 1987 in Bellon, 1993**). Les plus anciennes seraient la luzerne, le trèfle d'Alexandrie et le trèfle blanc (**Mannel et al, 1980 in Bellon, 1993**). L'extension des légumineuses en région méditerranéenne remonte au 4^{ème} millénaire avant J.C. dans un complexe cultural céréales-jachère coexistant avec l'élevage de petits ruminants. Ces animaux utilisent alors des jachères, chaumes et grains, mais aussi des parcours, souvent collectifs. L'insertion de légumineuses dans ce schéma a contribué à différencier les systèmes de production.

Les légumineuses sont principalement classées en deux groupes (**Zhu et al, 2005**) : les légumineuses fourragères et les légumineuses à graines.

1. Les légumineuses cultivées pour leurs graines

Dans cette catégorie, on distingue :

-Les espèces à graines riches en protéines et en huiles, presque sans amidon, appelées oléagineux (soja, arachide, certains lupins...). Elles fournissent : l'industrie des matières grasses : 35% des huiles végétales produites dans le monde le sont à partir de graines de légumineuses : avec deux espèces principalement : Glycine max (soja) et *Hypogaea arachis* (Arachide) et celles connexes : savonnerie, cosmétique,

-Les espèces à graines riches en protéines, classées comme protéagineux (pois, féverole, fève, certains lupins...) ou légumes secs (haricot, lentille, les nombreuses espèces de pois dont : pois d'angle, pois chiche...). Par définition, les légumes secs sont les graines de légumineuses sèches qui se distinguent des légumineuses oléagineuses par leur faible teneur en matière grasse, une bonne teneur en amidon et en protéines (FAO, 1995). La teneur en protéines pouvant varier de 18 à 32% de la matière sèche (Caputa, 1988 ; Akibode et Maredia, 2011).

Les légumineuses à graines ont été d'abord cultivées seules depuis le début de l'agriculture il y a 9000-10000 ans. On a trouvé des traces évidentes de l'utilisation de légumes secs dans de nombreux sites occupés par l'homme à cette époque : en Iran, Palestine, Turquie, Grèce ainsi qu'en Suisse (Chaux et Foury, 2008). Ces espèces sont issues d'un travail de domestication par l'homme, qui de façon empirique a sélectionné des formes plus productives, moins sensibles à certains facteurs biotiques et abiotiques que les formes sauvages.

Introduits en Europe au 15^{ème} siècle, la consommation de légumes secs par les populations pauvres était élevée (viande des pauvres disait-on). Mais à contrario, décriées par la bourgeoisie fortunée. Quellier (2016) rapporte les propos d'un médecin du 17^{ème} siècle décrivant les effets provoqués chez l'homme consommant des légumes secs : « Ils produisent beaucoup de vents, chargent l'estomac, font un sang épais et grossier, qui étant porté à la tête l'appesantit considérablement. Il n'y a que des tempéraments forts et robustes qui puissent s'accommoder de l'usage fréquent de cette nourriture, et les personnes un peu délicates la doivent éviter ».

2. Réhabilitation des légumineuses à graines

De 1920 à nos jours en occident, la consommation de légumes secs est passée de 7.5 kg en 1920 à 1.5 kg au profit de la viande (FNLS, 2016). En Algérie, la consommation annuelle moyenne des graines de légumineuses alimentaires est de 8 kg/habitant dont 1kg seulement est produit localement, la différence étant importée (Hamadache, 2014). Les superficies emblavées s'élevant en moyenne à 69 300 ha en 2000-2012, contre plus de 107 000 ha durant la période 1986-1998.

Qualifiées de « viande des pauvres », elles continuent à être très consommées dans les pays d'Afrique du nord, en Afrique de l'Ouest, en Asie, au moyen Orient et en Asie du Sud (FAO, 2016).

Présentement, Selon Graham et Vance (2003), les légumineuses à graines, occupent 12 à 15% des terres cultivables dans le monde et 27% de la production mondiale des cultures. Elles couvrent 33% des besoins en protéines de l'homme à travers le monde. Par ordre d'importance : le haricot (*Phaseolus vulgaris*), le pois (*Pisum sativum*), le pois chiche (*Cicer arietinum*), la fève (*Vicia faba*), la lentille (*Lens culinaris*) ; dans les pays du Sud : le pois d'Angole (*Cajanus cajan*) et le niébé (*Vigna unguiculata*). Le volume des échanges internationaux est faible.

La recherche sur les légumineuses à graines est particulièrement active. 40% des ressources sont consacrés au soja, 15% au pois, 15% au haricot, 7% à la féverole et 3% au lupin (Guéguen et al, 2008).

Très tôt l'homme pour équilibrer son alimentation, avait compris instinctivement, l'intérêt de l'association des légumineuses (apport de lysine) avec les céréales (apport de méthionine). Les graines (mais aussi les jeunes feuilles) sont, en effet, riches en protéines. Au néolithique, dans le berceau de

l'agriculture (Croissant fertile du Proche-Orient), cette association était basée sur trois céréales : le petit épeautre (*Triticum monococcum*), le blé amidonnier (*T. dicoccum*) et le seigle (*Secale cereale* L) et sur quatre légumineuses alimentaires : lentilles, pois, pois chiche et vesce amère (**Lev-Yadun et al, 2000**). En Algérie, comme dans tous les pays du Maghreb, les écrits issus de la Rome antique rapportent de nombreux témoignages de l'utilisation des légumineuses à graines dans les rations alimentaires de l'homme associées aux graines de céréales.

Début du XIX^{ème} siècle avec la montée du végétalisme, les légumineuses commencent leur réhabilitation avec l'apogée en 2013, lorsque l'assemblée générale des nations unis (qui s'est tenue à New-York du 17 au 30 septembre 2013) a proclamé 2016, année internationale des légumineuses (AIL).

Les objectifs spécifiques de l'AIL 2016 sont :

- Attirer l'attention sur l'importance des légumineuses pour une production alimentaire durable et une alimentation équilibrée. Elles contribuent également à la sécurité alimentaire et nutritionnelle,
- Promouvoir la valeur et l'utilisation des légumineuses dans l'ensemble du système alimentaire, ainsi que leurs avantages en terme de fertilité des sols, de lutte contre le changement climatique et contre la malnutrition,
- Encourager les connexions tout au long de la chaîne alimentaire pour favoriser la production de légumineuses et la recherche, mieux utiliser la rotation des cultures et relever les défis de leur commercialisation.

3. Les légumineuses fourragères

L'alimentation animale profite pleinement de l'apport des légumineuses à graines : pois, féverole, lupin, mais surtout sous forme de tourteaux, riches en protéines. Le leader incontesté du marché étant ceux du soja et secondairement de l'arachide. De 1980 à 2014, la production de soja grain est passée de : 76×10^6 à 260×10^6 tonnes respectivement, pour satisfaire l'intensification de l'élevage en occident et dans les pays émergents (**Bossuet et Vadez, 2013**). Par ailleurs, les pailles de légumineuses à graines (2 à 3 fois plus riches en azote que les pailles de céréales) sont données aux herbivores notamment dans les pays du Sud. Néanmoins, c'est sous forme de fourrages spontanés : herbes, arbustes, arbres (**Shelton, 2000**) ou de cultures fourragères dédiées que les légumineuses sont les plus consommées par les herbivores. Cette consommation est assurée en zéro gazon, directement sur pâturages cultivés (ou spontanés) en mélange avec des graminées ou encore, récoltées sous forme de foin, voire même déshydratées (luzerne par exemple). Les légumineuses fourragères présentent des individus forts différents en termes de port : plantes herbacées (comme la **luzerne**), grimpantes : Coronille bigarrée (*Coronilla varia*), buissonnantes, des arbustes Astragale rayé de Chine (*Astragalus adsurgens*).

Les genres et espèces exploités sont nombreux (**Graham et Vance, 2003 ; Suttie, 2004**) : Lotiers (*Lotus* spp.) ; Mélilots (*Melilotus* spp.) ; les Trèfles (du genre *Trifolium*) avec plus de 300 espèces dont certaines sont très polymorphes : par exemple, *T. pratense* (trèfle violet) connaît plus de 40 variétés ; Vesces (*Vicia* spp.) ; Sulla (*Hedysarum coronarium*) ; Coronille bigarrée (*Coronilla varia*) ; Sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) ; la luzerne (*Medicago sativa* L.).

Incontestablement, la luzerne est la légumineuse fourragère la plus cultivée dans le monde, sujet de notre travail, nous nous y attarderons dans le chapitre suivant.

Chapitre 5. Le genre *Medicago*

Le représentant du genre *Medicago* le plus emblématique, le plus connu et le plus utilisé dans l'économie de l'homme est la **luzerne cultivée**. Parler du genre *Medicago*, c'est parler des **luzernes** dans leur diversité et leur complexité.

1. Points généraux

Tout d'abord, notons que le nom de genre « *Medicago* », n'est pas en rapport comme on pourrait le croire, avec des propriétés médicinales de la plante, mais de son lieu d'origine. En effet, selon **Théophraste (372 - 287 av. J.-C.)** de Médie (région allant du Nord-Ouest de l'Iran à l'Azerbaïdjan).

Le genre *Medicago* appartient à l'embranchement des *Spermaphytes*, sous embranchement des *Angiospermes*, classe des *Dicotylédones*, sous classe des *Dialypétales* ordres des *Rasales*, famille des *Légumineuses*, sous-familles des *Papilionacées*, tribu des *Trifoliées* (**Quezel et Santa, 1962**). Cette tribu comprend également la plupart des légumineuses fourragères notamment, les genres *Trifolium* (Exemple du trèfle, très prolifique en espèces), *Melilotus* (mélilot) et *Trigonella* (fenugrec), proches du genre *Medicago*.

Le genre *Medicago* ne s'hybride avec aucun de ces genres (ni avec aucun autre genre).

Le genre *Medicago* a été classé en 4 sous-genres par **Lesins et Lesins (1979)** sur la base de la morphologie des gousses et des graines : *Lupularia*, *Orbicularia* (annuelle), *Spirocarpos* (annuelle) et *Medicago* (pérenne) (**Figure 4**).

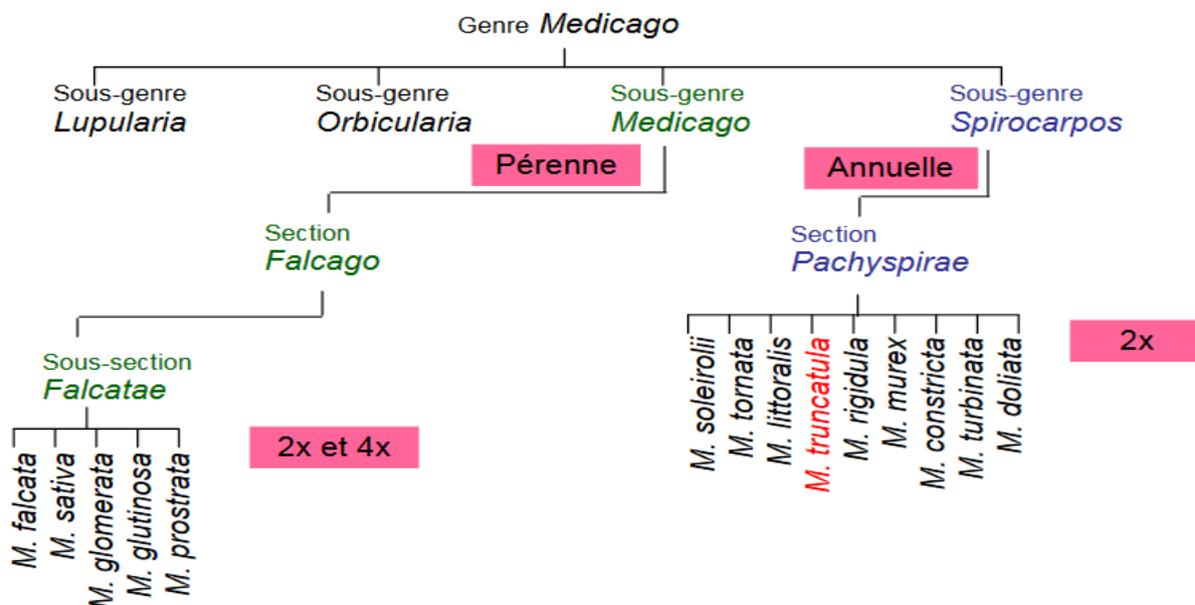


Figure 4 : Taxonomie du genre *Medicago* (Lesins et Lesins 1979).

Ce dernier sous-genre « *Medicago* » comprend 4 sections : *Arborae*, *Marinae*, *Suffruticosae* et *Falcago*. La section *Falcago* comporte 4 sous-sections : *Rupestris*, *Daghestanicae*, *Papillosae* et

Falcatae, La sous-section *Falcatae* comprend 5 espèces : *M.falcata*, *M. sativa*, *M. glomerata*, *M. glutinosa* et *M. prostata*.

La couleur de la fleur et la forme des gousses sont les caractères permettant de distinguer les espèces de cette sous-section. Ces 5 espèces sont toutes pérennes, diploïdes ou tétraploïdes et elles ont une corolle jaune, violette ou bigarrée de jaune et de violet.

Quant au sous-genre : *Spirocarpos*, il est composé de 4 sections : *Intertextae*, *Leptospirae*, *Pachyspirae* et *Rotatae*. *M. truncatula* (appelée communément luzerne tronquée) appartient à la section *Pachyspirae* aux côtés de 8 autres espèces : *M.constricta*, *M. doliata*, *M. littoralis*, *M. murex*, *M. rigidula*, *M. soleirolii*, *M. tornata* et *M. turbinata* (Pierre, 2008).

En 1979, Lesins et Lesins (1979) indiquaient 4 sous-genres comprenant au total 55 espèces dont 21 étaient pérennes, 33 annuelles et une était de pérennité non définie. Le sous-genre *Spirocarpos* est composé de 29 espèces annuelles.

Dans l'étude taxonomique complète du genre *Medicago* effectuée par Small et Jomphe (1989), il est question de 12 sous genres et près de 80 espèces de *Medicago* mais toujours avec une dominance de deux tiers des espèces annuelles, les autres, dont le *M. sativa* étant vivaces.

D'après Lesins et Lesins (1979), aujourd'hui, les espèces du genre *Medicago* sont en général herbacées les plus anciennes auraient été pérennes, probablement ligneuses (comme *Medicago arborea* ou luzerne arborescente qui peut atteindre 4 m de haut), préférentiellement allogames. Par la suite l'évolution du genre s'est accompagnée des modifications morphologiques et biologiques, les espèces annuelles ont des graines plus grosses (poids de 1000 grains supérieur à 4g), que les espèces pérennes (2 à 3 g) avec néanmoins des exceptions notables (Prosperi et al, 1995).

Ce genre comprend des espèces diploïdes, tétraploïdes, exceptionnellement hexaploïde (*Medicago arborea*, *Medicago saxatilis*), le nombre chromosomique de base est $x=8$, excepté les espèces annuelles *M. constricta* Dur ; *M.praecox* DC ; *M. polymorpha* L. ; *M. rigidula* L. qui ont un nombre chromosomique de base $x=7$.

Trois niveaux de ploïdie existent dans les différentes espèces du genre : diploïdes ($2n=2x=14$ et $2n=2x=16$), tétraploïdes ($2n=4x=32$) pour la luzerne cultivée (*Medicago sativa*) et hexaploïdes ($2n=6x=48$, par exemple : *Medicago arborea* ; *Medicago saxatilis*) même octoploïdes ($4n = 64$). Mais, plus de la majorité des espèces du genre est diploïde et la tétraploïdie est très dominante chez la luzerne pérenne. Les individus diploïdes ne sont pas très vigoureux et les octoploïdes n'ont pas un intérêt supplémentaire par rapport aux tétraploïdes (Doré et Varoquaux, 2006). A la base, le genre devait être diploïde et les espèces tétraploïdes auraient dérivé d'une non-réduction des gamètes, donnant des plantes très vigoureuses et hétérozygotes qui ont par la suite colonisé de nouveaux habitats (Quiros et Bauchan, 1988). Le nombre chromosomique de base 8 est le plus répandu au sein du genre (Villax, 1963).

2. Points historiques, distribution géographique et évolution du genre *Medicago*.

➤ Historique et distribution

A la suite de Vavilov (1887 - 1943), il est admis que le centre d'origine du genre *Medicago* est le Croissant fertile qui correspond à la région géographique occupée par Israël, la Cisjordanie, le Liban et

des parties de la Jordanie, la Syrie, l'Irak, l'Égypte et le Sud-Ouest de la Turquie d'où il aurait été apporté en Europe par le roi perse **Darius** (550 - 486 av. J.-C.).

Les tablettes Hittites (Turquie), datant de 1400-1200 av.J.C, mentionnent l'utilisation d'espèces fourragères du genre *Medicago* comme nourriture hivernale pour les animaux (**Génier et al, 1992**).

Néanmoins, **Bolton (1962)**, estime que déjà, dès 4000 ans et même 7000 ans av. J.C, les marchands Sumériens ont pu véhiculer des espèces de *Medicago* dans la Méditerranée orientale. **Maurières (2003)** recule encore la culture de ces fourrages, à 9000 ans dans les hauts plateaux du Caucase, de l'Iran et de la Turquie. Elles sont arrivées en Grèce vers 500 av. J.C, en Chine en 200 av. J.C, lorsque des chevaux iraniens ont été acquis en grand nombre pour des raisons militaires par la Chine. De la Grèce, elle s'est répandue à travers l'Europe du Sud et l'Afrique du Nord. Leur extension européenne, selon **Genier et al(1992)**, ne commence réellement qu'avec l'Empire romain (330 après J.C), puis en Espagne par les conquêtes arabes.

D'Espagne, elle est introduite en France, vers 1550 et ensuite disséminée sur toute l'Europe. Puis, en Amérique par le biais des colonisations Portugaises et Espagnoles au XVI^{ème} siècle, et également au Mexique et au Texas, en Arizona, au Nouveau-Mexique, en Californie et au Pérou par des missionnaires catholiques. Les écotypes de l'époque trouvent leur plus grand développement dans les zones tempérées chaudes de la planète : des Etats-Unis, d'Europe, d'Amérique du Sud (au 17^{ème}-18^{ème} siècle), d'Asie, d'Australie et Nouvelle-Zélande au 19^{ème} siècle (**Klinkowski, 1933 ; Michaud et al, 1988 ; Maurières, 1994**), puis en Afrique du Sud et du Nord (**Suttie, 2004**).

Olivier de Serre (1539-1619), bien connu des agronomes, disait de la luzerne dans son ouvrage « Théâtres de l'agriculture et Ménages des champs » : « la luzerne est la merveille des champs ». Il recommande l'usage de « cette plante améliorante dans la succession des cultures » (**Doré et Varoquaux, 2006**).

Les écotypes de luzerne cultivés alors, étaient bien différents de ceux que nous connaissons aujourd'hui. Le genre a évolué sous l'action de l'homme.

➤ Evolution du genre *Medicago*

Les hommes ressentirent le besoin de faire des choix de plantes qui leur paraissent plus performantes ou de les modifier en améliorant leurs performances à travers une succession de génération. C'est ainsi qu'émergera la sélection dite massale, réalisée au sein de populations végétales conduisant à améliorer leurs performances (**Lafon et al, 1996 ; Tourte, 1998**). Ainsi, les plantes cultivées sont issues de plantes sauvages « domestiquées » dans leurs centres d'origine par les agriculteurs (**Lafon et al., 1996**). **Bena (1998, in Abdelguerfi-Louar, 2005)** mentionne quatre mécanismes ayant dû intervenir dans les spéciations du genre *Medicago* : isolement géographique, isolement des reproducteurs, les croisements, la spéciation par hybridation. Il existe de nombreuses possibilités d'inter-croisements entre les formes diploïdes et/ou tétraploïdes de *Medicago sativa*, que **Lesins et Lesins (1979)** décrivent comme un complexe d'espèces.

Ces derniers auteurs ont proposé un schéma possible d'évolution du complexe *M. sativa* vers les formes cultivées comme le montre la **figure 5** : *M. glomerata* endémique du Caucase, caractérisé par des fleurs jaunes, soit l'ancêtre commun des diploïdes du complexe, d'où dérivent deux populations ancestrales qui ont été séparées par isolement spatial au cours de l'ère : *M.coerulea* (au sud) et *M.falcata* (au nord). *M. sativa* et *M. falcata* sont deux espèces très proches et interfertiles ont donné une large gamme d'hybrides englobés sous le nom de *Medicago x varia*, **Martyn** ou *Medicago media*. Ces hybrides forment des « populations naturelles de pays » et des variétés créées par les

sélectionneurs pour des usages fourragers. En France, les populations locales sont constituées de mélanges en proportions variables de *M. sativa* et d'hybrides. Trois groupes peuvent être distingués : les types Provence (type sativa et peu de varia), les types Flamands (type *Medicago* x varia), et les types Marais de l'Ouest (type varia plus marqué) (Mauriès, 1994). De nombreuses variétés françaises de ces groupes notamment le groupe « Provence » ont été testées en Algérie (Couranjou, 1965). Aujourd'hui, presque toutes les « Populations ou variétés de pays » ont évolué en structure de variétés synthétiques (Grenier *et al*, 1992). La création variétale fourragère démarre véritablement vers les années 1930 aux USA et dans les pays d'Europe du Nord (Abdelkafi et Marakchi, 2000).

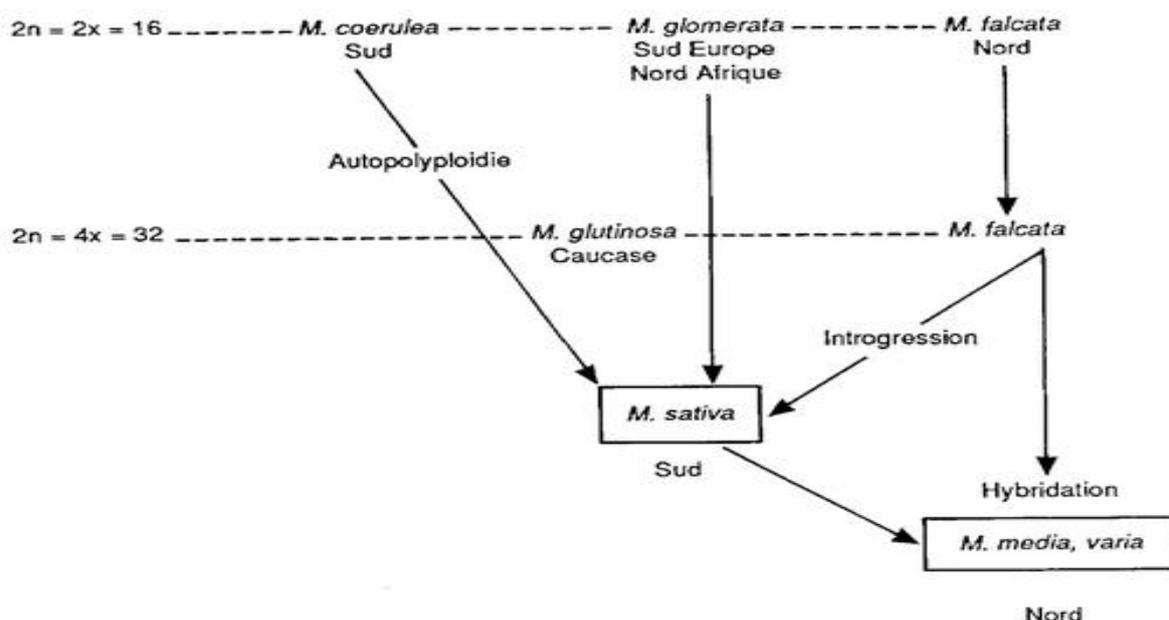


Figure 5 : Evolution de la luzerne vers les types cultivés (Lessin, 1976 in Grenier *et al*, 1992).

Les principaux aboutissements de cette évolution résident dans sa productivité (12 à 14t de matière sèche/ha), la régularité de son rendement, sa facilité d'installation (en sol sain de $6 < \text{pH} < 7,5$) son faible prix de revient par sa pérennité (3-4 ans) et l'absence de fertilisation azotée... (Grenier *et al*, 1992). Elle se caractérise également par une valeur énergétique nutritionnelle de 0,69 à 0,81 UFL/kg de MS et une teneur en matières azotées de 135 à 205g/kg MS selon le stade et le cycle de développement (A.C.T.A, 1988).

Chapitre 6. Les luzernes

1. Points généraux

Le *Medicago sp* L. appartient à l'ordre des Fabales, à la famille des Fabacées, à la tribu des Trifoliées. Ce genre comprend plus de 60 espèces, dont les deux tiers sont annuelles et les autres, vivaces (Quiros et Bauchan, 1988). Antérieurement, Lesins et Lesins (1979) avaient indiqué, 55 espèces dont 21 étaient pérennes, 33 annuelles et une était de pérennité non définie (cf chapitre 4). Dans une plus récente étude taxonomique complète du genre, Small et Jomphe (1989) décrivent 83 espèces de *Medicago* dont les deux tiers de ces espèces sont annuelles. Les autres étant vivaces (dont *M. sativa*). Le sous-genre *Spirocarpos* à lui seul est composé de 29 espèces annuelles, les autres, dont le *M. sativa* étant vivaces. Il est à noter que les luzernes annuelles et celles pérennes ne sont pas interfertiles.

De tels hybrides, n'ont jamais été observés dans la nature ni créés artificiellement. Néanmoins, **Sangduen et al (1982)** ont signalé en avoir obtenu un, mais il n'a pas produit de graines.

Le nom vernaculaire « luzerne » est attesté vers 1600. C'est une réfection de « lauserne », empruntée au provençal luzerno, emploi métaphorique de luzerno (ver luisant), référence aux graines brillantes de certaines luzernes. Le nom anglais et espagnol alfalfa proviendrait du nom arabe al-fac-façah, qui signifie « le père des aliments » par référence aux bienfaits apportés aux chevaux nourris avec cette plante. Avant cette appellation « Luzerne » les grecs appelaient la plante : « Médica ». Cette appellation est en lien avec les peuples Mèdes (Région de Médie en Iran) de qui les grecs ont connu la luzerne au V^{ème} siècle av. J.C, à l'époque où ils étaient en guerre contre **Darius** (550 – 486 av. J-C), roi des Perses. Avec le temps, le terme Médica est devenu Médic (**Bolton, 1962**). Le terme « Medics » est parfois employé pour désigner les luzernes annuelles (En Europe du Sud, en Afrique du Nord et surtout en Australie). Il est peu usité en Europe du Nord.

La luzerne est à l'état endémique dans tout le Bassin méditerranéen, en Afrique du Nord, au Moyen-Orient, dans la plus grande partie de l'Europe, en Sibérie, dans le nord de l'Inde et en Chine (**Ivanov, 1988 ; Michaud et al, 1988 ; Quiros et Bauchan, 1988**). Dans tous ces pays, les flux de gènes sont possibles entre espèces sauvages et espèces cultivées.

La plupart des espèces constituant le genre *Medicago* sont décrites depuis le XVI^{ème} siècle. Ainsi, dans *Species Plantarum* en 1753 de Carl von Linné, neuf espèces sont décrites dont certaines avec plusieurs variétés botaniques (**Heyn, 1963**). Plusieurs travaux importants réalisés au cours du XIX^{ème} siècle avaient abouti à une description complète du genre *Medicago*, mais mal reliés entre eux, ils comportaient un nombre important de synonymies. Il faut attendre les ouvrages de **Heyn (1963)** et surtout celui de **Lesins et Lesins (1979)** et à moindre degré, **Small et Jomphe (1989)** pour obtenir une réelle synthèse.

Il existe de nombreuses possibilités d'inter-croisements entre les formes diploïdes et/ou tétraploïdes de *Medicago sativa*, que **Lesins et Lesins (1979)** décrivent comme un complexe d'espèces, mais plus de la moitié des écotypes de luzerne cultivée actuellement est originaire des formes pérennes tétraploïdes allogames de *M. sativa* et *M. falcata*. La forme tétraploïde est dénommée *M. sativa ssp sativa* et la forme diploïde est dénommée *M. sativa ssp coerulea* (**Guines, 2002**).

Sous l'appellation générique « Luzerne » on classe deux sous espèces botaniques interfertiles d'origine géographique différente : *Medicago sativa* et *Medicago falcata* du sous-genre *Medicago*, de la section *Falcago* et de la sous-section *Falcatae* (**Figure 4**) et ainsi que leurs hybrides (**Piftzenmeyer, 1963 ; Lesins et Lesins, 1979 ; Mauriès, 2003**).

- L'origine de *M. sativa* (à fleurs violettes) se trouve sur les hauts plateaux Iraniens et les régions avoisinantes « herbe des Mèdes » « Erba medica » des Italiens. C'est une espèce particulièrement adaptée à la sécheresse estivale, surtout grâce à ses racines pivotantes profondes. *M. sativa* se développe en climats doux, au sud de la région méditerranéenne. *M. sativa* est dans sa très grande majorité tétraploïde ($2n = 4x = 32$),
- *Medicago falcata* (à fleurs jaunes) est originaire de la Sibérie occidentale, d'où elle a gagné la Russie et la Scandinavie, puis le reste de l'Europe. C'est une plante rustique, dont les exigences nutritives sont modestes. Elle est remarquablement résistante à la gelée et à la sécheresse, mais elle produit moins de fourrage et moins de graines que *M. sativa*. Par ailleurs, *Medicago falcata*,

comprend à la fois des sujets tétraploïdes et des sujets diploïdes ($2n = 2x = 16$) comme par exemple : *M. coerulea* (Brunel, 1982).

Les hybrides ont des caractères et couleurs des fleurs intermédiaires : on parle de bigarrure. La production de gamètes à nombre chromosomique non réduit ($2n$) permet un flux de gènes entre sujets de ploïdies différentes (Mc Coy et Bingham, 1988). Le tableau 2, résume les caractéristiques physiques des deux espèces.

Tableau 2 : Distinction entre *Medicago sativa* L. et *Medicago falcata* L.

Espèce	Racines	Port	Tiges	Folioles	Fleurs	Gousses	Graines	Ploïdie
<i>M. sativa</i>	Pivotantes	Dressé	Fortes	Ovoïdes	Violettes (1)	Spiralées	Réniformes	$2n = 4x = 32$
<i>M. falcata</i>	Fasciculées	Étalé	Fines	Étroites	Jaunes	incurvées	Arrondies	A la fois $2n = 4x = 32$ et $2n = 2x = 16$

Sources : Piftzmeyer (1963) ; (1) : certains auteurs parlent de couleur pourpre ou bleue.

La rencontre entre ces deux espèces interfertiles, très proches et la propagation de leurs hybrides ont été assurées par les déplacements des hommes à travers les terres et les continents et leur travail de sélection en fonction de leur besoin et des conditions édaphiques des lieux. Ceci a abouti à la naissance d'une gamme très large d'hybrides que Lesins et Lesins (1979) ont englobé sous le nom de *Medicago x varia* Martyn ou encore *Medicago media*, maintenant connues comme *M. sativa* subsp. *varia*. On parle souvent de complexe *Medicago sativa*. Ces hybrides forment les populations naturelles des pays et des variétés commerciales créées par les sélectionneurs (Mauriès, 2003). Certaines classifications du complexe ont pour base les espèces (Lesins et Lesins, 1979), d'autres, les sous-espèces (Quiros et Bauchan, 1988). Dans le catalogue européen les variétés obtenues par croisement direct entre *M. sativa* et *M. falcata* sont classées sous l'appellation : *Medicago x varia*.

C'est grâce aux caractéristiques introgressées depuis *Medicago falcata* (résistance au froid, présence de tiges stolonifères ou résistance à certains champignons foliaires) que l'aire de culture de la luzerne a pu s'étendre largement vers le Nord (Etats-Unis, Canada et Nord de l'Europe). Aujourd'hui, la majorité des variétés inscrites pour ces zones de cultures possèdent un fond génétique de *Medicago falcata*.

Du fait de ces croisements naturels ou anthropiques entre *M. sativa* et *M. falcata*, les couleurs des fleurs sont très dispersées, elles vont du violet foncé jusqu'au blanc en passant par le mauve, le pourpre, le crème ou le jaune. D'une manière générale, plus on s'éloigne des régions chaudes en se rapprochant des régions tempérées plus froides, plus des caractères de type « *sativa* » cèdent le pas à ceux de type « *falcata* » dans les diverses populations des pays (Piftzenmeyer, 1963).

Selon Suttie (2004), les cultivars du complexe *Medicago sativa* peuvent être classés en quatre groupes selon leur origine et leur vigueur :

- **Le groupe Commun** comprend les types purs *M. sativa* subsp. *sativa*, avec des fleurs pourpres et une vigueur hivernale limitée. Il est représenté par la luzerne commune des Etats-Unis et des genres régionaux d'Europe centrale, d'Argentine, d'Afrique du Sud, de la Nouvelle-Zélande et d'Australie,

- **Le groupe *Turkistan*** comprend des types de *M. sativa* subsp. *sativa*. Leur croissance est plus courte et ils sont plus répandus que le groupe Commun. Ils ont une récupération lente après la coupe, avec un faible rendement en graines, mais ils sont résistants au froid et au flétrissement bactérien,
- **Le groupe «bigarré»** de cultivars, qui a une couleur variée de fleurs et provient probablement d'hybrides entre *M. sativa* subsp. *falcata* et *M. sativa* subsp. *sativa*. La plupart sont résistants au froid,
- **Le groupe à faible dormance automnale** qui est adapté aux journées courtes et à une longue saison de croissance, et caractérisé par un port érigé, il récupère rapidement après une coupe, est sensible au froid et aux maladies foliaires bactériennes. On trouve des genres représentatifs dans plusieurs pays chauds cultivant la luzerne: Egypte, Asie de l'Ouest, Afrique du Nord, Inde, Pérou, et quelques variétés d'Argentine et du Chili.

Concrètement, la très grande majorité des luzernes commerciales cultivées, est issue du complexe *M. sativa*, plus précisément *M. sativa* subsp. *Sativa* qui est pérenne.

2. Notions de luzernes pérennes et de luzernes annuelles

Géographiquement les espèces pérennes et annuelles genre *Medicago* ne se distribuent pas de la même manière. Les espèces annuelles sont cantonnées particulièrement dans la région méditerranéenne, par contre, les espèces pérennes sont à large distribution, se localisent plutôt à l'Est de la méditerranée et principalement au centre et l'Ouest asiatique (**Heyn, 1963**).

Chez les végétaux, certains ne vivent qu'une année (plantes annuelles), parfois deux (plantes biannuelles). Les plantes pluriannuelles peuvent vivre des décennies, voire des siècles (**Gyot, 1962**). En matière de fourrages, la durée du cycle de vie de la plante est importante pour l'éleveur, car elle conditionne le calendrier de production, la gestion des parcelles (notamment, l'assolement et la rotation). En général, la taille de ces végétaux à vie courte reste petite, leurs tissus demeurent plus ou moins mous : On dit que la plante est herbacée (**Gyot, 1962**). La bonne gestion de la luzerne n'échappe pas à la connaissance de la durée de son cycle de vie.

Classiquement, on distingue les luzernes annuelles (communément appelées médics) et les luzernes pérennes (parfois appelée dans la littérature : luzerne cultivée). Le nombre d'espèces que comporte le genre *Medicago* varie selon les auteurs selon l'antériorité de leurs écrits : 55 pour **Lesins et Lesins (1979)**, 83 pour **Small et Jomphe (1989)**. Tous indiquent néanmoins que les espèces annuelles sont dominantes : environ les deux tiers

➤ Les luzernes annuelles

D'après **Lesins et Lesins (1979)**, les espèces du genre *Medicago* les plus anciennes auraient été pérennes, probablement ligneuses, préférentiellement allogames. Par la suite, l'évolution du genre s'est accompagné des modifications morphologiques et biologiques aboutissant à des espèces annuelles ayant des caractères propres. Comme le montre la **figure 4**, les luzernes annuelles sont issues du sous-genre *Spirocarpos*. Elles comptent pour environ les deux tiers de l'ensemble des espèces du genre *Medicago* (**Quiros et Bauchan, 1988 ; Prosperi e tal, 1995 ; Acia, 2012**).

Les luzernes annuelles sont en très grande majorité autogames (contrairement aux pérennes, allogames) de ploïdie $2n = 2x = 16$. L'hybridation interspécifique est validée entre des espèces annuelles comme : *M.ciliaris* et *M.intertexta* ; *M.intertexta* et *M.muricoleptis* (**Lessins et al, 1971**). Bien qu'aujourd'hui diploïdes, ce sont d'anciens autotétraploïdes qui ont évolué en diploïdes (**Lessins et Lessins, 1979**). Par contre, luzernes annuelles et luzernes pérennes ne sont pas interfertiles (**Sangduen et al., 1982 ; Aciá, 2012**).

La richesse des garrigues, maquis ou steppes arides méditerranéennes est avérée en luzernes annuelles autogames, une trentaine d'espèces avec près de 500 populations (**Prosperi et al, 1993**). Pour **Lesins et Lesins (1979)**, si la zone d'origine du genre *Medicago* est le Croissant Fertile, l'ensemble des régions méditerranéennes constitue la zone de diversification principale de ses espèces annuelles.

Le qualitatif de luzerne « annuelle » attribuée à cette luzerne est en rapport avec son court cycle végétatif. En effet, « graine à graine », elle est de 3 à 4 mois, voire 2 mois (avec une forte prolificité : 500 à 1000 graines par pied), suivi du dessèchement de l'appareil végétatif. Le stock de graines laissé sur le sol avec un fort pourcentage de graines dures (dont l'inhibition de la germination est levée petit à petit au cours des années), assure une auto régénération l'année suivante et le cycle se poursuit durant de nombreuses années sans intervention continue de l'Homme. Cette particularité a fait de la luzerne annuelle, un composant de choix dans le système de rotation dit Ley-farming très présent en Australie. La luzerne dite annuelle a donc un comportement de plante pérenne.

Ces luzernes annuelles autogames ont conquis les continents australiens, américains et participent de façon significative au paysage sur le pourtour méditerranéen (**Génier et al, 1992**). L'endémisme des légumineuses de l'Afrique du Nord est de 324 espèces sur 540, soit 60% (**Lambinon, 2003 in Le Houérou, 2006**). Il existe en Australie plus de 20 espèces et 23 cultivars de *Medicago* annuels provenant du bassin méditerranéen et sélectionnées localement (**Le Houérou, 2006**). Cette stratégie a produit dans ce pays, une véritable révolution verte (**Le Houérou, 2005**).

De cette biologie particulière des luzernes annuelles découlent de nombreux avantages :

Agronomiques

- Leur optimum de germination est compris entre 15 à 20°C mais peuvent germer en hiver entre 4 et 25°C. De ce fait, elles ne nécessitent pas d'irrigation et l'exploitation peut commencer au printemps et se poursuivre après formation des gousses en été,
- Leur capacité à se ressemer d'une année à l'autre leur confère une persistance pluriannuelle qui leur donne le caractère de plantes pérennes, adaptée aux aléas climatiques des zones méditerranéennes et un atout pour lutter contre le phénomène d'érosion des sols,
- Elles sont résistantes à des régions semi-arides, se contentant d'un faible à moyenne pluviométrie : entre 250 et 500 mm, grâce à la pilosité de leurs tiges et feuilles (*Medicago truncatula* et *Medicago scutellata* par exemple) qui limite la perte d'eau contrairement à d'autres *Medicago* qui sont entièrement glabres,
- Elles nécessitent peu d'intrants comparativement à la luzerne pérenne,
- En association avec des graminées, ou des céréales, une espèce productive comme *Medicago scutellata*, peut être coupées ou pâturée contrairement au pois ou aux vesces (souvent utilisés en Afrique du Nord) sans altérer ou diminuer fortement leur potentiel de production,

- En tête d'assolement, elles assurent une alimentation azotée à moindre coup à la culture suivante (**Knoden, 2007**). En enherbement des jachères annuelles, des vergers et vignobles : apport d'azote, limite l'érosion des sols, le développement de mauvaises herbes et la compétition avec la culture car disparaissant en été automne ce qui n'est pas le cas pour les luzernes pérennes.

Zootechiques

La première utilisation des luzernes annuelles est la production de fourrage pour nourrir les animaux en augmentant et en étalant l'offre fourragère et en améliorant sa qualité. Dans les zones arides et semi-arides, les luzernes annuelles trouvent leur place essentielle dans l'amélioration des parcours ou des terres marginales pauvres en légumineuses, par sursemis ou par la technique d'enrichissement légères (**Prosperi et Soussana, 1984**).

Mais aussi par leur culture propre car la croissance hivernale reste un de leurs avantages principaux, car c'est à cette période qu'il existe en région méditerranéenne (notamment en Algérie), un déséquilibre important entre l'offre fourragère de la végétation spontanée et les besoins des troupeaux, notamment en élevage extensif.

En Australie, la luzerne annuelle est utilisée comme auto resemis annuel dans le système semis-extensifs de pâturage-jachère-céréale. La plupart des espèces conviennent au pâturage. Mais, quelques espèces plus érigées comme *M. orbicularis* et *M. scutellata* sont fauchées pour le foin (**Mauriés, 2003**).

Comme modèle de recherches

C'est une luzerne annuelle : *Medicago truncatula* qui a été choisie par la communauté scientifique internationale comme un modèle d'études pour étudier notamment le mécanisme de la fixation symbiotique d'azote (**Hamon, 2001**). *Medicago truncatula* présente des caractéristiques permettant et facilitant les analyses génétiques et moléculaires : autogamie, faible niveau de ploïdie, génome de petite taille (**tableau 1**). Mais aussi, aptitude à la culture en laboratoire, à l'embryogénèse somatique et à la transgénèse ; ainsi qu'une bonne aptitude à entrer en symbiose avec la bactérie *Rhizobium meliloti*, généralement utilisée pour les études portant sur cette spécificité des légumineuses.

Par ailleurs, en conditions contrôlées le temps de génération de « graine à graine » est relativement court (10 à 12 semaines) et une production importante (chaque plante produit 500 à 1000 graines), ce qui assure une disponibilité rapide du matériel végétal. De même, son mode de reproduction est principalement autogame, si bien que les individus sont généralement homozygotes (**Pierre, 2008**). Le National Center for Genome Resources des Etats-Unis et la Samuel Roberts Noble Foundation ont publié 14 634 séquences de gènes exprimés chez la luzerne modèle, *Medicago truncatula*.

➤ Les luzernes pérennes

Selon **Prosperi et al (1993)**, une vingtaine d'espèces de luzernes pérennes allogames ont été recensées dans les garrigues méditerranéennes. Elles sont très souvent rampantes ou prostrées avec un feuillage persistant ou caduc, telle que *Medicago suffruticosa ssp. Leiocarpa* qui perd ses feuilles l'été pour résister à la sécheresse.

La luzerne vivace, ou pérenne *Medicago sativa* L., ou encore luzerne cultivée, du sous genre *Medicago* et de la section *Falcarae*, est l'une des plantes la plus répandue sur tous les continents. Elle est présente à peu près sous toutes les latitudes, depuis les régions équatoriales jusqu'aux abords du cercle arctique. Elle trouve, cependant, son plus grand développement dans les zones tempérées chaudes : Etats Unis, Europe, Amérique du Sud, Asie, Australie, Japon, Nouvelle Zélande et l'Afrique du Sud.

Entre 40 et 90 fois séculaire en tant que plante cultivée. C'est une plante dressée pérenne à racines profondes (peut atteindre 3 à 5 m) avec, généralement des tiges érigées qui proviennent d'une couronne de bourgeons qui assurent les repousses après chaque coupe. C'est le fourrage le plus important dans le monde et un aliment de haute qualité pour toutes les catégories d'animaux (y compris les volailles sous forme de farine). En conditions favorables, c'est le fourrage de légumineuse le plus productif et occupe le premier rang comme légumineuse fourragère cultivée (**Mauriès, 2003**).

Contrairement aux luzernes annuelles (dont le concept de « pérennité » peut être nuancé), le qualificatif de « pérenne » est bien adapté à la luzerne cultivée. Même si, la durée de vie de la plante ou celle de la luzernière varie d'une espèce à l'autre et du mode de conduite de la luzernière, elle est de 3 à 5 ans couramment, voire de 8 ans parfois. L'entrée en exploitation et la dernière fauche avant l'entrée en dormance hivernale ainsi que le stade d'exploitation peuvent allonger ou raccourcir la durée de vie de la luzernière même s'il s'agit d'un cultivar performant (**Mauriès, 1994 ; 2003**).

Les luzernes pérennes appartiennent au complexe *M. sativa*, regroupant des sous-espèces apparentées. De ce fait, elles peuvent s'hybrider entre elles. Celle la plus cultivée est le *M. sativa* ssp. *sativa*, et à moindre degré, la sous-espèce *falcata*. Cette dernière est préférée dans les régions froides. Outre ces deux sous espèces, le complexe comprend aussi, les sous-espèces : *x tunetana*, *x polychroa*, *glutinosa*, *coerulea*, *x varia*, et *x hemicycla* de ploïdie différente (**Quiros et Bauchan, 1988**). Deux espèces apparentées : *M. prostrata* et le *M. glomerata* (présentes en Afrique du Nord mais pas aux USA) peuvent être considérées comme capables d'hybridation naturelle avec le *M. Sativa* (**Quiros et Bauchan, 1988**). Le *M. glomerata* est généralement considéré comme un des parents de la sous-espèce *x tunetana*, qui pousse en Afrique du Nord (**Lesins et Lesins, 1979**).

Avec trois niveaux de ploïdie, la luzerne pérenne est une espèce allogame entomophile stricte (la fleur ne libère aucun pollen pouvant être emporté par le vent). Elle est pollinisée par un petit nombre d'espèces d'insectes, parmi lesquelles, principalement des abeilles avec une particularité que la visite d'une fleur de luzerne par une abeille, déclenche un mécanisme par lequel le stigmate vient se loger dans le sillon de l'étendard. Une nouvelle pollinisation devient alors impossible. Le mécanisme étant irréversible, chaque fleur de luzerne est donc pollinisée une seule fois et par un seul insecte (**ACIA, 2012**). Peu d'espèces d'abeilles peuvent polliniser avantageusement la luzerne, notamment en production semencière. Les plus efficaces sont : *Megachile rotundata*, l'*Apis mellifera* (l'abeille domestique) et *Nomia melanderi* (l'abeille des terres alcalines). La luzerne cultivée est, en effet, connue pour être une excellente plante mellifère. Ce sont essentiellement les abeilles solitaires terricoles et les bourdons qui assurent la pollinisation de la luzerne porte-graine (**Villenave-Chasset, 2014**).

Le type « entomophile » de la reproduction fait que la diversité génétique est plus forte chez la luzerne pérenne que chez la luzerne annuelle, plutôt autogame. En effet, le flux de gènes, plus intense, est assuré à la fois par le pollen et par les graines. Dans les champs modernes de luzerne pérenne, où toutes les variétés sont synthétiques, il n'est pas possible de contrôler les croisements (**Ronfort et al, 2005**).

La pollinisation croisée s'effectue librement entre la luzerne cultivée et tous les autres taxons du complexe de *M. sativa* (La sous-espèce *x varia* est, en fait, un hybride entre les sous-espèces *sativa* et *falcata*). Les croisements par pollinisation artificielle entre la luzerne cultivée *M. sativa* et les taxons du complexe *sativa* sont laborieusement possibles mais pas toujours couronnés de succès comme le montre les résultats du **tableau 3** tirés de **Mc Coy et Bingham (1988)** et de **Quiros et Bauchan (1988)**.

Tableau 3 : Compatibilité de reproduction entre la luzerne cultivée et d'autres espèces du genre *Medicago* (synthèse à partir de **Mc Coy et Bingham, 1988 ; Quiros et Bauchan 1988)**

Espèces	Observations
<i>M.pironae</i>	Réussi mais avec un 3 ^{ème} croisement
<i>M.papillosa</i>	Réussi avec anomalies de chromosomes
<i>M.dzhawakhetica</i>	Réussi après manipulations génétiques
<i>M.marina</i>	Hybrides mais pas de fleur
<i>M.hybrida</i>	Réussi avec cultures ovules et embryon
<i>M.lupulina</i>	Non réussi
<i>M.arborea</i>	Hybrides viables mais étonnant
<i>M.scutellata</i>	Obtention d'un hybride stérile
<i>M.glomerata</i>	Réussi
<i>M.prostrata</i>	Réussi
<i>M.cancellata</i>	Réussi : <i>M. Cancellata</i> est Hexaploïde
<i>M.rhodopea</i>	Réussi avec ploïdie aberrante
<i>M.rupestris</i>	Non réussi
<i>M.saxatilis</i>	Réussi mais pas de graine
<i>M.daghestanica</i>	Réussi mais pas de graine

Selon ACIA (2012), il n'est pas certain que dans la nature, ces réussites auraient été acquises. Cette autorité pense que dans les champs, les probables flux de gènes venant de la luzerne cultivée ne toucheraient donc que les autres taxons du complexe *M. sativa* comme: *x tunetana*, *x polychroa*, *glutinosa*, *coerulea*, *x varia*, et *x hemicycla*. En particuliers, deux espèces étroitement apparentées comme, le *M. prostrata* (qui possèdent à la fois des types $2n=2x=16$ et des types $2n = 4x = 32$) et le *M. glomerata* ($2n = 2x = 16$) semblent pouvoir être visées au champ par des flux de gènes des variétés de *M. sativa*. Ainsi, on a pu produire naturellement des graines hybrides viables, après union entre gamètes de même ploïdie. Ces hybrides ont, cependant, une fertilité affaiblie (**Mc Coy et Bingham, 1988**).

Avantages agronomiques et de développement durable

Medicago sativa est bien adapté à la plupart des environnements, elle est répandue dans le monde entier. En Algérie sa culture, encore peu développée à grande échelle, attend son heure. Cette grande aire d'adaptation est favorisée par certaines caractéristiques de la plante comme : sa diversité génétique interspécifique et intra-spécifique dont celle liée à la longueur du cycle végétatif, son cycle vivace, sa capacité de survivre à des températures hivernales aussi basses que 2°C (**McKenzie et al, 1988 ; Scheider et Huyghe, 2015**).

Bien conduite, sa pérennité est de 4 à 5 ans. Intégrée dans une rotation, c'est un excellent précédent cultural. Il a un effet positif sur la structure du sol en le décompactant et laisse un reliquat d'azote

important pour la culture suivante. La luzerne pérenne est donc une excellente tête d'assolement (**Knoden, 2007**).

-Les luzernes pérennes sont aussi de véritables « laboureurs » quasi gratuits : leurs racines, très denses, descendant à plusieurs mètres de profondeur, ameublissent le sol mieux et de manière plus durable que les machines perfectionnées (**Pascal et al, 2016**),

-La luzerne est un bon indicateur de développement durable, en couvrant le sol toute l'année, en respectant la faune grâce à sa quasi-absence de traitements phytosanitaires, en évitant l'érosion des sols. En fleurissant de mai à septembre, elle est la meilleure amie des papillons, abeilles et autres orthoptères. Cette "aménité" a été reconnue par l'ONU qui a décerné à la luzerne en 2010 le label de l'année internationale de la biodiversité,

Une plante épuratrice des nitrates en excès dans le sol. C'est aussi une plante rustique qui reçoit très peu de pesticides (moins d'un traitement par an en moyenne). Étouffe les adventices, héberge des auxiliaires prédateurs des parasites des cultures voisines.

Les recherches biotechnologiques

La luzerne (*Medicago sativa*) a fait l'objet de transgénèses, par exemple pour exprimer une enzyme (Mn-superoxyde dismutase cDNA) visant à réduire sa vulnérabilité au stress hydrique par une meilleure résistance au stress oxydatif, certaines variétés anciennes exprimant déjà naturellement un caractère similaire. D'autres expériences visaient à la rendre plus résistante au gel, par modification de l'ADN mitochondriale des chloroplastes, tout en leur conférant éventuellement une meilleure tolérance aux herbicides de type diphényle-éther ou Acifluorfen ou encore une meilleure tolérance à l'aluminium qui est un phytotoxique pour de nombreuses plantes sur des sols acides ou certains sols pollués (**FAO, 2002**).

Des luzernes génétiquement modifiées, pour produire moins de lignine et plus de matières azotées, entraînant une meilleure valeur nutritionnelle pour l'animal sont créées : exemple de *M. sativa* L.6328P.

Néanmoins, quelques fragilités de conduite de la culture

Après la pollinisation, il faut quatre à six semaines de bonnes conditions de croissance pour que les graines mûrissent. Une alimentation hydrique trop importante entraîne de la verse et des repousses à partir de la base, qui entrent en concurrence avec les premières tiges. A contrario, un déficit hydrique pendant la floraison ou la fructification entraîne une interruption de la floraison, l'avortement des fleurs et des gousses, ainsi qu'une grande proportion de graines malformées. La production de luzerne semence est donc dépendante de facteurs climatiques tel que la pluviométrie (**Boissière, 2010**). A cet effet, la production commerciale de semences se fait donc surtout dans des zones où les pluies de fin de saison sont rares. La première année d'installation est toujours difficile à exploiter faute d'enracinement profond.

➤ Différences morphologiques entre luzernes pérennes et luzernes annuelles

Il existe une très grande variabilité génétique dans la morphologie et l'anatomie des différentes populations de luzernes. Toutefois, à la germination et la levée chez les deux types de luzernes vont d'abord émerger deux cotylédons, la première feuille est trifoliée, la germination est épigée, les feuilles suivantes sont composées de trois folioles rattachées à la tige par un pétiole, dites trifoliées (**Mauriès, 1994 ; Mauriès, 2003**).

On distingue plusieurs stades successifs chez les deux types de luzernes :

- Le stade végétatif : quand la luzerne n'a que des tiges et des feuilles,
- Les stades bouton : quand apparaissent les boutons floraux,
- Le stade floraison : quand les boutons s'ouvrent,
- Les stades : formation des graines et de maturation des graines.

Le **tableau 4** fait la synthèse des principales différences entre les deux types de luzernes (appareil végétatif et autres).

Tableau 4 : Quelques variables botaniques distinguant la luzerne pérenne de la luzerne annuelle (résumé à partir de Mc Comb, 1974 ; Clark, 2004 ; Semental, 2010)

Variables	Luzernes Pérennes	Luzernes annuelles
Tiges	Mince, pleine ou creuse taille 60-100 cm	Tiges courtes avec des ramifications longues et pleines de 30-100cm à section ronde ou anguleuse. Elles ont une surface lisse ou poilue.
Feuilles	Feuilles abondantes. Chaque feuille a trois lobes qui sont deux ou trois fois plus longs que larges, et dentés à la pointe, la forme des lobes varie de longue et étroite à ovale, la tige du lobe central est nettement plus longue que celle des lobes latéraux.	-- Feuilles abondantes, sont trifoliées et pétiolées, les folioles ont différentes formes, obovales, larges et dentées. La feuille centrale est plus grande que les deux latérales. La morphologie des feuilles caractérisent les espèces chez les medics -- Parfois, portent des taches brunes pigmentsanthocyaniques), dont la forme caractérise l'espèce. Ont un limbe mince parfois poilu des deux faces. Les stipules sont courtes -- L'hypocotyle peut atteindre 10 à 15 mm et est légèrement violacé -- Les feuilles sont alternes, avec une base simple, munie parfois de stipules entières, aigues.
Fleurs	Généralement violettes ou bleues, parfois jaunes ou blanches, 10 à 20 fleurs groupées au bout d'une tige florale.	Fleurs petites, jaunes, groupées en grappes par 2-10 ou plus sur un pédoncule très court. Floraison : mars-juin.
Gousses	En forme de spirale ou décroissant, graine en forme de haricot, la graine fraîche est jaune à jaune verdâtre.	<ul style="list-style-type: none"> • Gousses cylindriques, subsphériques, glanduleuses, épineuses, à enroulement lâche (1-11 spires). Chaque spire a 2 rangs d'épines divergentes. Il existe plusieurs espèces suivant la forme des gousses. Une gousse peut contenir de 1 à 28 graines selon l'espèce. • Graine en forme de haricot, la graine est jaune à jaune verdâtre ou brun foncé. Le tégument dur responsable de la dormance.
Racines	quatre sortes : racine pivotante, racines latérales, rhizome ou racines traçantes.	racine pivotante, racines latérales
Divers	<p>-- Petites dents à l'extrémité des folioles; tige plus longue pour la foliole central que pour les deux autres</p> <p>--port dressé avec risque de verse.</p> <p>Cependant la fragilité de son collet fait de cette luzerne essentiellement une plante de fauche, en irrigué elle peut donner 6 à 9 coupes</p>	<p>➤ Abondance de feuilles; forme des feuilles selon l'espèce avec parfois présence des taches ou de poiles. Le port soit érigé ou semi-érigé.</p> <p>➤ C'est des espèces de pâturage, en fauche elles peuvent donner maximum deux coupes.</p> <p>➤ Recommandés pour le maintien les sols érosifs.</p> <p>--</p> <p>Pousse rapide et vigoureuse, couverture rapide du sol, évite développement des adventices. Le semis est au printemps: avant le 15 avril, une quantité en eau de 25 mm peut produire 1 tonne de matière sèche par hectare. Les besoins en températures, semer lorsque le sol est à 10°C, se développe entre 15 et 25°, tolère des températures de 0°C ; gélive en dessous de -3°C mais des températures >30°C retardent la germination. Offre une à deux exploitations pas plus. Adaptée aux semis directs. Le stade de floraison est atteint à 55 /65 jours en moyenne avec un potentiel de rendement en conditions sèches : 2,5 tonnes, conditions favorables : 4,5 tonnes.</p>

3. La dormance des graines

Au cours de son développement aboutissant à sa maturité, la graine acquiert la capacité à germer afin de perpétuer l'espèce. Mais en parallèle, elle peut mettre en place un système physiologique transitoire (attendant des conditions optimales pour germer) de blocage de la germination appelé dormance (notons que les graines des essences des forêts tropicales humides sont peu concernées par la dormance des graines). La dormance d'une semence mature se définit donc, comme : l'inaptitude à germer lorsque toutes les conditions de l'environnement devraient apparemment, permettre cette germination (**Côme, 1982 ; Koornneef et al., 2002**).

La dormance des graines est un phénomène biologique très complexe et multifactoriel qui englobe, les conditions pédoclimatiques et l'environnement écologique dans lesquels la plante mère a grandi et

produit la semence. **Côme(1993)** et **Baskin et Baskin(1998)** distinguent plusieurs catégories de facteurs qui interviennent dans la dormance des graines :

Facteurs génétiques propres : le genre, l'espèce, la variété, la taille ou le poids des semences, couleur des graines ; parfois, ces caractères peuvent en varier pour une même variété. Par exemple, pour un même pied de luzerne, les graines peuvent avoir des couleurs, des poids différents,

Facteurs avant récolte : concernent les conditions pédoclimatiques et celles de la maturation, des graines ; la position des semences sur la plante mère ; l'âge de la plante mère ; sous exposition à la lumière (toutes les plantes d'une luzernière ne profitent pas des mêmes bienfaits de l'environnement y compris des soins qu'apporte l'homme),

Facteurs de la récolte : stade de maturité de la graine, date de récolte, température de l'air,

Facteurs post récolte : les différents traitements (séchage, triage, nettoyage) que subissent les semences peuvent avoir des effets négatifs sur le pouvoir germinatif ; les conditions de conservation des graines et la durée de conservation (**Côme, 1993**),

Facteurs de la germination : eau, lumière, oxygène, température...

Mais, plus précisément, c'est la résultante combinée de toutes ces influences qui rend possible ou pas la germination. En outre, en plein champs, d'autres facteurs s'y rajoutent : profondeur de semis, pH du milieu...

Bien que **Lang et al (1987)** aient répertoriés 54 types de dormance, **Baskin et Baskin(2004)**, plus concrètement, en distinguent cinq principaux qui coexistent parfois dans une même graine :

1. La dormance tégumentaire ou physique (ou encore exogène) qui est liée à une imperméabilité des graines à l'eau, causée par la présence d'une enveloppe tégumentaire de la graine infranchissable par l'eau. La dormance tégumentaire comporte deux sous types :

- La dormance tégumentaire chimique. Elle est produite par le fruit qui entoure la graine avant que celle-ci ne se dissémine. Le fruit, contient, en effet, des substances inhibitrices de la germination qui ne s'élimineront qu'avec la disparition du fruit (pourriture, consommation par l'homme ou les animaux...). Outre cette première barrière à la germination, de la graine, une autre s'érige au niveau des téguments de la graine dont beaucoup contiennent de l'acide abscissique qui entretient la dormance en s'opposant à la germination. Dans ces conditions, la graine ne peut germer que si le tégument est détruit ou si l'action de l'acide abscissique est inhibée par GAs par exemple. Chez les plantes à photosensibilité négative (20% des plantes qui ne germent pas en présence de lumière), la présence de phytochromes dans les téguments peuvent initier la dormance tégumentaire chimique tout comme des composés phénoliques.
- La dormance mécanique. Dans ce type de dormance, la graine peut être imbibée suite à une scarification, mais c'est l'enveloppe épaisse, coriace, souvent cutinisée, de la graine s'oppose mécaniquement à la sortie de la radicule. C'est le cas des semences de *Tilia cordata* (Tilleul européen) qui présentent à la fois une imperméabilité physique du tégument et une profonde dormance physiologique.

Ces deux sous types de dormances, de la dormance exogène, peuvent cohabiter dans la même graine et peuvent passer inaperçus car un même traitement peut à la fois ramollir les téguments et parallèlement éliminer les substances inhibitrices. C'est le cas du traitement à la chaleur humide (**Tableau 22**).

2. La dormance physiologique (ou endogène), est la forme la plus répandue. Elle résulte de la mise en cause de un ou plusieurs mécanismes physiologiques en lien avec l'embryon et qui inhibent l'émergence de la radicule,

3. La dormance morphologique est due à la présence d'un embryon immature en termes de taille de développement,

4. La dormance morfo-physiologique qui combine la dormance morphologique et physiologique,

5. La dormance physique-physiologique, combine dormance tégumentaire et dormance physiologique. La levée de la dormance de la graine exige que celle des deux types de dormance le soit. Mais, il est logique de penser que dans la plupart des cas, la dormance physique est levée en premier.

Il existe d'autres types de dormance qui ne rentrent pas dans la classification de **Baskin et Baskin** qui résultent des jeux d'inhibition de l'acide abscissique et de stimulation des gibbérellines. On parle de dormance chimique.

Par ailleurs, le classement précédent établi par **Nikolaeva (1977 in Baskin et Baskin, 2004)**, était plus dense (une douzaine de types de dormance) ; l'auteur distinguait de nombreuses combinaisons possibles entre types paires de dormances.

La dormance physiologique est contrôlée par un mécanisme génétique animé par deux hormones végétales antagonistes : l'acide abscissique (ABA) qui induit et maintient la dormance et les gibbérellines (GAs) qui stimulent la germination. Les graines dormantes sont donc caractérisées par une teneur élevée en ABA (**Baskin et Baskin, 2004 ; Kucera et al, 2006**) ce qui se traduit par un étalement important de la germination. Cet étalement de la germination n'est pas un avantage chez les plantes cultivées, il constitue un réel problème agronomique en termes de synchronisation des levées au champ et donc des récoltes mécanisées (bien que l'importance écologique de la dormance soit indispensable pour la perpétuation des espèces). En initiant la production de GAs, on peut donc stimuler la germination (**Rezvani et al, 2014**).

3.2. La levée des dormances

Depuis des millions d'années, pour perpétuer son espèce, face aux changements de son environnement, l'espèce végétale n'a cessé de se modifier pour s'y adapter. Aujourd'hui, chaque espèce végétale a ses propres critères de levée de dormance.

Après la récolte des graines et durant la conservation à sec (after-ripening), la levée de dormance naturellement peut se produire (surtout pour les céréales). De même, en réponse au froid de l'hiver pour les graines restées dans le sol. Mais, lorsqu'elle existe et présente un désavantage agronomique (besoin d'une uniformisation ou d'une synchronisation de la germination notamment pour les besoins de la mécanisation, contrôle du climat..), la dormance peut être artificiellement levée par l'homme par un traitement aux froid humide (ou stratification) qui mime les conditions hivernales ou par des traitements chimiques, mécaniques, physiques ou hormonaux. On sait que la dormance est localisée, soit dans l'embryon de la graine, on parle de dormance embryonnaire ou dormance physiologique (ou encore endogène), soit dans les enveloppes de la graine, on parle alors de dormance tégumentaire ou dormance physique (ou encore exogène) ou leurs combinaisons. Les tentatives de lever la dormance, viseront tout à fait logiquement, ces cibles.

Crosaz, 1995, parlant de traitement des graines, relève que celles des légumineuses et des graines des arbres fruitiers et forestières (dormance très répandue), ont été les plus expérimentées et que déjà, **Verschaffelt, en 1912** avait testés une trentaine de produit (acides et alcools divers, éther, chloroforme, acétone, ...) sur 41 espèces de légumineuses et que l'acide sulfurique concentré avait été utilisé dès **1902**. De nombreux autres produits ont été testés : Le thiocarbamide, nitrate de potassium ; Acetylsalicylic acid ; thiocarbamide (**Farajollahi et al, 2014**), chlorure de sodium comme

prétraitement de la luzerne dans les sols salins (**Farissi et al, 2016**). De même, les semences d'*Ulex parviflorus* Pourret conservent un bon pouvoir germinatif (69 à 92 %) après un traitement de 150°C humide pendant 5 minutes (**Ballini, 1992**), ce qui explique que de telles espèces résistent bien au passage du feu. Par contre, pour d'autres espèces, une élévation ou une diminution de quelques degrés peut totalement inhiber la germination. Ce même mécanisme explique pourquoi **l'altitude influence** la germination des semences: **Dorne (1977)**.

Le tableau 5 (non exhaustif), résumé à partir de : **FAO, 1992 ; Crosaz, 1995 ; Farajollahi et al, 2014 ; Guerrouje et al, (2015) ; Farissi et al, 2016, Greffer.net, (2017)**), présente les principaux produits et facteurs utilisés pour lever la dormance des graines.

Tableau 5. Principales méthodes de scarifications des graines

Types méthodes	Modalités	Action
Physiques	Agression des téguments et des enveloppes : manuelle, mécanique	Fragiliser ces barrières pour faciliter l'entrée de l'eau
Trempage dans l'eau	Plus efficace en succession : humidification - séchage	Fragilisation du tégument, lessiver des facteurs inhibiteurs
Chimiques	Divers acides : citrique, gibbérellique, chlorhydrique... dont le plus courant : l'acide sulfurique. Des sels et bases : NaCl, KNO ₃ , NaOH... Acétone, alcools éthylique, xylène méthylique, éther, chloroforme	Fragiliser le tégument mais si mal conduit, peut détruire la graine. Manipulations dangereuses.
Biologiques	Au stade artisanal, récolte de semences dans les bouses de ruminants et autres herbivores	Action combinant : chaleur, enzymes, digestives, bactéries sur les téguments et début d'imbibition
Chaleur sèche	Feu de bois (expérience requise) ou étuves, suivi de trempage dans de l'eau	Fragilise tégument : graines à enveloppe épaisse et coriace
Chaleur humide	Trempage l'eau bouillante ou coupée avec de l'eau froide : T° 100 à 70°C	Ramollissement des téguments, peut lever des dormances embryonnaires
Froid extrême	Azote liquide (-196°C) ; Air liquide (-190°C) ; Neige carbonique (-80°C)	Choc thermique violent provoquant des craquelures sur le tégument
Froid de congélation	Plus efficace par chocs thermiques successifs en alternant congélation-décongélation	Action globale : téguments, embryon
Froid de réfrigération	Réfrigérateur pour les petites quantités, chambre froide : vernalisation	Action globale : téguments, embryon
Stratification à froid	Naturellement dans le sol (hiver), chambre froide, en strates, c'est la vernalisation	Action globale: téguments, embryon
Pression atmosphérique	Entre 500-2000 atmosphères. mais long : 1 mois	Action globale : téguments, embryon
Rayons X, gamma, spectres rouges des rayons lumineux, ondes sonores à haute fréquence	A titre expérimental en laboratoire n'est pas utilisable. Résultats insatisfaisants.	Provoquerait des actions mutagènes et des anomalies chromosomiques sur les graines traitées
Existent dans les pays du Sud de nombreuses autres méthodes empiriques	Inspirées des mêmes principes : feu, séjour des graines enfoui dans des trous, trempage, séjour dans un emballage de feuilles d'arbres spécifiques ...	Action globale

3.3. La germination des graines

L'homme empiriquement depuis toujours savait que pour germer, la graine a besoin de certaines conditions. Avec la domestication des plantes, il y a 9000 -10000 ans, au fil du temps, il a appris à fournir aux semences, les conditions optimales pour qu'elles germent. L'exigence en eau, en oxygène et en température adéquate est un préalable (**Corbineau, 2017**). La germination des graines, tout comme la dormance, est un phénomène biologique très complexe et multifactoriel. Très schématiquement, la graine qui a germé est celle qui, a levé (si c'était nécessaire) tous les facteurs de la dormance (sa vie ralentie).

En 1957, **Evenari** propose comme définition : la germination est un processus dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule. Cette définition a été adoptée par la communauté scientifique. Aujourd'hui, de façon plus approfondie, (En résumé des travaux de (**Hedden et Phillips, 2000 ; Bove et al, 2001 ; Rajjou et al, 2004 ; Wojtyla et al, 2006**) on en distingue deux phases :

La phase 1, correspond à l'imbibition de la graine qui déclenche alors, une forte consommation d'oxygène entraînant la mise en marche d'une intense activité métabolique : respiration, réactivation des gènes, transcription, traduction, synthèses protéiques et de nombreux autres composants. Cette phase est importante car c'est l'imperméabilité des enveloppes à l'eau, donc à l'imbibition qui justifie le plus souvent les traitements des graines.

La phase 2, correspond à la croissance de l'embryon aboutissant à la sortie de la radicule (appelé aussi « germination stricto sensu »). Une phase 3 est souvent citée elle explique la croissance de la radicule et la levée des cotylédons.

La germination est sous le contrôle de deux hormones végétales majeures :

L'acide abscissique (ABA) qui a un effet inhibiteur sur la germination et donc induit et maintient la dormance et les gibbérellines (GAs) qui stimulent la germination (et en général la croissance des plantes) en contrecarrant, l'action de l'ABA. Ainsi, il a été montré que des graines issues de plantes **mutantes** GAs-déficientes, sont incapables de germer sans l'apport de GAs exogène (**Groot et Karssen, 1987**). De même, la germination peut être bloquée par le paclobutrazol. Cette molécule réprime la voie de biosynthèse des gibbérellines en bloquant l'activité de l'ent-kaurène oxydase qui est une **enzyme** clé de la biosynthèse des gibbérellines. Ce faisant, l'absence de GAs entraîne pour la graine, la perte de sa capacité à germer et son entrée en dormance (**Groot et Karssen, 1987 ; Rajjou et al, 2004**).

Une troisième hormone végétale, l'éthylène, intervient dans la régulation de la dormance et de la germination des graines. L'éthylène interrompt la dormance et / ou stimule la germination des graines de nombreuses espèces en diminuant la sensibilité de la graine à l'ABA endogène (**Matilla, 2000 ; Steffens et al, 2006**). Cette interférence de l'éthylène avec l'ABA pour favoriser la germination est indiquée également par **Beaudoin et al (2000)** et **Ghassemian et al(2000)**.

4. Evolution de la qualité des luzernes avec l'organogénèse

La qualité de la luzerne peut se mesurer à sa productivité, l'adéquation de son développement dans des conditions pédoclimatiques données avec les besoins de l'éleveur pour nourrir son cheptel, sa valeur énergétique et azotée, et son ingestibilité. L'expression : « qualité de la luzerne à l'auge » nous semble plus appropriée comme variable de sélection car pour le foin de luzerne, les pertes en feuilles durant la fenaison peuvent être conséquentes. Chez les deux luzernes l'évolution de la composition chimique des tiges et l'évolution de la composition morphologique de la plante avec l'âge vont entraîner des modifications de la composition chimique de la plante. Ainsi, les tiges seront plus pauvres que les feuilles, en matières azotées, plus riches en cellulose brute. Il en résulte que, le rapport feuilles sur tiges évolue avec l'âge de la plante ainsi que la composition chimique. Durant un cycle, la digestibilité de la plante varie en sens inverse ($R = - 0,87$) du degré de lignification (**Jarrige, 1981**). Cela explique,

pourquoi, la qualité de la luzerne a souvent été corrélée aux stades phénologiques des plantes ou à l'âge des repousses (FAO, 2001 ; Mauriès, 1994 ; Mauriès, 2003).

Toutefois, à stade végétatif comparable, la valeur alimentaire des luzernes annuelles est supérieure à celle des luzernes pérennes grâce à l'abondance des feuilles et à la finesse des tiges (Semental, 2010).

Chez les espèces annuelles durant la période sèche, de Juin à Octobre, les gousses constituent une alimentation disponible pour les animaux. Les luzernes annuelles sursemées peuvent être pâturées à l'automne après la récolte des cultures de rente (SAREP, 2013) : céréales par exemple.

Néanmoins, la digestibilité de la luzerne est correcte (65 à 70%) sans plus. Mais, sa forte productivité et sa richesse en protéine compensent ce petit inconvénient. La lignine étant le facteur négatif premier de la digestibilité, le génie génétique et la sélection devrait dans le futur puiser encore dans le potentiel de la luzerne.

L'idéal serait de pouvoir améliorer la digestibilité de la luzerne, sans compromettre ses autres composants agronomiques et nutritionnels. Ainsi, des programmes visant à comprendre les bases génétiques de la digestibilité ont été élaborés. Ils ont porté : (1) sur les méthodes de mesure, (2) sur la variabilité entre cultivars et à l'intérieur des cultivars, (3) sur les corrélations entre digestibilité et autres paramètres agronomiques, (4) sur l'hérédité de la digestibilité, (5) sur les caractéristiques histologiques explicatives de la digestibilité des tiges (Julier *et al.*, 2003).

Par ailleurs, selon Baumont (1998), les facteurs alimentaires prédominent par rapport aux facteurs génétiques chez l'animal. Ainsi, une génétique défavorable chez l'animal peut être partiellement compensée par une bonne alimentation.

Chapitre 7. La luzerne en Algérie

1. L'endémicité de la luzerne en Algérie

La flore Algérienne est extrêmement riche en diverse espèces spontanées, 3139 espèces sont décrites par Quezel et Santa (1962). Parmi toutes les espèces présentes en Algérie, les légumineuses herbacées consommées par les animaux à elles seules sont représentées par 33 genres renfermant environ 293 espèces (Issolah et Beloued, 2005). Le Houérou (2006), lui, avance le chiffre de 51 genres et de 440 espèces dont 16 espèces de luzernes. L'espèce la plus répandue est *Medicago polymorpha* dont environ 200 populations sont connues (Abdelguerfi et Chapot, 1989).

L'histoire de la luzerne en Algérie n'est pas déconnectée de celle de l'élevage en général et de la culture fourragère en particuliers. Chabani (2013), citant St Hilaire (1919), rapporte que durant la colonisation française, l'élevage des ruminants était une activité dévoué aux « indigènes ». Les européens n'ont pas investi ce secteur considérant « qu'il était impossible de lutter économiquement avec l'élevage indigène traditionnel ». Le partage de cette activité s'est fait sur la base : l'indigène, seul producteur, l'européen seul transformateur ». Les préoccupations françaises étant les grandes cultures (terres en grande partie récupérées sur les prairies naturelles existantes), l'amélioration des races locales, une meilleure utilisation des surfaces fourragères naturelles et la lutte contre les épizooties. La culture fourragère était peu pratiquée sauf dans les stations de recherche et de formation. L'élevage laitier pratiqué par quelques colons, l'était dans le Nord, à proximité des grandes villes où étaient implantées probablement quelques luzernières et cultures fourragères du pays (A part celles des Oasis).

Néanmoins, des prospections sur le genre *Medicago* étaient effectuées par des botanistes. Ainsi, en 1873, **Urban** (*in* **Trabut, 1914**) était en particulier frappé par le caractère stolonifère et rhizomateux des racines de *M. gaetula* qui lui assurait une résistance appréciable aux conditions du sol et du climat difficiles.

Pour **Chevalais (1902, in** **Trabut, 1914)** : Créateur en 1905 de l'école d'agriculture de Maison Carrée devenue INA, puis ENSA, la luzerne cultivée *M. sativa* L., n'était pas spontanée en Algérie. Les deux formes spontanées courantes sont *M. gaetula* Urban et *M. tunetana* Murbeck. **Trabut et Lemaire (1922)**, précise que le *M. sativa* L. rencontré à l'état endémique en Algérie, était en réalité un hybride de *M. gaetula* et de *M. falcata*. Plus tard, **Trabut (1935)** confirmera le non endémicité de *M. sativa* L., mais indique que celui rencontré serait plus vraisemblablement un hybride entre *M. sativa* et *M. gaetula*. Nous noterons que *M. sativa* et *M. falcata* appartiennent tous deux à la sous section *Falcatae* (**voir figure 3**).

Plus récemment, **Lesins et Lesins (1979)** mentionnent en effet, plusieurs de ces taxa en Afrique du Nord et notamment en Algérie : *M. sativa ssp tunetana*, *M. sativa ssp faurei* et *M. sativa ssp gaetula*. Leur distribution se situe plus particulièrement dans les régions montagneuses. Encore plus récemment, **Le Houérou (1987)** et **Le Houérou (2006)**, revisitant **Trabut (1914)**, voient en *M. gaetula* cette espèce à fleurs jaunes ou panachées à racines stolonifères et rhizomateuses, très connue dans les jardins de Batna, une parente intéressante dans des programmes d'hybridation en vue de créer des variétés rustiques pour le pâturage en zone semi-aride et subhumide. De même, En 1955 **Whyte et al (1955)** préconisaient déjà, la création d'un type pastoral de luzerne pérenne à port couché et à comportement rhizomateux.

2. La luzerne en Algérie avant l'indépendance

Nous n'avons pas trouvé de date précise du début de la culture de la luzerne en Algérie. Il faut, cependant, noter que **Trabut (1914)**, avait observé des cultures de luzerne dans la région de Sétif et dans la plupart des Oasis. Mais **St Hilaire (1919)** était plus nuancé sur la question par ses propos : « L'indigène est un pitoyable éleveur, aucune culture n'est pratiquée pour pallier les périodes de disettes. La culture de l'herbe pour nourrir les animaux, n'est pas une pratique de l'élevage indigène ». On se déplace, là où il y a de l'herbe

Ducelier et Laumont en 1935, parlent d'une surface en culture de 2700 ha couverte essentiellement par la variété française « Provence » (qui est à l'origine de la plupart des luzernes cultivées en Afrique du Sud par exemple). Mais ils n'indiquent pas si la contribution des luzernières oasiennes était décomptée dans ce chiffre, logiquement non, l'auteur parlait préférentiellement de la variété « Provence ».

C'est avec la création en 1905 de l'école d'agriculture de Maison Carrée (Aujourd'hui, ENSA) que la recherche sur les fourrages en général et la luzerne en particulier s'est activée sur différents sites du pays, afin de tester, la capacité d'adaptation de variétés de luzernes étrangères à la diversité des conditions pédoclimatiques du pays. Parallèlement, des essais beaucoup plus timides de domestication de populations endémiques étaient menés, mais nous n'avons pas trouvé des données à ce sujet. Ces recherches étaient menées pour les besoins de l'enseignement supérieur et dans la continuité des programmes officiels français de recherche sur les fourrages.

Ducelier et Laumont (1935) synthétisent ainsi la situation de la luzerne dans le pays (mais il s'agit en très grande partie de résultats de la recherche sur la question) : « Il existe de nombreuses espèces spontanées de luzerne en Algérie. Des essais nombreux de domestication ont été tentés tout comme l'introduction de variétés étrangères. Parmi celles-ci, la Luzerne ordinaire (*M.sativa*) notamment la variété Provence est la plus cultivée. La valeur de variétés américaines (Arizona, Hardigan) ou Russes (Turkestan, notamment) a été reconnue comparable à la variété française Provence. Une même luzerne peut rester sur le même sol durant 8 à 10 ans si elle est conduite en irrigation. Le rendement est de 25 à 55 tonnes de fourrage vert à l'hectare ».

Ces recherches ont portées sur l'acclimatation des variétés étrangères de luzerne pérenne et leur caractéristiques phénologiques. On peut distinguer globalement deux grandes périodes ; celle des années 40 avec les travaux du Professeur Laumont et de son assistant Monsieur Laby et celle des années 50 jusqu'en 1958 avec ceux du professeur **Couranjou** qui, en outre, en a fait la synthèse. Globalement sans exhaustivité, l'essentiel des travaux réalisées sur la luzerne pérenne en Algérie, un peu avant 1940 et ce, jusqu'à la fin des années 50, sont consignés dans deux brochures du professeur **Laumont (1941)** : « La Luzerne et sa culture en Algérie » et trois publications de **Couranjou en 1965** (**Couranjou, 1965**^{a ; b ; c}) peu après l'indépendance.

Ces travaux sont menés par le centre d'expérimentation de Maison Carrée, entre les années 40 et 1958.

Les luzernes dont l'acclimatation et le comportement phénologiques ont été étudiés sont pérennes et toutes étrangères à l'Algérie, elles provenaient :

- Du bassin méditerranéen variétés : *Egypte, Provence, Libye, Demnate* (Sud du Maroc),
- De l'Amérique du Nord (variété *Arizona*),
- Du Turkestan (variété *Turkestan*),
- De France (variétés : *du Puits, Poitou, Marais* et diverses *Flamandes* (*W.268, Flandria, Chartrainvilliers et Socheville*)).

Pour mieux discriminer les différences entre variétés, des essais comparatifs ont été réalisés durant plusieurs années dans trois stations à conditions pédoclimatiques différentes :

1. La station de l'école d'agriculture de « Maison Carrée » était située dans la zone littorale algéroise : hivers doux, pluviométrie est abondante sur l'ensemble de l'année (600 - 700 mm en, moyenne) mais faible au printemps et presque nulle en été,

2. La station de Sétif, située en altitude dans les hautes plaines Telliennes constantinoises, se trouve dans une zone à hivers froids (mois le plus froid : janvier 4-5°C), température estivale comparable à celle de Maison Carrée. La pluviométrie est moyenne (406 mm, un peu moins rare en été).

3. La station de Sidi-Bel-Abbès dans les plaines de l'Atlas tellien : hivers peu froids (moyenne de janvier 9°C), la température estivale étant en moyenne aussi forte qu'à Maison Carrée. La pluviométrie est moyenne (400 mm mais plus réduite en été que les deux autres stations).

Dans les trois Stations, les cultures ont été menées respectivement en culture sèche et en culture irriguée. Les irrigations étaient fortes à Sidi-Bel-Abbès, bonnes à Maison Carrée, plus réduites à Sétif.

Conclusion : Il apparaît clairement que la luzerne en Algérie avant l'indépendance était essentiellement axée sur l'acclimatation de variétés étrangères aux conditions pédoclimatiques du

pays. Les espèces locales ont certes été prospectées mais plus dans un but de connaissance de la flore algérienne que d'en tirer des richesses agronomiques. La luzerne pérenne a été la cible principale.

3. La luzerne en Algérie après l'indépendance

➤ Acclimatation de variétés étrangères dans les zones littorales

Après l'indépendance, la volonté politique, de développer l'élevage en général et en particulier l'élevage laitier pour alimenter les grandes villes, a très grandement incité les éleveurs à pratiquer la culture fourragère (notamment dans le secteur socialiste des années 60-70-début 80), si l'on en juge par l'évolution des surfaces couvertes par les fourrages.

Les expériences d'acclimatation de variétés étrangères ont été reprises et intensifiées (suite des travaux de **Laumont** et de **Couranjou** dans les années 40-50) jusqu'à ce jour (dernière en date, une variété Italienne : Triade). Une compilation non exhaustive des archives et publications des chercheurs de l'INA, l'INRAA, l'IDGC, ITELV, Université de OUARGLA montre qu'une trentaine de variétés de luzernes étrangères ont subi des essais d'acclimatation dans le pays. Mais, seulement un très petit nombre appartenant au type pérenne sont cultivées (Au nord des variétés françaises, Australienne et Italienne : Exquise, Rachel, Triade, Marina, Julia. Au sud des variétés Américaines Moapa, Italienne et des variétés originaires de l'Arabie Saoudite mais à un rythme extrêmement timide. Ainsi, sur la période 1966/1967 : Luzerne pour foin : 4700 ha, 1500 pour le vert soit 6200 ha sur une totalité de fourrages cultivés de l'époque de 61000 ha (**Statistique MADR**). En 2012, 45 ans plus tard, la luzerne occupait une superficie de 10000 ha sur 640000 ha de fourrages cultivés (**Si Ziani, 2012**), soit un facteur multiplicatif respectif de 1.6 et de 10.5. En 2016, la superficie occupait par la luzerne était de 4 222 ha (**Statistique MADR**). Il est clair que la culture de la luzerne est marginale en Algérie, sa progression n'est pas significative (**Abdelguerfi et Bedrani, 1997**).

Ces rares luzernières sont constituées essentiellement de luzernes pérennes. En Algérie en culture sèche, la luzerne pérenne arrête de croître avec l'arrivée des grandes chaleurs, mais d'avril à juillet, la production de vert ou mieux de foin peut se révéler encourageante (**Bouchetata, 1969**). Cependant, la fragilité de son collet fait de la luzerne pérenne, essentiellement une plante de fauche, même si la pâture est pratiquée sur les repousses de fin d'été. Dans ce cas, les éleveurs savent qu'il faut le faire avec précaution, car elle est très météorisant (**Villax, 1963 ; Knoden, 2007**). La première année (année d'installation) les plants sont fragiles, la racine peu développée est facile à arracher.

La production de variétés australienne de *Medicago* annuels : *M.scutellata* cv snail ; *M.litoralis* cv Harbiger ; *M.truncatula* cv Jemalong ; *M.rugosa* cv Paragosa ; *M.tornata* cv Tornafield ont été étudiées par **Kadra et Adem (1980)**, en zones littorales à El Asnam, El Khémis et Hamam Bou Hajer (Altitude <200 m, pluviométrie > 320mm). Les résultats n'ont pas été concluants (**Adem, 1989**). En effet, ces variétés australiennes n'ont pu s'adapter à nos conditions pédoclimatiques, notamment la température plus froide de nos hivers (**Zeghida, 1987 ; Guckert et al, 2003**). Elles semblent mieux convenir à des altitudes ne dépassant pas 600 m. En Algérie, la zone semi-aride est principalement située sur les Hauts Plateaux à une altitude voisine de 1000 mètres. Le climat hivernal y est beaucoup plus froid que dans la zone céréalière de l'Australie du Sud. La pérennité du système luzernes annuelles-céréales exige une adaptabilité parfaite des espèces, variétés ou populations aux conditions pédoclimatiques qui les reçoivent.

➤ **Investigations sur les hauts plateaux**

Parallèlement à ces expériences d'acclimatation de luzernes pérennes, sont menées des recherches sur les hauts plateaux en vue d'une meilleure intégration céréaliculture-élevage. La création de pâturages annuels de *Medicago* aux dépens de la jachère (3 millions d'hectares), improductive (moins de 250 UF/ha contre 1500 possibles), a débuté **dès octobre 1972**. Le système du Ley-farming en Algérie avait commencé. Malheureusement, après quelques années d'études, bien que concluantes, ces recherches n'ont pas été poursuivies au-delà de 1978 (**Abdelguerfi et Abdelguerfi-Berrekia, 1987**).

➤ **Investigations dans les Oasis**

La luzerne pérenne est particulièrement bien représentée et cultivée. Dès le 19^{ème} siècle, les premiers explorateurs français ont signalé la présence de luzernières dans les oasis.

Au vu de constats de terrain, si au Nord et dans les hauts plateaux, depuis 50 ans la luzerne n'a pu s'installer dans le paysage agricole du pays, ni contribuer à la résorption de la jachère par le système de rotation céréale-luzerne, ni à augmenter significativement la culture de cette plante dans la sphère fourragère comme elle le mérite, ni à la création de variétés de luzernes adaptées aux conditions pédoclimatiques très diversifiées du pays, dans les régions sahariennes, la luzerne est la principale espèce fourragère cultivée : 25% des fourrages cultivés contre seulement 0.37 à 0.71% au niveau national.

Outre les « variétés » locales, supports de ce développement obtenu par les oasisiens : In-salah, Temacine, Chott, Ghardaïa, El-Meniaa, Timimoun, Aoulef ; sont introduites des variétés étrangères : Gabès 2355 (Tunisie), 3210 (France), Magali 3376 (France), Lodi (Italie), Romaniola (Italie), Moapa (USA). Ces variétés ou populations locales, arrivent à égaler et parfois à dépasser largement, pour certains caractères, ces variétés étrangères (**Bouaboub-Moussab, 2001 ; Chaabena et Abdelguerfi, 2001 ; Chaabena et al, 2004**).

Par exemple, en moyenne, pour le rapport feuille/tige frais, les populations locales s'instaurent à 1.62 contre 1.96 pour les variétés étrangères. Pour le nombre de coupes/an, c'est la population d'Aoulef qui se distingue : 12 coupes suivies de celle de Ghardaïa et la variété Magali 3376 avec 11 coupes puis El Meniaa avec 10 coupes.

Les variétés : Aoulef, Lodi, Chott, In Salah, El-Meniaa, Magali, 3376 et Tamacine sont à port dressé tandis que, les variétés : Timimoune, 3210, Gabès 2355 et Ghardaïa sont à port étalé. Temacine et In Salah sont des variétés tardives avec un poids de 1000 grains élevé contrairement à Aoulef et El Meniaa qui sont précoces avec un poids de 1000 grains faibles (**Chaabena et Abdelguerfi, 2001**).

On notera que, tant en nombre de coupes par an, en teneur en matières azotées et en rapport feuilles / tiges, les populations d'El Meniaa, de Ghardaïa, d'Aoulef donnent de sérieuses réponses aux variétés étrangères introduites.

Néanmoins, l'**ITGC**, se félicite de l'utilisation par les éleveurs de variétés locales adaptées, même si des problèmes subsistent. Ainsi, selon cet institut : -- Méconnaissance du matériel génétique local -- Nécessité de nettoyer la semence souvent infestée de cuscutes (*Cuscuta* spp.) pouvant provenir de la contamination de la semence à travers l'eau d'irrigation, le fumier d'animaux au pâturage et d'autres moyens mécaniques de transmission, --Nécessité d'une certification des semences.

Par ailleurs, la vigilance s'impose pour ces variétés oasiennes stabilisées et bien adaptées aux conditions locales. Il conviendrait de les enregistrer et de les conserver, avant qu'elles ne soient polluées par des flux de gènes venant des variétés étrangères introduites.

Enfin, *Medicago arborea* espèce locale, est utilisée dans l'aménagement des parcours pastoraux et la lutte contre la désertification (**Baga, 2016**).

4. Synthèse de la recherche sur le genre *Medicago* annuels et pérennes en Algérie

En dehors du Sud où la recherche empirique des agriculteurs et éleveurs s'est cantonnée sur des luzernes pérennes plus indiquées compte tenu de l'environnement avec le succès que l'on connaît. Au Nord, des expériences sur l'acclimatation des variétés étrangères introduites ont représenté, l'essentiel des investigations sur les luzernes pérennes. Aussi, nous insisterons plus particulièrement dans ce chapitre sur les recherches touchant les luzernes annuelles.

En effet, suite aux résultats mitigés du Ley farming initié avec des variétés australiennes, la volonté de mieux explorer les populations locales endémiques s'est installée dans les esprits. L'objectif étant toujours la résorption de la jachère mais avec des variétés de luzernes annuelles bien adaptées, issues des populations locales endémiques.

Munie de cette forte nouvelle orientation, dès le début des années 70, la recherche algérienne s'est investie dans la prospection, la collecte et l'identification des espèces, l'étude de leur comportement, leur autoécologie et leur caractéristiques phénologiques. Le maître d'œuvre principal de ces investigations était l'INA. Au Sud, les mêmes recherches ont débuté dans les années 90 avec la création de l'Université de Ouargla et en son sein l'Institut d'Agronomie. Néanmoins, le modèle d'étude de l'INA plus centré sur la luzerne annuelle, y a été transféré tel quel (Prospection, collecte identification des espèces, autoécologie, comportement, caractéristiques phénologiques comparées à des variétés étrangères). Alors que les problématiques étaient différentes. Les éleveurs chercheurs du Sud avaient déjà créé des « variétés » de luzerne pérennes, connues, productives et appréciées. La production de semences était également effective. L'ITGC a même parlé de possibilités de certification.

Très globalement, on observe donc une partition du territoire, selon que l'on s'adresse aux espèces pérennes ou annuelles. Pour les premières, la recherche se concentre principalement au Sud et pour les deuxièmes au Nord (littoral, hauts plateaux et plaines) où l'objectif est plus ancré sur le développement de la rotation blé/céréale.

Les hautes plaines céréalières étant situées à plus de 750 m d'altitude, les chercheurs ont commencé à prospecter à cette altitude, afin d'examiner les potentialités des écotypes locaux de *Medicago* (**Adem, 1974**). Une première prospection et collecte de populations locales de luzernes annuelles ont été entamées en 1971/1972 (**Abdelguerfi, 1989**). Puis s'en est suivi une autre entre mars et juillet 1973. Pour chaque site prospecté : l'altitude, la topographie, la pluviométrie, la structure du sol, la vocation des terres et le matériel végétal récolté ont été consignés ; les échantillonnages du sol ont permis de déterminer la texture du sol, la teneur, en sodium, en phosphore, le calcaire actif et le pH. Ces relevés devaient permettre de décrire l'habitat des espèces annuelles de *Medicago* (**Adem, 1974**).

Parallèlement, l'ITGC a fait une prospection au mois de juin 1973, une étude du comportement de 132 écotypes du genre *Medicago* s'en est suivi, selon un nombre de critères restreint : précocité et rendement (**Adem, 1974**).

En 1976, la collection a été élargie à 717 écotypes issus de prospection en Algérie et au Moyen-Orient. Ces écotypes ont été testés à Ain El Hajer (1050 m d'altitude, 450 mm de pluie). Les critères de sélection étaient la vigueur hivernale (**Adem, 1989**).

Ces prospections dont le but était de réunir un matériel génétique présentant une variabilité génétique la plus ample possible ; se sont effectuées sur les jachères, les mises en défens, les bas fonds d'oued, les milieux steppiques (**Adem, 1974**). Elle a permis une étude écologique des luzernes annuelles, la distribution des espèces en fonction du climat particulièrement la pluviométrie et enfin de dégager les caractères édaphiques des sols où se rencontre ces écotypes.

Le nombre de critères retenu était volontairement restreint : précocité et rendement la première étude de comportement de populations issues de la prospection de mars et juillet 1973 a lieu en station à Beni Sliman (plus de 750 m d'altitude) (**Adem, 1989**). Puis la collection et les tests ont été élargis sur plusieurs sites et avec plusieurs d'autres paramètres biométriques.

Ce programme a été performant dans les années 70, 80 et 90 durant lesquelles, une série d'études a été réalisée sur les populations de luzernes annuelles spontanées algériennes, notamment : leur comportement vis-à-vis des différents environnements (**Conesa et al, 1974 ; Adem, 1974**) et leur autoécologie (**Abdelguerfi, 1976**).

Néanmoins, les "prospections" continuaient récemment, **Boulaacheb et al (2006)** a identifié *M.sativa* L. à Djebel Megriss, au Nord de Sétif dans des champs et des broussailles ainsi que deux espèces annuelles (*M.hispida* et *M.orbicularis* L.). Dans une autre prospection végétale dans le Djebel Youcef et le Djebel Zdim au Sud de Sétif, **Chermat et al (2006)** ont recensé *M.sativa* L. ainsi que huit espèces de luzernes annuelles (*M.hispida*, *M.minima*, *M.tuberculata*, *M.laciniata*, *M.secondiflora*, *M.intertexta*, *M.tribuloides*).

Les résultats sont conséquents :

- Ces prospections et inventaires, effectués en Algérie, montrent la grande diversité des espèces de luzernes annuelles rencontrées dans différents milieux. La distribution des espèces pérennes est différente de celle des espèces annuelles. Les pérennes sont spontanées sur les plateaux et cultivées dans les oasis. Selon **Abdelguerfi (1994)**, en Algérie, il est très fréquent de rencontrer des souches spontanées de *M.gaetala*. Cette espèce est très fréquente à l'Est du pays surtout en région d'altitude (Sétif, Constantinois...). Il est reconnaissable par son port rampant et par son système racinaire rhizomateux. Déjà en 1873, Urban cité par **Trabut, 1914** en avait observé du côté de Batna.

Les premiers essais de comportement ont mis en évidence une grande variabilité du potentiel de production existant à l'intérieur des espèces annuelles (**Adem, 1974 ; Chapotet al, 1975 ; Abdelguerfi, 1976 ; 1978**). Les pérennes ont été peu travaillées dans le Nord, mais plutôt dans le Sud.

- **Le Houérou (2006)** avance le chiffre de 51 genres et 440 espèces de légumineuses dont 16 espèces de luzernes annuelles qui sont consommées par les animaux. La grande variation du milieu fait que pour chaque espèce palatable, il existe un grand nombre d'écotypes dont la variabilité constitue un matériel de choix pour la sélection et la création de variétés adaptées aux conditions diverses.

- Toutes ces prospections et collectes montrent que, l'Algérie dispose d'un haut potentiel de variabilité génétique qui constitue une réserve et une assurance préservant le potentiel de création de variétés nouvelles, pour un futur imprévisible (**Chehat, 1988**). Les résultats mitigés obtenus avec les variétés étrangères introduites, doivent nous inciter à créer nos propres variétés à partir de nos espèces locales, chacune dans son milieu le plus approprié (**Khelifi et al, 2006**).

- A l'institut technique d'élevage Bovin et Ovin, ferme expérimentale du lac Fezara, deux populations de l'espèce *M. polymorpha* et quatre populations de l'espèce *M. ciliaris* ont fait l'objet d'étude comportementale (cycle de végétations, sensibilité aux limaces, rendement en MV et MS et gousse).

- **Abdelguerfi**, à l'institut national agronomique, a identifié de nombreuses espèces sur le territoire national, regroupant de nombreuses populations et écotypes qui ont fait l'objet de plusieurs études biométriques dans différents étages bioclimatique du pays à travers l'encadrement d'étudiants depuis **1975**. Leur fréquence en Algérie (**Tableau 6**) a été calculée par **Zeghida (1986)**.

L'autoécologie de neuf espèces de *Medicago* étudiés récemment sur 564 sites basé sur 16 variables montre que l'espèce *M. polymorpha* était présente sur presque tous les sites visités à raisons de 93% ; *M. truncatula* (54%) ; *M. orbicularis* (53%) ; *M. aculeata* (39%) ; *M. ciliaris* (24%) et *M. minima* (8%). Par contre, *M. arabica*, *M. rugosa* et *M. soleirili* sont des espèces très rares en Algérie (**Abdelguerfi et al, 2006**).

L'Algérie est un des pays méditerranéens, si ce n'est le seul qui présente les fréquences de présence de *M. intertextata* et de *M. ciliaris* aussi élevées : respectivement 39% et 8%, comparé aux autres régions de la méditerranée occidentale où les fréquences varient entre 0 et 6% (**Proserpi et al, 1991** in **Abdelguarfi-Louar, 2005**).

Tableau 6 : Fréquence des principales espèces de luzernes annuelles en Algérie (Zeghida, 1986)

Espèces (202 sites)	% de présence	Espèces (56sites)	% de présence
<i>M. polymorpha</i>	93	<i>M. polymorpha</i>	68
<i>M. truncatula</i>	54	<i>M. truncatula</i>	64
<i>M. orbicularis</i>	53	<i>M. orbicularis</i>	39
<i>M. ciliaris</i>	39	<i>M. minima</i>	26
<i>M. minima</i>	24	<i>M. aculeata</i>	23
<i>M. intertextata</i>	8	<i>M. ciliaris</i>	11
<i>M. murex</i>	7	<i>M. secundiflora</i>	9
<i>M. scutellata</i>	5	<i>M. scutellata</i>	5
<i>M. littoralis</i>	4	<i>M. rigidula</i>	5
<i>M. secundiflora</i>	3	<i>M. littoralis</i>	4
<i>M. tornata</i>	3	<i>M. rugosa</i>	4
<i>M. rigidula</i>	1.5		
<i>M. laciniata</i>	1.5		
<i>M. rugosa</i>	1.5		
<i>M. soleirolii</i>	1.5		
<i>M. arabica</i>	1.0		

La distribution des espèces est discriminée par la pluviométrie et à un degré moindre par l'altitude et la texture du sol (**Hassen et al, 1996**). Les résultats des essais de comportement des luzernes annuelles locales ont montré un fort degré de salissement des parcelles et une faible compétitivité des espèces

avec les mauvaises herbes. Toutefois, certaines ont eu un comportement remarquable. Il s'agit surtout d'espèces à grosse graine : *M. ciliaris* une bonne levée et un bon développement même dans les sols mal structurés. Pour ces dernières espèces à grosses graines, des bons résultats sont obtenus, expliqués par leurs importantes réserves. Le problème de la densité de semis s'est posé surtout chez le cultivar Australien Jemalong semé à 100 graines par m². Il avait une faible vigueur et donnait des rendements médiocres (Adem, 1974). Il faudrait déterminer la dose de semis pour chaque espèce.

5. Stratégie possible d'utilisation de la luzerne en Algérie

En Algérie, tous les plans successifs de développement agricole, depuis 50 ans, exhortent à la résorption de la jachère. Le lancement du Plan National de Développement agricole (PNDA) en 2000 n'échappe pas à cette constante, avec la différence que désormais, les agriculteurs disposeraient d'aides incitatives pour mettre en culture la jachère.

En effet, un système traditionnel agricole basé sur le triptyque : blé-jachère-élevage (apporté par les romains il y a près de 300 ans AJC) amène le pays à garder chaque année, une proportion de terre en jachère élevée. En 1980, elle avoisinait 3 millions d'hectares (MADR, 1981), soit 43% de la surface agricole réservée aux cultures herbacées. En 2000, cette proportion n'avait pas significativement diminué puisque, Bedrani *et al.* (2001), l'estimaient autour de 40%, chiffre qui est de nouveau avancé en 2012 par le MADR (MADR, 2012), bien qu'il note qu'elle a diminué de 11% depuis 2000. Cette dernière date correspond, en effet, à celle du lancement du PNDA. (Plan national de développement agricole) et ses extensions à partir de 2008-2009 : PNDAR (Plan national de développement agricole et rural) et PRAR (Politique de renouveau agricole et rural). Le PNDA et ses extensions ont permis une forte croissance de l'agriculture algérienne, les autorités averties parlent de 6% entre 2000 et 2008 et de 8.3% entre 2010 et 2014 (FAO, 2012 ; MADR, 2012). Néanmoins, cette croissance agricole inédite, n'a fait résorber la jachère qu'à la marge (11%) et reste autour de 40% de la SAU (MADR, 2012).

Des études sérieuses, notamment celles du CIMMY en 1972 avait montré qu'à l'image de la belle réussite de la rotation blé-luzerne en Australie, que le système Ley farming était le plus approprié pour résorber la jachère avec trois atouts de poids :

- Augmentation de la production de blé diminuant ainsi la dépendance du marché international pour son approvisionnement,
- Augmentation de la production d'unité fourragère (jusqu'à 1500/ha) contribuant ainsi à effacer le déficit de 10 Milliards d'UF que subit le pays,
- Potentiel de doublement de la superficie susceptible d'être occupée par des herbacées, puisque la jachère en occupe plus de 40%.

Des examens critiques de ce système ont été faits tout comme des propositions de mieux utiliser la jachère. Ainsi, sur des terres épuisées par des récoltes successives de céréales, on peut avantageusement cultiver une légumineuse fourragère à croissance rapide (Whyte *et al.*, 1955). De même, ces derniers auteurs rapportent que, dans certaines régions méditerranéennes, caractérisées par des hivers pluvieux et des étés secs, l'année de jachère intercalée entre deux cultures céréalières est de plus en plus occupée par des légumineuses à grains notamment des genres *Vicia*, *Cicer*, *Lathyrus*, *Lens* et *Pisum*, qui sont récoltées pour le grain et la paille, plus riches en matières azotées que les pailles de céréale (8-9 % en moyenne contre 3-4%). Van Swinderen (1973), dans les Aurès, indiquait que

l'introduction de légumineuses dans l'assolement permettrait de fournir 300 à 1500 UF/hadeculture. D'autres autorités, à la lumière de travaux de recherche et de l'évolution de techniques culturales, appellent à reconsidérer la place réservée à la jachère (Essafi, 1964 ; Perrier, 1970 ; CIMMYT, 1975). Ceci est d'autant plus pertinent que, dans la pratique, la jachère est souvent pâturée tardivement ; ce qui lui fait perdre en grande partie ses justifications. Par ailleurs, Hamrit (1995) dans un travail bien documenté fait la synthèse des solutions possibles.

Depuis les années 50, l'exemple de l'Australie méridionale, a toujours retenu l'attention de ceux qui souhaitent voir évoluer le système jachère-céréale vers plus de performance agricole (Puckridge et French, 1983 ; Gintzburger, 1984). L'Algérie a d'ailleurs en 1972 officiellement missionné le CIMMYT (rapport publié en 1975) pour étudier le sujet. Le transfert du système australien en Algérie a été acté.

Ce sont en effet, les agriculteurs australiens, de l'Australie méridionale, qui dès les années 30, ont pratiqué la rotation : luzerne-céréale et ont ainsi trouvé une réponse positive à la baisse des rendements des céréales, à l'érosion des sols qui était observée et au besoin de diversifier la production agricole en développant l'élevage. Le système de rotation luzerne-céréale-élevage est devenu la base de la production de viande et de céréales en Australie Méridionale (Chatterton et Chatterton, 1990). Le schéma de production est le suivant (Tableau 6).

Tableau 7 : Schéma de rotation luzerne-céréale souvent utilisé en Australie (Chatterton et Chatterton, 1990).

Année 1	
Automne	Ensemencement des pâturages de luzerne
Hiver et printemps	pâturages des prairies de luzerne
Printemps	Production de graines
Été	Pacage du bétail sur les graines et les résidus secs de luzerne
Année 2	
Automne	Semis des céréales. Certaines graines de luzerne germent et sont détruites par la culture et les herbicides utilisés contre l'envahissement des céréales par les adventices
Hiver et printemps	Croissance des céréales : la luzerne de l'année précédente a satisfait la plus grande partie des besoins d'azote
Été	Moisson des céréales, les chaumes sert de nouveau de pâture
Année 3	
Automne	Germination des graines de luzerne à partir de celles dormantes produites en année 1 et maintenant rendues viables par suite de l'alternance des températures diurne et nocturne durant deux étés.
Hiver et printemps	Pacage du bétail
Printemps	Production de nouvelles graines. Le cycle se répète au cours des années suivantes.

Pour information, les variétés de luzernes utilisées dans ces rotations en Australie, sont issues de prospections effectuées par les chercheurs australiens principalement dans les Pays du Bassin Méditerranéen dont l'Algérie (Les luzernes annuelles n'existant pas à l'état spontané en Australie). Puis, des essais de comportement et d'adaptation menés sur ces populations récoltées ont permis à l'Australie de créer des variétés s'adaptant aux diverses conditions pédoclimatiques notamment de l'Australie du Sud et répondant aux besoins des éleveurs locaux (Adem, 1977 ; Silsbury et al, 1979 ; Crawford, 1981 ; Puckridge et French, 1983). Les « variétés » : *M.scutellata* cv Snail ; *M.litoralis* cv

Habiger ; *M.truncatula* cv Jemalong ; *M.rugosa* cv Paragosa ; *M.tornata* cv Tornafeld, en sont des exemples.

Il existe en Australie plus de 20 espèces et 23 cultivars de *Medicago* annuelles originaires du bassin méditerranéen et sélectionnées localement (**Le Houérou, 2006**). Cette stratégie a produit une véritable révolution verte dans le pays (**Le Houérou, 2005**) et a contribué grandement à la place actuelle de l'Australie dans le concert mondial de céréaliers et de producteurs de viande, notamment ovine. Ces luzernes possèdent une proportion de graines dures, dont la germination s'étale dans le temps, assurant ainsi la régénération par auto-régénération et la pérennité du système (**Quinlivan, 1971 ; Maatougui, 1987**).

Le modèle australien a beaucoup inspiré les pays du Proche Orient et de l'Afrique du Nord. Ainsi en Algérie, dès les premières années de l'indépendance, l'intensification de l'agriculture et la résorption de la jachère en zone semi-aride notamment, constituent une constante des décideurs dans tous les programmes successifs de développement agricole y compris le PNDA.

La logique de cette démarche de résorption de la jachère est toute simple : la jachère résorbée, fera presque doubler la SAU totale cultivée (**Abbas et Abdelguerfi, 2005**). Il convient donc de concevoir des systèmes de cultures, modernes, plus intensifs, qui assurent le maintien, voire une amélioration de la fertilité des sols (améliorant le rendement des céréales) et une plus grande efficacité de l'intégration de l'élevage à la céréaliculture (**Hengten, 1970 ; Gachet et Elmir, 1972 ; Chapot et al., 1974 ; Chapot et al., 1975 ; Rapport IDGC, 1980 ; Chatterton et Chatterton, 1990**) ; réitération de l'IDGC en 1993 (**ITGC-ITEBO-ICARDA, 1993**), PNDA en 2000 et ses extensions à partir de 2008-2009 : PNDAR et PRAR.

Le système préconisé pour l'Algérie est le Ley Farming¹, système de rotation céréales-luzerne qui a fait la fortune agricole de l'Australie. Ce système, réussi, devrait contribuer à l'intensification de la production céréalière et ovine, permettant à la steppe d'être protégée contre le surpâturage et participant ainsi à la lutte contre la désertification.

➤ **Avantage de l'association**

Elles sont nombreuses :

- Améliorer la structure du sol et réduction de l'érosion,
- Enrichissement direct du sol en Azote (entre 50 et 300 kg/an : gain en intrants pour la céréale qui succédera à la luzerne : économie d'engrais). La luzerne elle-même, riche en protéines est un profit pour la nutrition animale,
- Une grande proportion des éléments nutritifs prélevés du sol par la luzerne font un retour au sol par les excréta des animaux (urines et fèces) laissés lors de la pâture,
- Augmentation de la charge ovine à l'hectare : le gain total de poids obtenu peut atteindre 400 kg/ha de luzerne pâturé (exemple donné dans les conditions tunisiennes), sans compter la valeur de la laine (**Gachet, 1979**),

¹Ley est un terme utilisé en Angleterre pour désigner une prairie temporaire. Par extension, Le Ley farming signifie l'introduction de prairies temporaires dans une rotation de cultures céréalières. L'association la plus connue est celle de la Luzerne annuelle (mais une autre plante peut être utilisée) avec les céréales également annuelles. Une fois implantée, la luzerne se régénère par réensemencement.

- Augmentation de la quantité totale de protéines produite à l'ha : végétales (blé) et animales (densité augmentée à l'hectare) par l'amélioration sensible des rendements respectifs de ces deux spéculations,
- Diminution du coût des opérations culturales : faible quantité de semis. En plus, ce dernier est réalisé une fois ; puis, l'auto régénération prend la suite,
- Rendement en céréales au minimum égal à une précédente jachère la 1^{ère} année de luzerne mais forte augmentation en 2^{ème} année de luzerne (régénération). Il en est de même pour la production de MS de luzerne : 3,4 T/ha en 1^{ère} année, 7,23 T/ha en 2^{ème} année de régénération (**Dahmane, 1982**).

➤ Mais la pérennisation du système est fragile

La première expérience de l'éleveur doit être très encadrée par les techniciens ayant eux-mêmes du savoir-faire concret sur le terrain compte tenu de la délicatesse du système pour des éleveurs pratiquant depuis toujours le système traditionnel. L'éleveur a ses habitudes et sa conviction propre ce qui est respectable, souvent :

- Il n'est pas demandeur d'une intensification agricole et il croit à l'action bénéfique de la jachère (pâturée ou labourée),
- La jachère est un élément de tampon pouvant changer de destination selon les anticipations climatiques de l'éleveur,

Pour lui faire adopter le système, il faut le convaincre et lui apporter des aides (financières et conseils techniques pour l'assurer en cas de premier échec).

Le système en lui-même est fragile pour la raison simple qu'il est basé sur : la régénération spontanée annuelle de la luzerne semée pour pouvoir pérenniser le système. La moindre défaillance à ce premier stade peut conduire à l'échec et voire le retrait de l'éleveur. Tout ce qui peut favoriser la régénération est un gage de succès du système :

- Un labour trop profond pour la préparation de la phase blé, peut hypothéquer la réussite de cette régénération. Mais l'agriculteur souvent croit à l'action bénéfique du labour profond (accumulation d'eau et "repos" du sol) sur le rendement en blé ; cependant, bon nombre d'auteurs proches du terrain ont nuancé cette croyance : **Perrier** en Algérie, **Dahmane** en Tunisie. Par ailleurs, souvent le matériel lui permettant un travail adéquat n'est pas disponible,
- Un pâturage de la luzerne durant la phase floraison et de la formation des graines, diminue la quantité de graine produite, gage de la régénération,
- Le sous dosage lors du semis de la luzerne ou l'absence d'animaux pour pâturer peut hypothéquer le rendement en blé l'année suivante par développement des adventices,
- Certains agriculteurs n'ont pas d'animaux et ont l'habitude de louer leur terre en jachère aux éleveurs pratiquant la transhumance. On a remarqué en Tunisie que les agriculteurs qui ont adopté le Ley farming, louent leur pâturage de luzerne, 10 fois plus élevé que sur jachère. Mais le surpâturage qui s'en suit peut hypothéquer la réussite de la céréale qui suit (**Dahmane, 1982**).
- Cette interface que constitue la jachère, permet une navigation opportuniste rassurante pour l'agriculteur : elle peut renforcer l'option « céréale » par un labour précoce, en cas de pluie de printemps suffisante (jachère travaillée), comme elle peut renforcer l'option « élevage » la jachère devenant un pâturage en cas de sécheresse (jachère pâturée).

2. Quelle démarche pour des créations variétales

Le but de la sélection est de fournir à l'homme pour son usage et à son profit, le matériel végétal le plus performant à un moment de l'année et dans des conditions pédoclimatiques données. Cette démarche régit le couple homme – plante - animal depuis 10 000 ans. D'abord empirique puis scientifique, elle a touché la quasi-totalité des animaux et des végétaux utiles à l'homme. La luzerne, n'a pas été épargnée. Néanmoins, le constat est que la luzerne pérenne a davantage bénéficié de la recherche, débouchant sur la création variétale et la production de semences. Faut-il croire que la luzerne annuelle n'apporte pas à l'homme la somme d'utilité qu'il attend d'elle ? Non, puisque certains pays (Australie, Nouvelle-Zélande), en ont fait leur fourrage roi.

En Algérie, malgré les étapes déjà franchies : prospection, collection, études d'autoécologie, phénologiques et la masse d'informations diverses recueillies sur ses espèces endémiques, ces travaux n'ont abouti ni à l'utilisation à grande échelle d'une espèce, une population ou un écotype, ni sur la création variétale.

L'idée était pertinente pour trois raisons principales :

- Bon nombre de variétés australiennes qui font actuellement le bonheur des éleveurs ont des parents algériens,
- A termes, le problème de la dépendance en semences serait résolu,
- La luzerne annuelle est un atout reconnu pour résorber la jachère.

L'adaptation des espèces et des variétés utilisées aux conditions du milieu constitue une des bases importantes de la pérennité du système luzernes annuelles-céréales. En conséquence, le matériel végétal doit être sélectionné *in situ*. Cela demandera la mise au point de cultivars de luzernes annuelles adaptés spécifiquement aux différentes régions concernées (**Abdelguerfi-Laouar, 2005**). Par ailleurs, le mélange de plusieurs espèces est indispensable pour tamponner les effets du climat (**Abdelguerfi, 1989**).

Parmi les nombreux critères de sélection qui peuvent être retenus, non exhaustivement, on peut citer :

- La prise en compte de la régularité et de la répartition de la production ;
- Un mélange de plusieurs espèces pour tamponner les effets du climat ;
- L'adaptation à la pâture et forte production ;
- La qualité en termes nutritionnels et alimentaire (quantité ingérée par l'animal) ;
- La végétalisation, autrement dit :
 - o bonne vitesse d'installation,
 - o bonne aptitude à la compétition avec les mauvaises herbes,
 - o mise en place rapide d'une couverture du sol, forte production annuelle ;
- Système racinaire précoce et puissant pour assurer une lutte correcte contre l'érosion et
- Une bonne proportion de graines dures dans la semence produite annuellement pour entretenir l'auto-régénération de la luzerne, une fois implantée ;
- La résistance aux stress physiologiques (sécheresse), à la verse, aux maladies, aux ravageurs (le négril qui fait des ravages sur la luzerne pérenne) et aux parasites (l'orobanche, la cuscute).

La recherche des performances maximales dans un milieu donné conduirait à retenir les génotypes adaptés au milieu et donc à favoriser les bases génétiques étroites pour permettre une sélection plus étroite et plus efficace. Cette orientation est appelée sélection « créatrice » (**Galais, 1990**).

Chez les plantes à reproduction sexuée comme la luzerne pérenne, quatre grands types de création de variétés peuvent être distingués :

- Les variétés populations ;
- Les variétés lignées ;
- Les variétés hybrides ;
- Les variétés synthétiques.

Conclusion

Après les *Astéracées* et les *Orchidacées* les légumineuses par leur importance taxonomique, représentent la troisième grande famille des Angiospermes. Par leurs diversités de profitabilités, économiques, elles sont les plantes les plus utilisées dans l'économie humaine et animale. Leurs graines et leurs feuilles, riches en protéines, depuis toujours, ont tenu le rôle de « viande des pauvres » complétant parfaitement celles des céréales. Parmi les fourrages de légumineuses, la Luzerne par sa richesse nutritive et ses diversités d'utilisation agronomiques, constitue la représentante la plus emblématique. Chantée par les anciens depuis 9000 ans, elle constitue indiscutablement, la reine des champs, disait Sully. La correspondance souvent faite entre la consommation de protéine animale et développement industriel des pays, en vaut pour la luzerne qui apparaît comme indispensable dans tout processus d'intensification de l'élevage, avec en outre, des actions indirectes positives sur les cultures. Il va sans dire que l'élevage algérien dont l'intensification patine encore, possède dans la luzerne une alliée précieuse compte tenu de sa plasticité écologique et de ses nombreuses possibilités d'utilisation : enrichissement en azote du sol, tête d'assolement, aération du sol, pâturage en vert, en zéro gazon, dans le système ley farming, en foin ou encore sous forme déshydratée. La résorption de la jachère, chère à notre politique agricole, tient peut-être en la luzerne annuelle sa Directrice des opérations.

Materiel et Methodes



Partie II. MATERIEL ET METHODES

Le matériel végétal (espèces et populations de luzernes) utilisé dans ce travail est tiré de la collection de l'ENSA qui s'est constituée au fil des années.

Même si la mise en place des différents essais, en termes de nombre et d'identité des populations de luzernes à mobiliser, était bien définie et objectivée, ces essais ont beaucoup dépendu de la disponibilité de populations au moment du semis. Par ailleurs, il est arrivé que certaines n'aient pas germé et d'autres germées dépérissent en cours de la végétation.

Aussi, la logique expérimentale qui voudrait que tous les traitements appliqués aux différentes populations de luzerne dans chaque expérience aient concerné les mêmes populations ou les mêmes espèces n'a pas toujours pu être respectée. Dans d'autres situations, nous avons dû réduire le nombre de populations traitées car la quantité d'échantillons disponible pour certaines l'exigeait, suite à des pertes accidentelles ou imprévisibles (brise de tubes à essai par exemple). C'est le cas notamment de la digestibilité *in vitro*. Le Tableau 8, identifie le matériel végétal utilisé dans les différentes expériences.

Tableau 8 : Codes et origines des populations étudiées ainsi que le poids moyen de 1000 grains

Les espèces	Code des populations	Origines des populations	Poids de 1000 grains(Espèces)	Couleur graines	Pays d'origine
<i>M.ciliaris</i>	C ₂	Khemis Miliana	13,21g	Noire	Algérie (2004)
	C204	Relizane			
	C52	Ain Karma			
	C59	Drea			
	S3	Chlef			
	S5	Chlef			
<i>M.truncatula</i>	Tr27	Yakouren	3,58g	Jaune marron	Algérie (2004)
	Tr55	Ouenza			
	Tr221	Ain Maabed			
	Tr238	Oued El Ma			
	Tr 334	Labaa Nath Irathen			
	Tr407	Constantine			
<i>M.intertexta</i>	I11	Boinan	15,77g	Noire	Algérie (2004)
	I31	Tichi			
	I407	Constantine			
	I107	Aghoulad			
	I756	El Kala			
<i>M.polymorpha</i>	poly 27	Yakouren	3,24g	Jaune marron	Algérie (2004)
	Poly 205	Oued Rhiou			
<i>M.muricoleptis</i>	Aus106		6,26g	Noire	Turquie(2004)
<i>M.truncatula</i> CV (dit Jemalong)	CV		3,90g	Noire	Australie(-)

Chapitre 1. Eléments phénologiques des populations de luzernes étudiées

Nous englobons sous le terme phénologie à l'instar du botaniste espagnol **PiusFontiQuer (1888-1964)** : les aspects qui se produisent dans le développement d'une espèce, d'une population en fonction de sa propre idiosyncrasie (Prédisposition particulière qui fait qu'un individu réagit d'une

manière personnelle à l'influence des agents extérieurs) en rapport avec l'environnement. Ainsi, la biométrie dans son sens métrique ou pondérale tel utilisée dans le travail n'est qu'un outil de caractérisation des phénomènes phénologiques. Tout le comportement de la plante : de la dormance des graines aux différents changements au cours du cycle de végétation en passant par la production de semences, est donc concerné par la phénologie.

1. Effet du stockage prolongé des semences de luzernes annuelles, associé à des techniques de scarification sur leur capacité germinative

Parmi les paramètres à connaître pour mieux appréhender le potentiel de nos luzernes, apparaît : leur pouvoir germinatif. L'agriculteur a besoin d'une semence en principe certifiée dépourvue de mauvaises herbes avec une faible proportion de graines dormantes (dites dures ou orthodoxes) lors de la première installation. En effet, la germination, pour qu'elle ait lieu, a besoin d'échanges d'eau et de gaz à travers le tégument de la graine. Si ce dernier constitue une barrière à ces échanges, la germination peut ne pas avoir lieu ou être retardée. Les prétraitements ont pour but en « agressant » le tégument (ou en stimulant l'embryon) de le rendre plus perméable aux échanges : on parle de scarification ou de prétraitement. On distingue plusieurs types de prétraitements : chimique, hormonale, mécanique, par l'eau, par la chaleur sèche, par la chaleur humide, par le froid.

1.1. Obtention des graines

Le matériel végétal (semences) provient de la collection de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA) d'Alger, mise en place par M. Abdelguerfi A. et Mme Laouar M. Les semences ont été récoltées en deux périodes distinctes en 2004 (**semis en 2003**) et en 2013 (**semis en 2012**) dans les conditions pédoclimatiques de la ferme expérimentale de l'ENSA et cultivées dans des conditions pluviales.

1.1.1. Caractéristiques du site et environnement climatique

La ferme expérimentale de l'ENSA est située à 30°8' de longitude, 36°43' nord de latitude et à une altitude de 48 m. Le climat est typiquement méditerranéen avec des étés chauds et secs mais avec des hivers doux et pluvieux. Les précipitations sont plus rares dans la partie ouest, alors que celle-ci deviennent abondantes dans les zones centrales et orientales, notamment à Alger, où elles fluctuent entre 600mm et 800mm. La plus part des précipitations annuelles se produisent entre octobre et avril. Les températures sont plus plutôt uniformes : Janvier, le mois le plus froid de l'année, alors que la température moyenne journalière (maximale et minimale) tourne autour de 25°C-26°C en juillet-août, les mois les plus chauds de l'année (**annexe 20**).

Le **tableau 9**, présente les données climatiques des campagnes respectives 2003/2004 et 2012/2013. Concernant 2003/2004, des précipitations irrégulières, variant de 0 (juillet) à 16.6 mm (mai) ont été observées. La température moyenne de l'air, allait de 11.8°C (janvier) à 25.0°C (juillet). Quant à la température moyenne du sol, elle oscillait entre 13.5°C (janvier) et 27.9°C (juillet).

Pour 2012/2013, le mois le plus pluvieux était janvier avec 120,4 mm et le mois le plus sec et chaud était juillet avec 29,4°C. La température du sol la plus élevée est de 31,5°C, enregistrée le mois de juillet et la plus basse de 12,9°C enregistrée au mois de février.

1.1.2. Travail du sol, caractéristiques physico-chimiques et fertilisation

Avant semis, le sol a subi les opérations suivantes de préparation :

Désherbage mécanique associé à un produit chimique le Roundup (dés herbant systémique),

- Labour et apport de fumure de fond : **NPK (15, 15, 15)** à raison 2 quintaux par hectare, en utilisant une charrue brabant,
- Façons superficielles à l'aide d'un cultivateur à dents flexibles juste après labour,
- Façons superficielles à l'aide d'un cultivateur à dents flexibles pour affiner le lit de semis.

Tableau 9 : Données climatiques de la région d'étude des campagnes expérimentales 2003/2004 et 2012/2013

Mois	Campagne 2003-2004				Campagne 2012-2013			
	Nombre de Jours de pluie	mm pluie	T° Air	T° sol	Nombre de Jours de pluie	mm pluie	T° Air	T° sol
Décembre	9	12,4	12,3	18,7	7	37,5	13,0	15,1
Janvier	7	16,6	11,8	13,5	4	120,4	11,7	16,4
Février	6	6,1	12,0	14,7	15	89,8	11,5	12,9
Mars	8	12,5	14,7	17,0	5	45,9	16,3	12,6
Avril	9	8,4	14,0	17,8	11	76,0	15,6	19,3
Mai	9	14,2	15,8	20,2	4	5,3	17,8	21,2
Juin	2	2,9	20,7	24,1	0	71,5	13,0	26,0
Juillet	0	0	25,0	27,9	0	0	29,4	31,5
Aout	0	0	27,7	28,0	1	2,6	25,7	28,0

Les analyses du sol : **méthode Atterberg (1911)** et **AISS** (Association internationale de la science du sol) réalisées en 2004 et répétées en 2013 montrent une texture limono-sableuse (argile : 23%, sable : 41% et limon 36%), pour les deux horizons 20 cm et 40 cm. Ce sol présente un pH neutre (méthode potentiométrique sur une suspension terre/liquide égale à 1/2,5) à faiblement alcalin (7,22 à 7,75), une très faible conductivité électrique (C.E. < 0.2dS/m : méthode : Sol -1504 : Conductivité totale sur extrait 1/25(m/v) à 25°C) ; indiquant l'absence de salinité, un taux de calcaire de 7 % (sols moyennement calcaires : méthode volumétrique du Calcimètre de Bernard).

Pour les paramètres de fertilité, le sol est bien pourvu en matière organique(méthode :Walkley-Black) : respectivement 5,53% et 5,15% pour l'horizon de surface et l'horizon de subsurface. Cette richesse est le résultat d'un enfouissement d'amendement organique.

Le taux d'azote total (méthode : Kjeldahl) de l'horizon de surface et de subsurface est respectivement 0.11 et 0.09, ce résultat est celui d'un sol très pauvre en azote.

Le sol est moyennement riche en potassium assimilable(méthode : photomètre à flamme)avec une teneur de 0,17 meq /100g. Mais par contre, pauvre en phosphore assimilable dans les deux horizons avec des teneurs comprises entre 0,80 et 0,68 ppm (partie par million).

1.1.3. Matériel végétal, dispositif de semis, conduite de la culture

Les espèces annuelles de luzernes étudiées sont catégorisées selon leur couleur et leur taille en trois groupes :

- Les espèces à grosses graines,*M.intertexta*, *M.ciliaris*, de couleur noire,

- Les espèces à poids moyen des graines, *M.muricoleptis*, de couleur noire,
- Les espèces à petites graines, *M.polymorpha*, *M.truncatula*, de couleur jaune marron.

Chez les légumineuses, il existe souvent une relation entre la coloration des téguments et le pourcentage de graines dures (Côme et Semadeni, 1973). La forme des graines de toutes les espèces est réniforme.

Pour les deux campagnes, le semis a été réalisé manuellement, le 20/12/2003 et le 13/12/2012 respectivement, à raison de 80 graines par population et par ligne.

Chaque population est représentée par 2 lignes avec trois répétitions (3 blocs ce qui fait 6 lignes par population) en 2003 et 4 lignes avec trois répétitions en 2012 (12 lignes par population). La disposition est aléatoire. La superficie, des essais, en 2003 était de 3585,6 m² (228 m x 15,77 m) et de 31488 m² en 2012 (5248 m x 6 m). Les essais ont été conduits en sec et entretenus en permanence, contre les infestations d'adventices, par deux passages de motoculteur de la période végétative à celle du début de floraison, suivi par des désherbages manuels d'appoint. Comme traitements nous avons utilisé :

- Un anti limace granulée à 5% de métaldéhyde appliqué les mois janvier, février ce qui correspond au stade végétatif,
- Le Diclofop-Methyl, herbicide monocotylédone est appliqué les mois de janvier et février ce qui correspond au stade végétatif,
- Des insecticides : le DDT (contre les fourmilières), Bye Bye 200, associé au pyclorex 48, contre les larves, les adultes et œufs des acariens les mois de janvier, février (au cours du stade végétatif),
- La Chlorcyne 220, contre les pucerons, appliquée après floraison en avril- mai.

La récolte des gousses est réalisée manuellement en Juillet-Août pour les deux cultures respectivement en 2004 et 2013. Celle-ci est conservée dans des sachets en papier d'une contenance de 5 kg et entreposée dans une pièce du laboratoire, dans les conditions ambiantes normales de travail quotidien (Figure 12).

1.1.4. Nature des traitements appliqués

6 traitements ont été utilisés, certains, en des temps variables d'expositions aux facteurs ou d'autres à des temps uniques:

- Eau bouillante (H₂O) : pendant 2 puis 4 minutes,
- Action mécanique sur le tégument des graines,
- Acide sulfurique (98%) en trois temps d'exposition : 5 - 60 - 180 mn respectivement ;
- Le passage à l'étuve à une température de 200°C pendant 20 mn,
- Le froid d'un congélateur (-18°C) pendant 60 mn
- L'immersion dans de l'azote liquide (-196°C) en quatre temps d'exposition 5 -15 -25 et 37 mn respectivement.

La lourdeur du travail, nous a amené à le scinder en 2 essais :

- **L'essai 1** a consisté à évaluer l'effet d'un stockage de 10 ans (récolte 2004 - récolte 2014) essai réalisé en 2014 sur la faculté germinative des populations de luzernes annuelles ayant subi les traitements suivants (tableau 10) :

Tableau 10 : Traitements testés dans l'essai 1

Mécanique	H ₂ O	Étuve	H ₂ SO ₄		Congélateur	Azote liquide
-	2 mn	200° : 20 mn	5 mn	180 mn	60 mn	25 mn

- L'essai 2 a utilisé seulement des graines récoltées en 2015. L'ensemble des traitements a été réalisé en 2017. Le tableau 11 fait apparaître les deux cinétiques.

Tableau 11: Cinétiques utilisées dans l'essai 2

Mécanique	H ₂ O	Étuve 200°C	Acide sulfurique			Congélateur	Azote liquide			
-	4 mn	20 mn	5 mn	60 mn	180 mn	60 mn	5 mn	15 mn	25 mn	37 mn

Comme on peut le constater, le dispositif fait apparaître un seul temps d'exposition pour certains traitements (eau bouillante, étuve, congélateur, mécanique), alors que pour l'acide sulfurique et l'azote liquide plusieurs temps d'exposition ont été testés dessinant ainsi une cinétique en trois et quatre temps respectivement pour ces deux produits.

La cinétique nous a paru nécessaire pour mieux définir le temps d'exposition, car il s'agit de deux produits dont l'action est drastique. Il y a un risque de détruire l'embryon en même temps que le tégument. Par ailleurs, leur manipulation n'est pas sans danger pour l'homme.

1.2. Conditions générales de mise en œuvre des prétraitements avant semis

Après un tri à l'œil nu les graines piquées ou abîmées sont éliminées, la semence expérimentale de chaque population (quantité nécessaire pour une expérience de germination plus 10%) est placée dans de petites cages perforées et fermées (**Figure 6**), que nous avons confectionnées avec une grille à tamis (la taille des mailles étant inférieure à celle des graines).



Figure 6 : Graines préparées dans les petites cages à tamis

Les cages sont identifiées par les codes des populations correspondantes et l'année de récolte : 2004 ou 2013. Ainsi, lors de passage dans les produits chimiques, les cages sont regroupées et mises dans le récipient contenant le produit de prétraitement adéquat (acide, azote liquide, eau bouillante ou passage au congélateur). Après chronométrage du temps prévu pour chaque traitement, le rinçage (pour l'acide sulfurique) se fait sous le robinet à l'eau courante. Pour tous ces échantillons, le séchage est effectué à

l'air libre pendant deux jours dans des BP munies de coton, en attendant le semis. Pour le prétraitement à l'étuve, (chaleur sèche), la semence est mise dans des sachets en papier. Après traitement, ils sont refroidis à l'air libre.

1.3. Réalisation des prétraitements des semences

1.3.1. Traitement à l'acide sulfurique concentré (98%)

Hiltner, en 1902, fut un des premiers à traiter des semences de légumineuses avec de l'acide sulfurique concentré. Cette technique, essayée sur de nombreuses légumineuses, est généralement efficace : des trempages de 30 à 120 minutes permettent dans la plupart des cas d'obtenir des taux de germination de plus de 80 %. Mais il arrive aussi que, cette technique soit inadaptée (**Vora, 1989**).

Après égouttage des cages portant les semences, on rince, puis elles sont mises dans un récipient et rincées cinq fois à l'eau courante du robinet (à chaque rinçage, l'eau de moins en moins acide est éliminée). Les cages sont mises à égoutter sur une table à l'air libre pendant une heure, puis subies deux jours de séchage dans des BP avant immersion des BP (**Figure 7**).



Figure 7 : Traitement à l'acide sulfurique

1.3.2. Traitement à la chaleur sèche : passage à l'étuve à 200 degré centigrade

Dans les conditions naturelles, les variations fortes de températures peuvent permettre de lever la dormance des graines (**Helgesen, 1932 ; Witte, 1934**). Dans notre essai, les graines dans un sachet (**Figure 8**) sont soumises à une température de 200°C pendant 20 mn, puis refroidis à l'air libre.



Figure 8 : Sachets prêts à être passés à l'étuve

1.3.3. Traitement à la chaleur humide : passage des graines à l'eau bouillante

La température de celle-ci est d'environ 100°C. **Martin et al (1975)** mettent en évidence, sur différentes espèces de légumineuses, que des traitements par la chaleur humide à 70°C pendant 4

minutes sont très efficaces. Ainsi, les graines d'*Ulexparviflorus* traitées par la chaleur humide à 80°C pendant 5 minutes ont germé à plus de 80% (**Ballini, 1992**). Dans notre essai, le temps de traitement a été de 2 et 4 mn (**Figure 9**).



Figure 9 : les graines en prétraitement dans l'eau bouillante

1.3.4. Traitement par le froid : passage des graines au congélateur

Midgley (1926) observe que c'est l'alternance gel/dégel qui réduit le nombre de graines de Luzerne imperméables à l'eau. Mais le gel peut aussi détruire les semences imbibées d'eau qui ne sont pas encore germées, tout comme les jeunes plantules (**Schmidt, 1926 b**). La température du congélateur est de -18°C, le traitement dure 60 mn. A la sortie du congélateur, la semence, portée dans des sachets est décongelée sur la paille pendant une heure puis placée sur coton dans des BP.

1.3.5 Traitement dans de l'azote liquide

Les petites cages contenant la semence sont placées dans un récipient en aluminium, puis de l'azote liquide (-196°C) y est versé jusqu'à couvrir complètement les graines. Le tout est alors couvert avec un autre récipient en aluminium. L'azote évaporé est compensé par de nouveaux rajouts pour maintenir le niveau initial d'azote liquide. Comme pour l'acide sulfurique, une cinétique en plusieurs temps : 5 ; 15 ; 25 et 37 mn a été testée. **Patane et Gresta (2006)** chez *M.orbicularis* (buttonMedic) pour une exposition des graines dans de l'azote liquide pendant 10 mn a enregistré une amélioration de la germination et de la vitesse de germination.

A la fin du traitement, la semence est laissée à l'air libre pendant une heure puis disposée dans des BP pour séchage durant deux jours, avant immersion des BP (**Figure 10**).



Figure 10 : Boîte de pétrie contenant des graines traitées

1.3.6. Scarification mécanique

Sur une planche en bois immobile sur une table, nous avons fixé avec des punaises une feuille de papier verre à gros grains. Une autre petite planche identiquement équipée de papier verre de même

grosseur de grains. Entre les deux planches se tiennent les graines qui subissent le va et vient manuel de la deuxième planche. Les téguments des graines ainsi blessés sont sensés laisser passer plus facilement l'eau et l'air. Durant ce traitement, certaines graines finissent totalement dénudées de leurs téguments, celles-ci sont écartées du semis.

1.3.7. Les témoins

Ne disposant pas de suffisamment de semences pour toutes les populations et de BP pour mettre en place simultanément, un témoin non traité pour chaque population, nous avons utilisé un seul témoin et étudié le temps du stockage (2004-2013) associé aux différents traitements sans témoins et réserver les témoins pour le deuxième essais qui intègre les deux expériences de cinétiques.

1.4. Périodicité des traitements et des semis

Pour les prétraitements : chaleur sèche et la scarification mécanique (scarification du tégument), le semis est effectué, le jour même du traitement car ils ne nécessitent pas de séchage. Pour les traitements : H₂SO₄, eau bouillante, azote liquide, congélateur, deux jours de séchage sont observés avant le semis.

1.5. Semis après prétraitement et conditions de la germination

Toutes les populations de luzerne étant traitées et prêtes à être semées, la mise en route des essais de germination est réalisée le même jour (pour tous les prétraitements) dans une pièce dont la température a été à peu près la même durant toute la période des essais soit en moyenne, 25,9° C enregistrée à l'aide d'un thermomètre.

Le semis est réalisé dans des boîtes de Pétri (Premium quality petri Dishes triple vented. Size 90 mm, H : 14,2 mm Qty : 20 Pcs) munies de coton, support de l'humidité. Cette humidité est ajustée plusieurs fois en cours d'expérience. La mise en culture en BP a eu lieu du 13/02/2017 au 23/02/2017. Chaque population de luzerne est traitée en double à raison de 10 graines par boîte de Pétri.

Le degré de polymorphie des graines peut influencer sur la qualité du prétraitement. Ainsi peuvent apparaître, des interactions entre le traitement et la sensibilité du tégument dont la conséquence est une germination différentielle, plus ou moins marquée selon la vigueur du traitement. La grosseur des graines par exemple, est un facteur de différenciation (**Moffett, 1952 ; Pathak et al, 1980**). Pour toutes ces raisons, nous avons fixé le nombre de jour d'observations et d'irrigation des BP à 10 jours, soit deux fois, la durée donnée généralement admise pour la germination de la luzerne (**Gimeno-Gille, 2009**). La levée du genre *Medicago* est apogée.

L'irrigation de la semence dans les boîtes de pétri est effectuée à l'eau du robinet au prorata des besoins de chaque boîte (environ 8,5 litres d'eau ont été utilisés pour chaque essai). L'apparition des radicelles (**Patane et Gresta, 2006**), stricto sensu, la percée des enveloppes par la racine est couramment utilisée pour déterminer que la semence a germé (**Côme, 1982**). **Jordan et Haferkamp (1989)**, de leur côté considère, par exemple, que la semence a germé lorsque la racine mesure au moins 1 mm de long. Nous avons utilisé ce dernier modèle. On compte alors, le nombre de grain germées sur le nombre totale de grain contenu dans la boîte de pétri multiplié par cent. L'arrêt de mesure de la germination est fait à la fin du 10^{ème} jour d'expérience.

$$\% \text{de germination} = \text{nombre de graines germées} / \text{nombre de graines semées} \times 100$$

1.6. Observations de la germination et mesure de paramètres

Pour valider qu'une graine a germé, la radicule doit mesurer au moins 1 mm de long. A cet effet, nous avons utilisé une règle. Quotidiennement, les observations suivantes sont faites : état de gonflement des cotylédons, de fissuration des téguments, état d'humification du coton et ajustement si nécessaire, allongement vers le bas de la radicelle. **La figure 11**, illustre une scène de germination des graines après 6 jours de semis.



Figure11 : Germination de graines après 6 jours de culture

Par ailleurs, pour évaluer l'épaisseur des téguments des deux types de luzerne : semences de couleur claire et semences de couleur foncée, des coupes histologiques ont été réalisées sur les téguments par la méthode de la double coloration (vert de méthyle et rouge Congo). Les observations ont été faites au microscope optique.

2. Evaluation de paramètres végétatifs et de production semencière de populations de luzernes annuelles spontanées d'Algérie

Les paramètres végétatifs sont importants à connaître pour discriminer les populations de luzernes en vue d'obtention à moyen terme de variétés locales performantes, adaptées au besoin des éleveurs. Ainsi, le rapport feuilles sur tiges (R/T) est connu pour être en rapport avec la valeur nutritionnelle de la plante tout comme le nombre de tiges pour la production de biomasse. De même, le poids des gousses, le nombre de gousses par m² sont des facteurs discriminants la production semencière.

La disponibilité de semences est l'un des handicaps palpant du développement des cultures fourragères en Algérie, notamment les luzernes annuelles locales ou introduites. Il était donc important de tester l'idiosyncrasie propre des espèces et populations de luzernes locales pour ces paramètres.

Aussi, nous avons mis en culture en deux périodes différentes : décembre 2012 et 2014 (pour une récolte des paramètres visés (végétatifs et production de semences), en 2013 et 2015) une vingtaine de populations appartenant aux espèces : *M.intertexta* ; *M.ciliaris* ; *M.polymorpha* ; *M. truncatula* ; une population introduite appartenant à *M.muricoleptis* (Turquie) et un cultivar australien (Jemalong),

appartenant à l'espèce *M. truncatula* (ces deux dernières espèces servant de témoins) constituent le matériel végétal.

Sur les mêmes cultures, nous avons recueilli les données relatives aux paramètres végétatifs et celles concernant la production de semence. Les deux lignes internes (pour éviter l'effet bordure) ont servi à la mesure des paramètres biométriques et les deux lignes périphériques pour la production de semence. Le premier essai a été installé le 13/12/2012 (pour une récolte de données en 2013) et le deuxième le 24/12/2014 (pour une récolte de données en 2015) à la ferme expérimentale de l'ENSA dont les coordonnées géographiques sont données plus haut. Le précédent cultural du premier essai était le maïs et pour le deuxième essai la jachère. Chaque essai est un bloc aléatoire complet avec trois répétitions. Dans chaque bloc nous avons 20 populations pour le premier essai et 25 populations pour le deuxième essai.

Chacune des populations est représentée par quatre lignes de un mètre, espacées de 60 cm à raison de 80 graines par population et par ligne. Chaque bloc est espacé de l'autre de 1,50 m pour le premier essai et de 60 cm pour le deuxième essai.

L'analyse physique et chimique des échantillons prélevés du sol des deux parcelles à une profondeur de 20 cm et 40 cm (P20 et P40) avant de semer a donné pour le premier essai une texture limoneuse (triangle des sols), pauvre en azote et en matières organiques, de potassium et de sodium. Pour le deuxième essai la texture est limoneuse-argileuse, pauvre en azote et en matière organique ainsi qu'un pH >7 pour les deux sols (**Tableau 12**).

Tableau 12 : Analyse physico-chimique des parcelles semées en 2012 et 2014

Paramètres	Année 2014		Année 2012	
	P 20	P40	P20	P40
Phosphore (ppm)	0,8115	0,6325	10,05	6,85
Moyenne	0,7220		8,67	
Potassium mg/100g	0,1750	0,1621	5,62	3,57
Moyenne	0,1685		4,59	
Ph	7,22	7,75	7,23	7,0
Moyenne	7,485		7,115	
CEE	0,1526	0,0654	-	-
Moyenne	0,109			
Azote %	0,1121	0,0934	0,075	0,058
Moyenne	0,1027		0,0665	
Matière organique (%)	-	-	1,15	0,68
CaCo3 (%)	7,3330	7,0000	2,6	-
Moyenne	7,1665			
Argile (%)	21,2500	21,5000	25,0	25,5
Moyenne	21,375		25,25	
Limon (%)	40,4900	39,7200	41,89	55,66
Moyenne	39,605		48,77	
Sable (%)	38,2500	38,7800	27,75	8,06
Moyenne	38,51		17,90	
Texture	L	L	LA	LA

En résumé, le sol des deux parcelles est pauvre, nous n'avons apporté aucun amendement. Les analyses ont été réalisées au département science du sol de l'ENSA en 2013 et 2015. La comparaison avec un sol expérimental pour essais de luzerne rapporté par **Larbre et al(2015)** dont le précédent cultural était de l'escourgeon, est comparativement la suivante (en ppm) :

- Matière organique (en %) : 3,21
- Phosphore (ppm) : 110

- Potassium (ppm) : 288
- Magnésium (en ppm) : 166

Les conditions climatiques de 2013 et de 2015 sévissant respectivement durant la période expérimentale sont données dans le **tableau 13**. De janvier à juin où se déroule l'essentiel du développement de la plante en culture fluviale, la température moyenne au mois de mai pour 2013 et 2015 était comparable (environ 18°C) mais plus froid en janvier et février en 2015 (9.4 °C contre 11.7 pour 2013). Par contre, alors qu'en moyenne, pour les quatre premiers mois de l'année 2013, il est tombé 83 mm de pluie, la quantité n'est que de 69 mm en 2015 avec un fort déficit au mois de mai pour en 2013 et un quasi sécheresse au mois d'avril pour l'année 2015. Plus de détails sont donnés dans le **tableau 13**.

Tableau13 : Données climatiques des années 2013 et 2015

Mois	2013		2015	
	Moyenne de T°	Somme pluies	Moyenne de T°	Somme pluies (mm)
Janvier	11,7	120,4	9,4	98,9
Février	11,5	89,8	9,6	80,0
Mars	16,3	45,9	14,8	96,3
Avril	15,6	76,0	17,7	1,6
Mai	17,8	5,3	18,8	28,4
Juin	13,0	71,5	22,4	14,4

2.1. Relevés des données pour les paramètres végétatifs

Ces données concernent : la production de matière verte et sèche, la largeur des ramifications, le nombre de tiges par mètre carré, la longueur du cycle, le rapport feuilles/tiges. Le % de viabilité est donné par la formule qui suit :

$$\% \text{ de viabilité} = \text{nombre de plants fauché} / \text{nombre de graines semé} \times 100$$

Ces données sont prélevées au stade début floraison durant 23 jours : 30 mars au 21 avril 2015, expliqué par les variations de précocité tout à fait logique observées, entre blocs, entre espèces et entre populations d'une même espèce.

Les instruments et outils utilisés pour les différentes opérations sont : sécateurs, mètres ruban, balances. Des sacs en papier de 5 kg reçoivent les échantillons récoltés.

- La hauteur de fauche choisie est de 8-10 cm du sol pour éviter l'épuisement des pieds de luzerne encore jeunes, la souillure par de la terre. Cette hauteur est aussi, celle de broutage des animaux.

La fauche commence après la levée du soleil entre 10 h et 10 h 30 pour minimiser l'humidité sur le végétal.

- Les pesées (végétal entier, tiges et feuilles séparément) ont lieu le même jour que la récolte ainsi que la mise à l'étuve pour mesurer la matière sèche.

La précocité des espèces et des populations de luzerne est calculée en nombre de jours au stade : début floraison.

2.2. Relevés des données des paramètres de production de semences

Les paramètres spécifiques de la production de semences tels que : Poids de 50 gousses ; poids de semences de 50 gousses ; rendement en gousses g/m² ; rendement en semences g/m² ont été mesurés en observant le protocole suivant :

- A la sénescence des plants et à maturité des graines, vérifiée par la couleur de la gousse et la dureté manuelle de la graine, la collecte est effectuée manuellement sur la période : fin juin mi Aout. Après nettoyage, la collecte est conservée dans des sacs en papier de 5 kg (**Figure 12**) ;
- Le rendement en gousse (g /m²) est déterminé après pesé à la fin de la collecte de tout l'essai, tout comme les autres paramètres : poids de 50 gousses et semences de 50 gousses (balance analytique de précision).



Figure 12 : Semences récoltées, ensachées et entreposées dans un local

Chapitre 2. Evaluation de la valeur nutritionnelle des luzernes

L'objectif à moyen terme de ce sujet de travail sur les populations spontanées de luzernes annuelles d'Algérie est de les discriminer, afin de révéler celles qui portent des caractères susceptibles, par la sélection, de donner des variétés profitables pour l'agriculture et l'élevage du pays. Outre, des caractères tels que :

- L'adaptation à la pâture et bonne pérennité de la luzernière,
- Bonne végétalisation regroupant : une bonne vitesse d'installation, une bonne aptitude à la compétition avec les mauvaises herbes, une mise en place rapide d'une couverture du sol, ou encore, une forte production annuelle de matière sèche,
- Mise en place rapide d'un système racinaire puissant pour assurer une lutte correcte contre l'érosion du sol et une protection contre la sécheresse,
- Résistance aux stress abiotiques (sécheresse), à la verse, aux maladies et aux parasites,
- Une bonne proportion de graines dures dans la semence pour entretenir l'auto-régénération de la luzerne (annuelle notamment, une fois implantée), sont importants. Mais, une bonne qualité de la luzerne, en termes de teneur en composants chimiques et de valeur nutritionnelle, est strictement indispensable puisque la finalité est d'en faire des fourrages nourrissants. Sachant par ailleurs qu'une bonne alimentation peut en partie palier un déficit génétique.

Chez le ruminant, la digestibilité des fourrages est le marqueur le plus significatif de sa valeur nutritionnelle (**Peyraud et Baumont, 2002**). Pour la mesurer avec justesse cette digestibilité, des méthodes directes dites de référence existent (**Charlet-Levy, 1969**).

Malheureusement, elles sont couteuses, nécessitant :

- L'entretien d'animaux en permanence (6 à 10 moutons),
- L'utilisation de grandes quantités de fourrages (entre 300 et 400 kg),
- Long à mettre en place avec de nombreuses analyses chimiques à effectuer.

Depuis plus d'un siècle, des méthodes indirectes, dites de laboratoire plus rapides et nettement moins couteuses, sont proposées. Parmi celles-ci, la plus utilisée mondialement est celle de **Tilley et Terry** publiée en **1963**. Bien que nécessitant l'entretien d'animaux porteurs de fistules du Rumen afin de disposer d'inoculum standard, elle est moins couteuse, rapide, se prêtant bien aux traitements en série et aux répétitions. Elle donne des valeurs fiables de digestibilité très bien corrélées avec la méthode *in vivo* de référence (**Varel et Kreikemeier, 1995 ; Stern et al, 1997**).

Estimer rapidement et à moindre coût la valeur de digestibilité du fourrage est donc un outil indispensable pour le sélectionneur. Pour répondre à ce besoin tout en évaluant nos populations de luzerne, nous avons utilisé deux procédures : un test physique dont l'outil de base est le microscope et un test microbiologique inspiré de **Tilley et Terry** :

1. Test physique

Le principe est l'étude de coupes histologiques au niveau des tiges, puis de calculer le rapport tissus non lignifiés sur tissus lignifiés. Les échantillons qui ont servis à ce test proviennent de la culture 2013.

1.1 Récolte, préparation des échantillons et des coupes

Cinq espèces sont concernées par cette étude :

- *M.ciliaris* : représenté par la population S3
- *M.muricoleptis* : représenté par la population Aus106
- *M.intertexta* : représenté par la population I253
- *M.tuncatula* : représenté par la population Tr253
- *M.sativa* : représenté par la population Triade

Le matériel végétal est représenté par les tiges. Elles sont récoltées au stade début floraison (Apprécié à deux boutons avec des fleurs ouvertes afin d'éliminer toutes différences causées par l'avancement de la maturité) et au début formation des gousses. Ainsi, trois tiges dominantes ont été prélevées pour réaliser des analyses histologiques et des quantifications par mesure et calcul. Sur chacune des 3 tiges, une portion de 2 cm de longueur a été prélevée tous les 5 cm en partant de l'apex vers le bas des tiges, excepté tout en haut des tiges où le premier cm a été supprimé. La hauteur des tiges et leur nombre par mètre linéaire de culture ont été notés.

Les coupes histologiques sont pratiquées à l'aide d'une lame à main levée.

1.2. Coloration des coupes

- Faire tremper les coupes dans de l'eau de Javel 12° pendant 20 mn pour vider les cellules de leurs contenus et ne laisser que leur paroi,
- Laver pendant 1 mn, les coupes dans de l'acide acétique (20 ml d'acide acétique à 99% + 8 ml d'eau distillée) pour neutraliser le milieu cellulaire,

- Coloration des parois lignifiées. Pendant 5 mn, les coupes sont plongées dans une solution de vert de Méthyle (1g de vert de méthyle dans 1000 ml d'eau distillée). Les parois lignifiées sont alors colorées en vert et les parois subéreuses en marron.
- Coloration pendant 10 mn les coupes avec du rouge Congo (1g de rouge Congo dans 1000 ml d'eau distillée). Les parois cellulosiques sont alors colorées en rose ou en rouge.

1.3. Mesure de l'épaisseur des tissus et calculs

Nous avons utilisé un microscope optique de marque Zeiss dont la loupe binoculaire est munie d'une règle permettant de mesurer l'épaisseur des tissus (**Figure 6**). A cette règle micrométrique, nous avons superposée du papier millimétré plaqué sur le plateau du microscope.

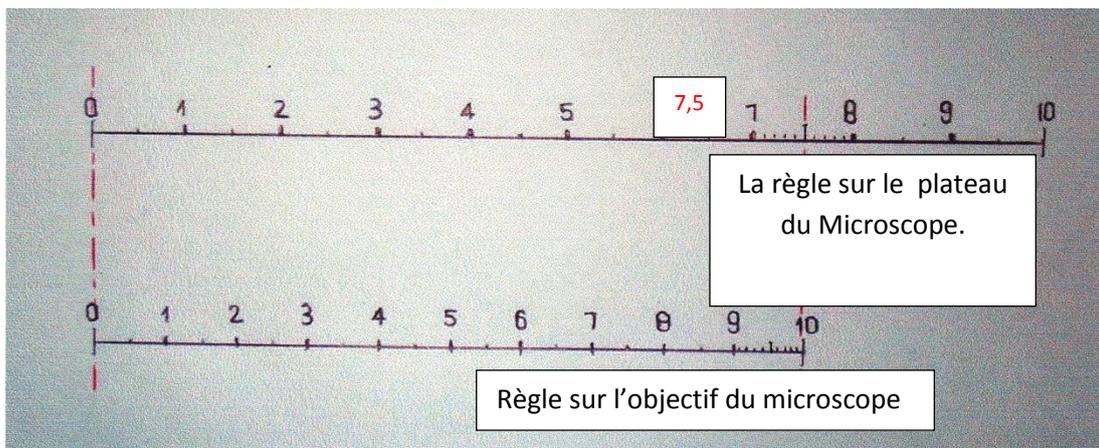


Figure 13 : Superposition des deux règles

La règle micrométrique porte 100 graduations :

- 1 mm correspond à 100 graduations dans le grossissement 10 x10. Donc 0,75 mm à 75 graduations,
- 1 graduation du plateau correspond à 10 μm , il en ressort que, 75 graduations du plateau = 750 μm ,
- Donc 100 graduations dans le grossissement 10 x10 représentent 750 μm ,
- D'où, 1 graduation dans le grossissement 10 x10 correspond à 7,5 μm

En résumé :

- Le grossissement 10 x10, la règle de l'objectif est de 0,750 mm
- Le grossissement 40 x10 la règle de l'objectif est de 0,195 mm
- Le grossissement 100 x10 la règle de l'objectif est de 0,170 mm

En définitive, une unité de graduation correspond à 7,5 μm .

Le traitement au grossissement 10 x 40 permet d'obtenir le rayon de la coupe transversale (clair du centre à la périphérie et contenant tous les tissus). Pour compter les faisceaux de toute la coupe on choisi le grossissement 4 x10 puis pour les autres mesures avec la règle on passe au grossissement 40x10 : rayon de la coupe, épaisseur de l'écorce (parenchyme cortical), largeur du xylème, épaisseur de parenchyme médullaire, la lignine se trouve dans notre cas dans le xylème et dans le sclérenchyme uniquement.

L'analyse histologique a été réalisée principalement en bas des tiges. En effet, à ce niveau, les tissus sont différenciés et si la structure secondaire (xylème secondaire, phloème secondaire et le sclérenchyme) est en place, c'est à ce niveau qu'elle se trouverait. Il est alors possible de calculer la

proportion des différents tissus (parenchyme cortical, parenchyme médullaire, xylème primaire et secondaire, phloème primaire et secondaire, sclérenchyme) par rapport au rayon des tiges de façon à exprimer la répartition des différents tissus dans la même unité. Ainsi nous avons pu développer des coupes histologiques au niveau des tiges et réaliser nos calculs :

- Proportion d'écorce = épaisseur de l'écorce / rayon de la coupe,
- Proportion de xylème = largeur du xylème / rayon de la coupe
- Proportion de parenchyme médullaire = épaisseur de parenchyme médullaire / rayon de la coupe.

Pour compter les faisceaux de la coupe on a choisi le grossissement : 4 x10.

2. Test microbiologique

Les échantillons qui vont servir à ce test proviennent des cultures de 2015 développés plus haut. Le test microbiologique est inspiré de la méthode préconisée par **Tilley et Terry en 1963**. Il est très utilisé dans le monde (**Demarquilly et Jarrige, 1981**). Son accomplissement total exige :

- Un système de Bain Marie avec des tubes à essais de 100 ml,
- Une solution tampon de salive artificielle (**Mc Dougall, 1948**) dont le rôle est de contrôler les variations du pH dans le milieu,
- Une solution d'oligo-éléments (**Kumaresan, 1976**),
- Un fourrage témoin dont la digestibilité *in vivo* est connu avec justesse et exactitude, donc obtenue avec la méthode internationale de référence. Il sert à apprécier l'activité du jus de rumen,
- De l'inoculum de rumen (dit « jus de rumen »).

2.1. Sur la composition des solutions minérales

Les détails de leur composition sont donnés respectivement dans les **tableaux 14 et 15**.

Tableau 14 : Composition de la salive artificielle Mc Dougall (Pour un litre de solution)

Produits	Quantités (g)
Na ₂ HPO ₄ , 12H ₂ O	46.50
NaHCO ₃	49.00
NaCl	2.35
KCl	2.85
CaCl ₂	0.20
MgCl ₂	0.30

A ce litre de solution mère sont rajoutés 4 litres d'eau distillée. La salive artificielle ainsi obtenue est enrichie par la solution d'oligoéléments : 10 ml/l (**Tableau15**), puis saturée en CO₂ jusqu'à un pH de 6.9. Nous appellerons cette solution salive artificielle Mc Dougall.

Tableau 15 : Composition de la solution d'oligoéléments (l).

Eléments	Quantité (mg)	Sels utilisés	Poids du sel (g)
Zn	300	Zn SO ₄ 7H ₂ O	13.196
Co	3	CoCl ₂ , 6H ₂ O	0.012
Mn	615	Mn SO ₄ , H ₂ O	1.889
Fe	575	Fe SO ₄ , 7H ₂ O	2.862
Se	0.6	Se	0.0006
Cu	55	Cu SO ₄ , 5H ₂ O	0.216
Mo	0.7	MO ₂ (NH ₄) ₅ , 5 H ₂ O	0.009
I	1.4	I	0.0014

2.2. Sur le fourrage témoin

Il s'agit d'un fourrage indifféremment de graminées ou de légumineuse dont la digestibilité de la matière sèche a été déterminée avec justesse et précision par la méthode *in vivo* de référence avec récolte totale des fèces (**Charlet-Levy, 1969**)

- **Les aliments**

Pour ce travail, nous avons choisi un foin de luzerne (variété Triade, d'origine italienne) provenant de l'ITGC de Oued S'mar. Cette luzerne a été semée à une dose de 10kg/ha, conduit en sec et sans apport de fumure. Elle a été récoltée au stade bouton floral du quatrième cycle.

La ration distribuée comprend donc du foin de luzerne distribué à volonté et une dose de concentré pour ovin de 200g par animal et par jour. Le concentré utilisé est composé d'orge, de maïs, de son de soja et de minéraux.

- **Les animaux**

La digestibilité est mesurée au laboratoire de production animale de l'ENSA, selon la méthode de référence, qui procède par la collecte totale des fèces (**Charlet-Levy, 1969**). Sur 3 ovins adultes non castrés de race OuledDjellal âgés en moyenne de 36 mois et pesant entre 50 et 60 Kg de poids vif. Les animaux sont déparasités par injection d'IVOMECC.

- **Déroulement de l'expérimentation**

L'expérience s'est déroulée en deux phases, la phase d'adaptation, suivi d'une phase de mesure de la digestibilité.

La première phase dure 21jours à partir des pesées des animaux à jeun. Ils sont installés dans des boxes individuels d'environ 1m² et reçoivent en deux fois (8h30 et 16h) la ration journalière. L'eau de boisson est renouvelée journallement est laissée à volonté. A l'issue de cette phase d'adaptation les animaux sont pesés une deuxième fois à jeun avant d'être placés en cages à métabolisme pour 10jours de mesure de la digestibilité.

- **Les mesures**

Une pesée du distribué (foin et concentré), du refus et des fèces est réalisée quotidiennement durant toute la période de mesures. Un échantillon représentatif de chaque composant est alors prélevé, séché à 105°C à l'étuve jusqu'à poids constant pour déterminer la matière sèche, puis cumulé par animal et pour toute la période. A l'issue de ces mesures, les échantillons de fèces sont broyés puis conservés en vue d'analyses chimiques.

Ces analyses chimiques portent sur la matière sèche (MS) par passage à l'étuve réglée à 105°C de 3 g de la matière (fourrages, refus et fèces) finement broyée. Les constituants pariétaux (NDF, ADF, ADL) ont été analysés par la méthode **Van Soest (1963)**, les matières azotées totales (MAT) selon la méthode Kjeldhal, la cellulose brute par la méthode de Weende (CBw) ainsi que la matière minérale (MM) par incinération dans un four à moufle réglé à 550°C. Le calcium et le phosphore sont déterminés par absorption atomique.

- **Calcul de la digestibilité :**

$$\text{DigMS (\%)} = (\text{MSI} - \text{MSR} / \text{MSI}) \times 100$$

- DigMS (%) = Digestibilité de la matière sèche.
- MSI = Matière sèche ingérée
- MSR = Matière sèche refusée.

- **Résultat de digestibilité du foin de luzerne témoin**

La digestibilité des trois principaux composants du foin de luzerne apparaît dans le **tableau 16**. Elle est comparable à celle donnée par la littérature internationale pour un foin de 3^{ème} cycle (**Andrieu et Demarquilly, 1987 ; Julier et Huyghe, 1997 ; Mairiès, 2003**)

La variabilité entre animaux est correcte : 4.20 ; 3.55 et 5.83 % respectivement pour la MS, la MO et pour les MAT.

Il résulte que pour toute la durée de mesure de la digestibilité in vitro (DIV), le témoin fourrage sera la luzerne **Triade** dont la digestibilité de la MS est de **61.4 %**.

Tableau 16 : Coefficient d'utilisation digestif apparent de la MS, MO et de la MAT (en%)

Animaux	CUD MS	CUD MO	CUD MAT
Animal 1	62,79 ±6,37	68,3 ±4,82	57,58 ±6,93
Animal 2	58,35 ±13,38	71,62 ±11,44	51,74 ±12,21
Animal 3	62,96 ±5,20	66,82 ±5,40	57,1 ±7,51
Moyenne de lot	61,37 ±2,61	68,91 ±2,45	55,48 ±3,24

2.3. Sur le jus de rumen

Le jus de rumen mélangé de plusieurs animaux est l'inoculum de choix pour recréer les conditions de dégradation des aliments dans le rumen et ainsi les évaluer. Cette évaluation peut se faire soit en mesurant la disparition de la MS (méthode directe de **Tilley et Terry, 1963** ou des méthodes qui lui sont dérivées) soit mesurer le volume de gaz produit après un temps donné d'incubation (Méthode du gaz test de **Menke et al(1979)**). Il fournit toutes les catégories de bactérie nécessaire à la dégradation de l'échantillon de fourrage. Il est donc très important que son activité résultant des bactéries qu'il renferme et dépendant de l'alimentation de l'animal donneur ne soit trop variable pendant les périodes de son utilisation.

Tilley et Terry, pour standardiser leur méthode, disposaient de jus de rumen dont la qualité et la variabilité étaient contrôlées par une alimentation standard que recevaient les donneurs de jus. Ces animaux étaient porteurs à vie de fistules du rumen à travers lesquelles, ce jus « standard » était prélevé. Cette procédure était couteuse en animaux fistulés et en main d'œuvre. Mais aussi l'opinion

publique est de plus en plus hostile aux traitements invasifs que fait subir la recherche aux animaux. Le remplacement du jus de rumen par des enzymes industrielles a été exploré avec succès (**Aufrère et Michalet-Doreau, 1990**). D'autres alternatives comme : l'extraction d'un inoculum à partir des fèces dont le faciès microbiologique serait à peu près le même que celui du rumen (**Dhanoa et al, 2004**) ou encore, le prélèvement du jus de rumen directement à l'abattoir après l'abattage des animaux (**Borba et al, 2001**). Ces deux sources d'inoculum ne nécessitant pas des interventions chirurgicales invasives comme c'est le cas pour la pose des fistules. C'est cette dernière source d'inoculum que nous avons choisi d'utilisée pour évaluer la digestibilité de nos populations de luzernes.

2.4. Sur le mode opératoire

0.5 g de chaque échantillon à évaluer est traité en double en trois essais (soit 6 données par échantillon). Le **tableau 17** présente, les espèces et populations de luzerne qui ont été soumises à cette digestibilité *in vitro*. Elles sont extraites du **tableau 8** et représentent celles dont la disponibilité en biomasse était suffisante pour répondre aux exigences en biomasse d'une digestibilité *in vitro*.

Tableau 17 : Espèces et populations soumises à la digestibilité *in vitro*

Espèces	Populations
<i>M.ciliaris</i>	C2
	C58
	S5
<i>M.truncatula</i>	Tr238
	Tr334
<i>M.intertexta</i>	I11
	I31
	I52
	I253
	I58
	I107
	I756

Cette prise d'échantillons de 0.5g est mise dans un tube à centrifuger de 100 ml qui reçoit 40 ml de salive artificielle Mc Dougall enrichie en oligo éléments et 10 ml de jus de rumen (prélevé sur au moins six moutons aussitôt après leur abattage, à l'abattoir d'El Harrach transporté dans des bouteilles thermos). Avant utilisation, le jus est préalablement filtré sur 5 couches de gaze. Un échantillon du foin de luzerne dont nous avons déterminé la digestibilité (61.4% pour la MS) par la méthode internationale de référence sert de témoin de l'activité du jus. Un tube « blanc », qui ne reçoit que la salive et le jus de rumen, est également mis en place. Les tubes ainsi préparés sont soumis pendant quelques secondes à un courant de CO₂ (pour reproduire les conditions d'anaérobiose du rumen), puis fermés par des bouchons traversés par un tube en verre servant de canalisation, lui-même surmonté d'un capuchon en plastique muni d'une fente pour l'évacuation des gaz excédentaires (**Figure 14**).

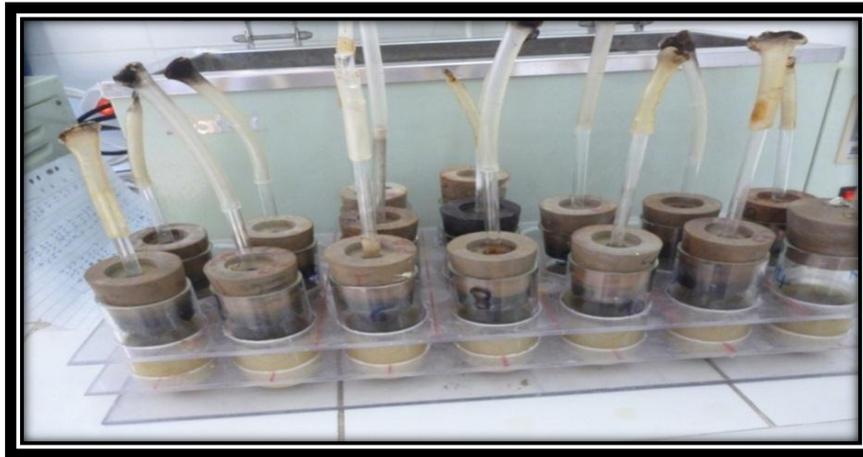


Figure 14 : Tubes préparés, prêts à être incubés

Les tubes sont ensuite incubés dans un bain Marie réglé à 39°C pendant 48h à l'abri de l'air. Cette température est contrôlée en permanence car suivi à l'aide d'un thermomètre. Pour nous permettre de traiter tous les échantillons en même temps et avec le même jus, nous avons utilisé en parallèle, deux bains Marie semblables. La **figure 15** montre une incubation de luzerne en cours de réalisation.



Figure 15 : Tubes en incubation à 39°C dans le bain-marie

A l'issue du temps d'incubation, la fermentation est arrêtée par addition de quelques gouttes de chlorure mercurique (HgCl_2 à 5 %) dans chaque tube. Puis, le milieu est centrifugé pendant 10 minutes à 2500 G. Après rinçage, ils sont centrifugés de nouveau pendant 15 autres minutes. Le culot est récupéré et repris dans de la pepsine à 2% dans du HCL pendant 48h dans les mêmes conditions d'incubation que pour la première phase.

A l'issue de ce temps les tubes sont rincés comme précédemment et mis à l'étuve réglée à 105°C pendant 48h puis pesé.

Mode de calcul

La détermination de la MS résiduelle permet de calculer la proportion de la MS disparue selon l'expression suivante :

$$\text{DIVMS (\%)} = 100 \times \frac{MSI - MSR}{MSI}$$

- DIVMS = Digestibilité «*in vitro*» de la matière sèche.
- MSI = Matière sèche incubée.
- MSR = Matière sèche résiduelle (MS désincubée – MS du blanc).
- Les résultats sont alors corrigés par rapport au foin de luzerne témoin.

Analyses statistiques des résultats

Nos résultats ont été soumis à des analyses statistiques mettant en œuvre différentes techniques :

➤ Statistiques descriptives

L'ensemble des résultats a fait l'objet d'analyse statistique descriptive simple : moyenne, écart type, et coefficient de variation.

➤ Analyse de variance (ANOVA) :

Par un ajustement sur le modèle :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \quad \text{où :}$$

Y_{ij} est la variable expliquée ;

μ : la moyenne générale

α_i : l'effet facteur

e_{ij} : l'erreur résiduelle du modèle. Puis, le test de Student a été utilisé pour comparer les facteurs deux à deux.

➤ Des corrélations entre variables

Pour savoir s'il y a (pris deux à deux) une **relation linéaire** entre les caractères biométriques, phénologiques, seuls ou en combinaisons. Les formules sont classiques :

$$Cov(X, Y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})$$

ou

$$Cov(X, Y) = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \cdot Y_i \right) - (\bar{X} \cdot \bar{Y})$$

Le calcul de la corrélation étant :

$$r(X, Y) = \frac{Cov(X, Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

- **Des régressions.** Linéaires de différents degrés : d'ordre 1 : $y = ax + b$ ou d'ordre 2 : $y = ax^2 + bx + c$ ou d'ordre 3 : $y = x^3 + a \cdot x^2 + b \cdot x + c$
- **Des analyses en composantes principales ou ACP.** Dans notre travail, nous l'avons utilisée pour faire le screening de notre cohorte de populations afin d'identifier celles susceptibles d'être choisies pour poursuivre le travail.

Les calculs ont été réalisés : pour les descriptives à l'aide du logiciel Statview et Statistica 1987.

L'ANOVA, avec le logiciel, S-PLUS 4.5 (1998) et l'ACP, avec le logiciel « R Studio ».

RStudio est disponible sous la licence libre AGPLv3.

https://www.01net.com/telecharger/windows/Programmation/base_de_donne/fiches/131618.htm

RESULTATS ET DISCUSSION



Partie III. RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 1. Effet de procédés de scarification et du stockage sur la germination des semences de luzernes

Les agriculteurs qui produisent leurs propres semences ou des producteurs professionnels de semences sont intéressés de savoir si un stockage prolongé de ces dernières impacte leur faculté germinative. Si oui, quels sont les procédés qui sont à leur disposition pour l'améliorer ou pour la rétablir. Ces informations pourraient également intéresser les sélectionneurs sachant que si la dormance des graines est nécessaire pour permettre l'auto régénération des luzernières notamment en système ley farming, en première installation, le pouvoir germinatif des semences doit être de bonne qualité pour permettre un recouvrement rapide du sol. Les chiffres de **80-85% de germination** pour valider cette qualité sont donnés.

Dans ce premier chapitre de nos résultats, nous avons étudié plusieurs aspects de l'état de la qualité des graines de luzernes annuelles de l'Algérie :

- L'effet du stockage des graines sur leur aptitude à germer (ou pouvoir germinatif),
- Leur type de dormance par le biais de tests de germination,
- Le comportement de nos graines de luzernes, face à des procédés de scarification fréquemment utilisés pour améliorer la germination des graines en sylviculture, en arboriculture fruitières et ornementales par les pépiniéristes.

2. Résultats

Essai 1. Effet de stockage associé à des procédés de scarification sur la germination et la cinétique de germination

Travail 1. Effet du stockage

La qualité d'une graine ne se résume pas à une bonne qualité sanitaire ou à une bonne capacité à germer, mais elle doit aussi maintenir cette capacité à germer au cours du **stockage**. Cette capacité est appelée aptitude à la conservation ou **longévité** (Raveneau, 2012).

Des semences récoltées en 2004 et en 2012 ont été soumises en 2015 à des expériences de germination, associées à des procédés de levée de dormance. Les semences récoltées en 2004 avaient **11 ans** de stockage et celle récoltées en 2012, **3 ans**. Les résultats apparaissent dans le **tableau 17**.

Pour la récolte 2004, toute population de luzerne confondue, le pourcentage moyen de germination varie de **91%** pour le procédé d'abrasion des téguments à 5% pour le traitement à la chaleur sèche (200°C pendant 20 mn). Ce dernier procédé génère même un pourcentage de germination de 0.0 % pour la population T201 de l'espèce *M truncatula*. Autrement, aucun des autres procédés n'autorise plus de 23 % de germination à l'exception de l'azote liquide (25 mn de trempage) qui affiche, 57 % de germination.

En hiérarchisant les procédés en termes de : **excellent - moyen et médiocre** on obtient : Procédé Méca (91%) – Procédé NL 25 mn (57%) – Procédé Etuve 200°C (5%).

Pour la récolte 2012, cette hiérarchie n'a pas été modifiée, elle est de : Procédé Méca (87%) – Procédé NL 25 mn (55%) – Procédé Etuve 200°C (15%). On remarquera qu'en 2012, Etuve 200°C est passé de 5% à 15% mais concrètement reste très faible.

La moyenne générale de germination, tout procédé de traitement confondu, est de 31% pour la récolte 2004 et 36% pour la récolte 2012, soit une petite différence de 14% en faveur de la récolte 2012. De même, on observe par le calcul à partir des données du **tableau 18**, que le CV moyen de germination, tout procédé de traitement confondu, est de 0.8 pour 2004 contre 0.6 pour 2012 ce qui indiquerait qu'avec le stockage, les graines se discriminent un peu plus, mais cette différence est faible et non significative.

Tableau18 : Effet du stockage associé à des procédés de scarification sur la germination (%) de populations de luzernes annuelles.

Espèces	Pops	Ans	Méca.	H2O	Etuve	H2SO4		Froid	NL	Moy.	ET	CV
				4 mn	200°C	5 mn	180 mn	60 mn	25 mn			
<i>M truncatula</i>	Tr55	2004	52,6	19,9	3,6	33,3	11,8	0	89,7	30,13	31,93	1,06
	T201	2004	92,8	4,2	0	9,5	0	25	78,4	29,99	39,15	1,30
<i>M ciliaris</i>	S5	2004	100	11,1	8,3	0	16,1	2,9	20,9	22,76	34,81	1,53
	S7	2004	90,5	14,3	5,3	2,6	0	9,5	23,9	20,87	31,73	1,52
<i>M polymorpha</i>	Poly205	2004	93,3	11,4	1,7	25	8,8	33,3	63,8	33,90	33,35	0,98
	PoLY60	2004	100	6,4	8,9	0	44,4	14,3	43,7	31,10	35,20	1,13
<i>M. muricoleptis</i>	Aus106	2004	92,6	3,4	12,5	3,6	0	8,1	62	26,03	36,34	1,39
<i>M intertexta</i>	I756	2004	100	50	3,7	6,7	95,2	37,9	71,8	52,19	39,05	0,75
	I52	2004	100	22,2	1,3	7,1	30,4	23,8	55	34,26	33,78	0,98
Moy. 2004 ± ET	-	-	91,3 15,1	15,9 14,4	5,1 4,1	9,8 11,6	23,0 31,0	17,2 13,4	56,6 23,4	31,3 16,1	31,3 8,7	- -
CV	-	-	0,16	0,91	0,80	1,18	1,35	0,77	0,41	0,51	0,28	0,55
<i>M.truncatula</i>	Tr55	2012	100,0	20,4	19,4	25,0	27,3	28,6	68,4	41,3	30,87	0,75
	T201	2012	71,4	12,5	23,2	66,7	28,1	24,1	85,2	44,5	26,82	0,60
<i>M. ciliaris</i>	S5	2012	100,0	10,0	6,1	0,0	26,3	13,6	29,4	26,5	31,55	1,19
	S7	2012	75,0	14,3	23,5	25,0	59,1	9,5	32,0	34,1	22,34	0,66
<i>M.polymorpha</i>	Poly205	2012	46,9	6,9	3,2	5,5	80,0	20,0	70,0	33,2	29,92	0,90
	PoLY60	2012	100,0	16,7	14,7	23,1	26,2	13,6	43,7	34,0	28,58	0,84
<i>M.muricoleptis</i>	Aus106	2012	87,5	14,3	2,7	7,1	1,4	18,9	39,1	24,4	28,36	1,16
<i>M.intertexta</i>	I756	2012	100,0	50,0	14,8	26,1	10,4	23,1	61,6	40,9	29,64	0,72
	I52	2012	100,0	70,0	26,9	6,2	8,6	9,5	68,2	41,3	34,87	0,84
Moy. 2012 ± ET	-	-	86,7 18,8	23,9 21,4	15,0 9,1	20,5 20,1	29,7 25,1	17,9 6,7	55,3 19,7	35,6 17,3	26,26 6,75	- -
CV	-	-	0,2	0,9	0,6	1,0	0,8	0,4	0,4	0,6	0,30	-
Moy. Gle	-	-	89,0	1,9	10,0	15,1	26,3	17,5	56,0	30,8	30,91	-
RSE	-	-	17,6	18,2	7,1	16,4	28,2	10,6	21,6	17,1	6,92	-
R2	-	-	0,0	0,1	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,13	-
P	-	-	0,6	0,4	0,0	0,2	0,6	0,9	0,8	0,5	0,32	-

Légendes : Pop : populations de luzerne ; **H2O** : Eau bouillante 100°C ; **Etuve** : 20 mn ; **H₂SO₄** : acide sulfurique ; **Méca.** Traitement mécanique ; **Froid** : congélateur à -18°C ; **NL** : azote liquide, **Moy. Gle** : moyenne générale

La question finale est : Est-ce le stockage a un effet sur le pouvoir germinatif des graines des 9 populations de luzernes annuelles que nous avons testée ? La réponse est donnée par l'analyse de variance du bas du **tableau 18**. Il apparaît qu'il n'y a pas de différence significative de germination entre les populations récoltées en 2004 et celles récoltées en 2012 et traitées en 2015, soit 11 ans de

stockage, ceci pour l'ensemble des procédés de scarification. Le traitement à la chaleur humide en fait exception puisqu'il explique 40 % des variations de la germination ($p < 0.05$) contre en moyenne 4% pour les 6 autres procédés.

Dans ce premier essai, on peut considérer que la dormance des graines des populations de luzernes annuelles testées reste très élevée après traitement. Les procédés utilisés n'ont pas été satisfaisants à l'exception toutefois du procédé abrasif (dit mécanique) qui satisfait des niveaux de germination de 80-90 %, niveau généralement attendu sur le terrain par les professionnels. Suivi par le traitement à l'azote liquide 56% qu'on peut améliorer.

Travail 2. Cinétique de germination des semences d'espèces de *Medicago*

Comme nous l'avons dit précédemment, la cinétique nous a paru nécessaire pour mieux définir le temps d'exposition que nous avons à utiliser dans un troisième travail. L'azote liquide et l'acide sulfurique ont été choisis car, ce sont des produits dont l'action est violente avec risque de détruire l'embryon en même temps que le tégument, si le temps de trempage n'était pas approprié.

1. Trempage dans de l'azote liquide

Sur la plage de temps de trempage que nous avons choisi, les résultats qui figurent dans le **tableau 18** montrent différents types de variations de la germination, selon l'espèce de luzerne concernée. Ainsi, la germination de *M. ciliaris* est croissante sur la totalité du temps de trempage. *M. truncatula* est croissante sur la plage 5-25 mn puis dessine une pente. *M. intertexta* est carrément décroissante sur toute la plage des quatre temps de la cinétique. Quant à *M. polymorpha*, les variations de la germination sont en dents de scie. Le coefficient de variations le plus faible est noté pour *M. intertexta* (11%) et le plus élevé pour *M. ciliaris* (42%).

Ces différents comportements spécifiques sont illustrés par la **figure 16**. A chaque courbe mère (en couleur) de chacune des espèces, nous avons associé une courbe de tendance (en noir), embrassant les deux extrémités de la courbe mère (pour la suite et pour plus de clarté, nous utiliserons le terme de courbe de tendance, même s'il s'agit d'une droite ; selon le principe admis : « Une ligne droite est une courbe particulière, à courbure nulle »).

Les équations de ces courbes sont données dans le **tableau 19**. A partir de la dérivée de l'équation de la courbe théorique de tendance de *M. truncatula* et de *M. polymorpha*, qui trace une courbe d'ordre 2, il est possible de calculer, le point d'inflexion en minutes, en fait concrètement, le temps de trempage théorique qui donne le pourcentage maximum de germination. Ce point théorique se produit respectivement après 22-23 minutes de trempage pour ces deux espèces. Le pourcentage de germination est alors de 75 et de 51 respectivement pour *M. truncatula* et *M. polymorpha*.

Tableau 19 : Cinétique de la germination (%) après trempage dans de l'azote liquide

Espèces	Temps de trempage (mn)				Moyenne P.C	ET	CV	Pd 1000 G
	5	15	25	37				
	Pourcentage de germination							
<i>M. ciliaris</i>	16.5	25.4	26.6	44.6	28.3	11.8	0.42	13.21
<i>M. truncatula</i>	45.2	63.0	80.4	49.2	58.7	16.9	0.29	3.58
<i>M. intertexta</i>	77.1	69.0	64.2	59.6	67.5	7.5	0.11	15.77
<i>M. polymorpha</i>	35.3	24.4	55.3	40.7	38.9	12.9	0.33	3.24
Moyenne	43.5	45.4	56.6	48.5	-	-	-	-

PC : Points de cinétiques ; ET : écart-type ; CV : coefficient de variation ; PdG : poids de mille grains

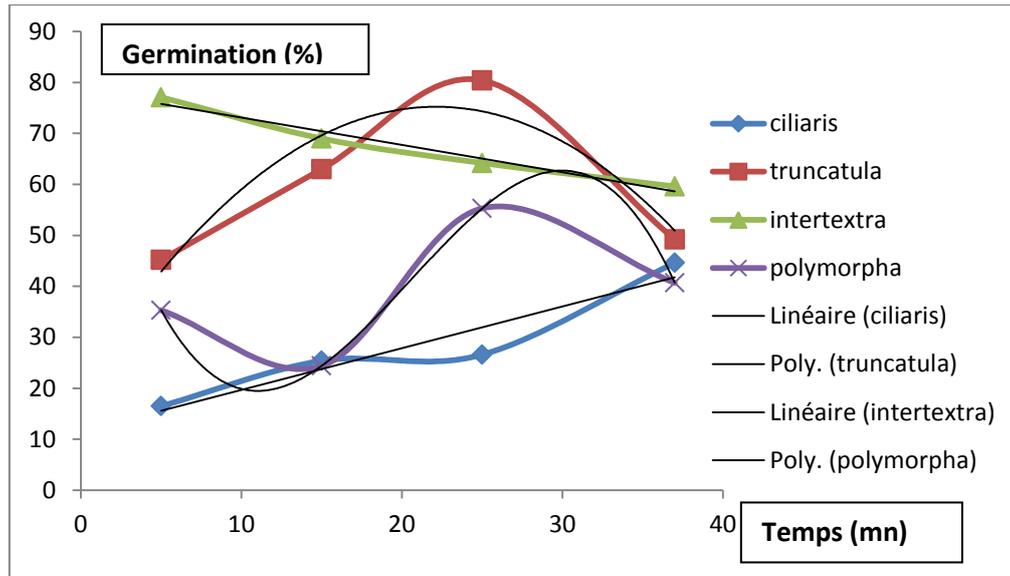


Figure 16. Courbes de variations (associées aux courbes de tendance) de la germination après trempage dans de l'azote liquide à différents temps.

Pour *M ciliaris*, la courbe de tendance est une droite à coefficient de pente positif mais faible. Ceci traduit une vitesse lente de germination, même si elle est croissante pour chaque temps de trempage. On remarque (**Tableau 20**) que la valeur maximale de germination (environ 45%) se trouve dans la zone de temps de trempage de 37 mn, temps expérimental maximal dans notre cinétique de germination. Il ressort donc, une absence de point d'inflexion (normal, il s'agit d'une droite). Il s'agirait d'encadrer en amont le temps 37 d'un point de cinétique de temps plus réduit et de deux ou trois points de temps plus long en aval pour affiner la recherche du temps optimal. Les calculs montrent que pour obtenir une germination de 100% le temps théorique serait de 109 minutes (**tableau 19**).

Quant à *M intertexta*, nous avons également comme courbe de tendance, une droite mais de coefficient de pente négatif. « X » ne peut prendre concrètement une valeur négative car, la valeur de temps « 0 » de trempage correspond théoriquement au témoin non traité. Comme on peut le constater dans le **tableau 19** à un temps de trempage de 5 mn, la germination moyenne atteint 77% : 78% calculé avec l'équation de la courbe de tendance (**Tableau 20**). Une amélioration éventuelle de la germination ne peut théoriquement être tentée qu'en amont du temps de 5 mn de trempage.

Tableau 20 : Equations des courbes de tendance de la figure 16

	Equations	R ²	MaxGt (%)	Tt (mn)
<i>M ciliaris</i>	$Y = 0,817x + 11,52$	0.902	100	109
<i>M. truncatula</i>	$Y = -0,11x^2 + 4,870x + 21,32$	0.882	75.2	23
<i>M. intertexta</i>	$Y = -5.36x + 78.48$	0.967	78.5	5
<i>M. polymorpha</i>	$Y = -0,012x^3 + 0,778x^2 - 12,54x + 80,14$	0.998	51.4	22

Max Gt : maximal théorique de germination ; Tt : Temps théorique de trempage au maximal de germination

2. Trempage dans l'acide sulfurique

Les résultats figurent dans le **tableau 21**. Comparativement à l'azote liquide, le pourcentage moyen de germination enregistré pour les quatre espèces est plus faible avec l'acide sulfurique : 34.8 contre 48.5

pour l'azote liquide. De même, le Cv est moins élevé que pour l'acide sulfurique : 28.7 versus 56.3. Ces différences sont imputables à des points de cinétique trop dispersés (écart type élevé) pour l'acide sulfurique, s'agissant par ailleurs, d'un produit très drastique. *M.truncatula* présente une courbe ascendante des variations de la germination. Proche d'une droite, son coefficient de pente est négatif et très faible. Elle ne présente pas de solutions éclairantes pour la germination. Les trois autres espèces présentent des courbes respectives en « U » renversé dont les courbes de tendance sont des paraboles presque parfaites (**Figure 17**).

Tableau. 21 : Cinétique de la germination (%) de la semence d'espèces de *Medicago* après trempage dans de l'acide sulfurique

Espèces	Temps d'exposition en mn			Moy. P.C	ET	CV	Pd 1000 G
	5	60	180				
	Pourcentage de germination						
<i>M. ciliaris</i>	6.9	66.5	18.1	30.5	31.7	1.04	13.21
<i>M. truncatula</i>	33.6	32.5	16.8	27.6	9.4	0.34	3.58
<i>M. intertexta</i>	11.5	66.9	36.2	38.2	39.2	1.03	15.77
<i>M. polymorpha</i>	13.41	82.9	33.3	43.2	35.8	0.83	3.24
Moyenne	16.3	62.2	26.1	-	-	-	-

P C :Points de cinétique, Pd 1000 G : poids de 1000graines

Les équations de ces courbes de tendance sont données dans le **tableau 22**. *M truncatula* trace une droite décroissante montrant sa sensibilité à l'acide sulfurique, même pour un trempage de durée courte de 5 mn. Toutes les autres courbes sont des paraboles qui montrent l'inefficacité des durées courtes de trempage tout comme celles de longues durées de 180 mn rappelant des temps de trempage trop dispersés. La zone de temps de trempage digne d'intérêt de cette cinétique se situe entre les points 50 et 100 mn de trempage, sauf *M truncatula* qui semble s'accommoder de petits temps de trempage (**Figure 17**).

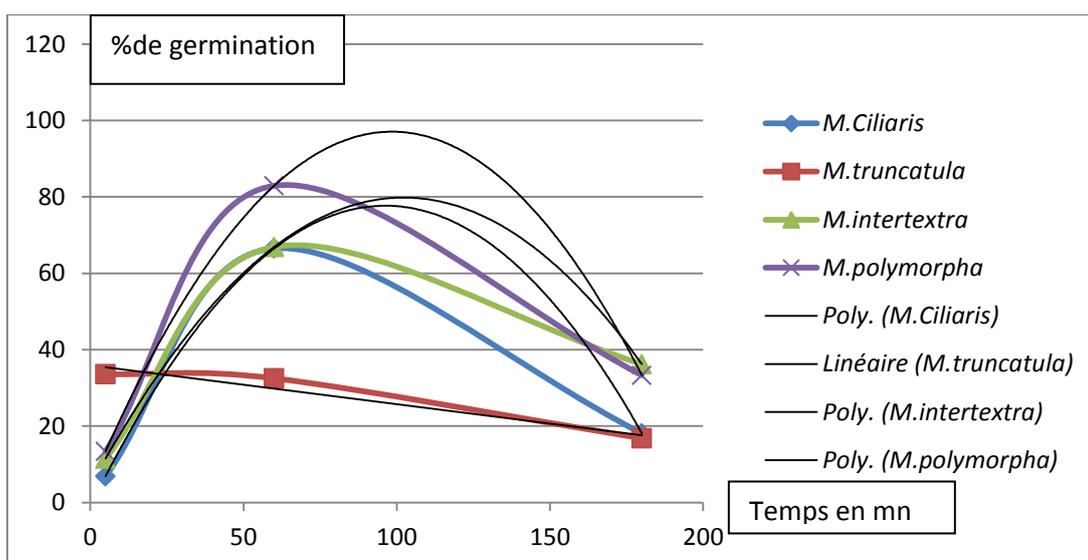


Figure 17 : Courbes de variations (associées aux courbes de tendance) de la germination après trempage dans de l'acide sulfurique à différents temps.

Tableau 22 : Equations des courbes de tendance de la figure 17

Espèces	Equations	R ²	Max Gt (%)	Tt (mn)
<i>M. ciliaris</i>	$Y = -0,008x^2 + 1,635x - 1,067$	0.991	82.5	85
<i>M. truncatula</i>	$Y = -0,101x + 35,93$	0.937	90	36
<i>M. intertextura</i>	$Y = -0,007x^2 + 1,476x + 4,298$	0.985	82.1	77
<i>M. polymorpha</i>	$Y = -0,009x^2 + 1,886x + 4,218$	0.978	95	99

Max Gt : maximal théorique de germination ; Tt : Temps théorique de trempage au maximal de germination

Essai 2. Germination comparative entre semences traitées et semences non traitées

Dans cet essai, les graines utilisées sont issues d'une récolte de l'année 2015. Nous avons conservé avec le même temps de traitement que dans l'essai 1, les méthodes de scarification à l'eau bouillante, la chaleur sèche (étuve à 180°C, 200°C), le froid (congélateur) et la méthode mécanique. Nous avons introduit des témoins non traités, les meilleurs temps de trempage décelés après la cinétique de germination dans l'azote liquide (37 mn) et dans l'acide sulfurique (60 mn), non expérimentés dans l'essai 1. Les résultats figurent dans le **tableau 23**.

Tout d'abord, il est intéressant de constater qu'en moyenne, les témoins non traités des 20 populations étudiées n'ont présenté qu'un faible pourcentage de germination de 10 % avec un minimum de 0 (9 populations : 45% des populations) et un maximum de 43 % : I31 de *M. intertextura*. Cette espèce est par ailleurs, la seule qui n'a présenté pour ses 6 populations aucune absence de germination, même si la moyenne, reste faible : 21 %. Pour les autres traitements, les plus performantes sont : la scarification mécanique (78% de germination), l'acide sulfurique pour un temps de trempage de 60 mn (66%) et à moindre degré, l'azote liquide pour 37 mn de trempage (48%).

Pour ce trio, nous remarquons, qu'il y a des différences significatives de germination d'une part en intra populations et d'autres parts en intra espèces. Il est à noter également, que la hiérarchie des procédés de scarification, en ce qui concerne les meilleurs procédés de traitements et les moins efficaces est la même que pour l'essai 1. Quant aux traitements physiques : chaleur sèche et froid congélateur, les résultats de germination sont sévèrement négatifs mais une autre cinétique avec d'autres temps à proposer : en moyenne, respectivement de 0.5 % de germination (19 populations sur 20 n'ont pas germé) et 2.7 % (16 sur 20).

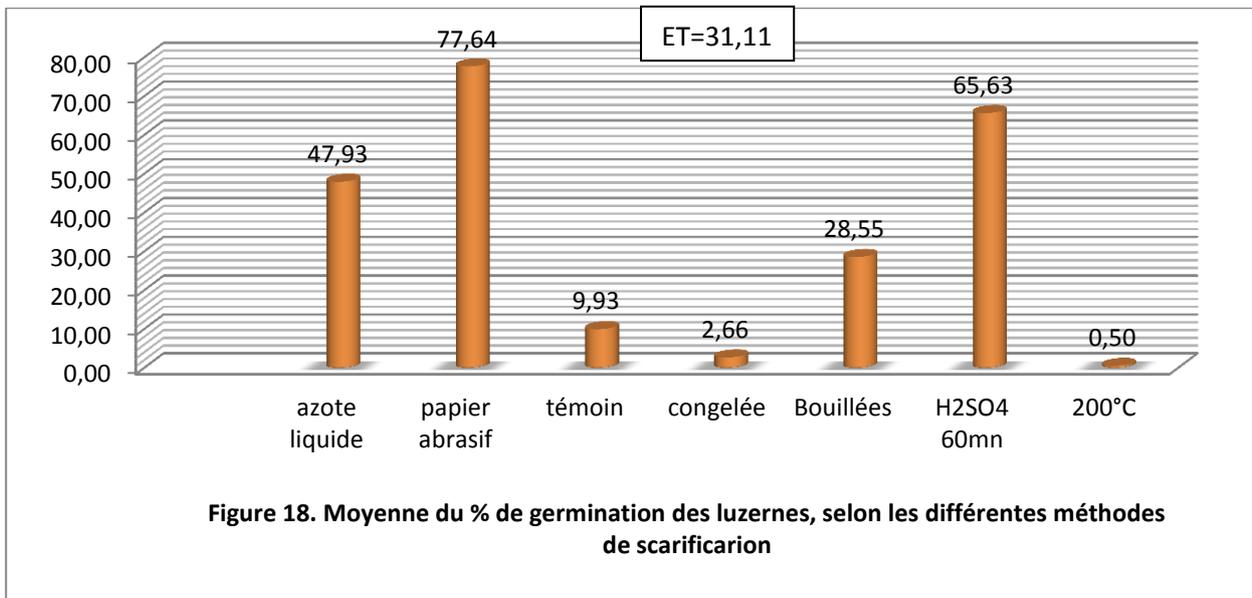
Tableau. 23 : Comparaison entre semences traitées et semences non traitées

Espèces	Pop	Témoins	H2O 100°C 4mn	H ₂ SO ₄ 60mn	Etuve 200°C 20mn	Froid 60 mm	Méca.	NL 37mm
<i>M. ciliaris</i>	C204	0.0 a	44.0a	100.0a	0.0a	0.0a	94.7a	8.3a
	C2	10.0 a	20.0b	100.0a	0.0a	0.0a	38.9b	64.3b
	C11	0.0	55.0a	40.0b	0.0a	0.0a	70.0c	73.8c
	C58	33.3 b	23.1c	31.8b	0.0a	0.0a	70.0c	71.0c
	S7	10.0 a	14.3c	65.0c	0.0a	0.0a	40.0d	61.5b
	S15	0.0 a	35.0c	55.0c	0.0a	0.0a	60.0e	18.2d
	S5	10.0 a	50.0a	73.7d	0.0a	0.0a	100.0a	55.6 ^e
	S3	0.0a	15.0	66.7e	0.0a	0.0a	83.3f	4.0f
Moyenne ± ET		9.04 a 11.39	30.34a 16.18	66.52a 24.89	0.0a 0.0	0.0a 0.0	69.61a 22.84	44.59a 26.65
CV		1.6	0.85	0.37	0.0	0.0	0.33	0.66
<i>M. truncatula</i>	Tr238	0.0a	0.0a	5.0a	0.0a	0.0a	63.2a	18.5a
	Tr27	10.0b	12.0a	75.0b	0.0a	0.0a	78.9b	66.7b
	Tr334	0.0a	9.1a	50.0c	0.0a	8.3b	65.0a	62.5b
Moyenne ±ET		3.33b 5.77	7.03b 6.26	43.33b 35.45	0.0a 0.0	2.77a 4.79	69.03a 8.59	49.23a 26.70
CV		1.73	0.89	0.82	0.0	1.73	0.12	0.54
<i>M. intertexta</i>	I52	10.0a	63.6a	61.1a	0.0a	0.0a	90.0a	88.9a
	I756	10.0a	86.4b	100.0b	0.0a	0.0a	94.7b	77.8b
	I107	33.3b	64.7a	50.0c	0.0a	0.0a	100.0b	72.2b
	I58	9.1a	85.7b	77.8d	14.3a	0.0a	90.5a	45.4c
	I31	42.9b	50.0c	44.4e	0.0a	0.0a	86.7a	60.0d
	I11	20.0c	70.0a	68.4a	0.0a	17.6b	90.0a	13.3 ^e
Moyenne ±ET		20.88c 14,25	70,1c 14,03	66,95a 20,21	2,38a 5,84	2,93a 7,19	91,98b 4,68	59,60b 27,18
CV		0,68	0,20	0,30	2,45	2,45	0,05	0,46
<i>M. polymorpha</i>	poly 218	0.0a	12.5a	75.0a	0.0a	0.0a	76.9a	33.3a
	poly 236	0.0a	5.6b	100.0b	0.0a	27.3b	60.0b	44.4b
	poly 27	0.0a	0.0b	73.7a	0.0a	27.3b	60.0b	44.4a
Moyenne ± ET		0.0 b 0.0	9,05d 4,88	82,9c 14,82	0.0a 0,00	18,2b 15,76	65,63c 9,76	40,7c 6,41
CV		0.0	1.1	0.2	0.0	0.87	0.15	0.16
Moy.Gle +ET		9.93 12.91	35.80 28.35	65.63 24.85	0.71 3.20	4.02 9.02	75.64 18.39	49.20 25.39
CV		1.30	0.78	0.38	4.51	2.24	0.24	0.52
RSE		11.15	13.63	24.16	3.26	7.07	16.01	26.47
R2		0.37	0.80	0.21	0.123	0.482	0.36	0.08
P		0.05	0.0001	0.28	0.53	0.01	0.06	0.70
Signification		*	***	NS	NS	***	NS	NS

Pour une colonne donnée, en intra populations d'une espèce et entre espèces, les valeurs qui diffèrent par deux lettres sont significatives au seuil de 0.05%. Légendes : Pop : populations ; H2O 100°C : Eau bouillante ; H₂SO₄ : acide sulfurique ; Méca. : Traitement Mécanique ; NL : azote liquide ; Froid : congélateur

La **figure 18** illustre l'efficacité des différents traitements appliqués.

Les résultats de cet essai 2 sont en tous points comparables (en termes de hiérarchie d'efficacité des traitements) à ceux de l'essai 1 comparant les années de stockage des semences.



2. Discussion

Avant de commencer cette discussion, il nous semble intéressant de noter que la littérature sur le traitement des semences de luzernes en vue de lever la dormance est rare. Il semble, que ce problème ne s'est pas posé avec acuité dans les pays développés. Lorsqu'on parle traitement de grains de luzerne, ce mot a trait le plus fréquemment à l'enrobage des grains (apport de bactéries *Rhizobia*, engrais ou autres...). Nous expliquons ce défaut de documentation du fait que très tôt l'industrie semencière s'est emparée du secteur et fourni des graines performantes aux agriculteurs. De même, le mot « dormance » est plus en rapport avec la luzerne déjà implantée (dormance hivernale, automnale). Malgré que la dormance de sa graine a été étudiée par **Lute 1928** et **Pfitzenmeyer 1963** et que nous avons visionné sur terrain. Il ressort que, nos recherches assidues sur le traitement des graines de luzerne pour lever la dormance, n'ont pas été fructueuses. Il nous semble que l'étude de la dormance des graines dans le monde a intéressé plus particulièrement les feuillus fruitiers et les semences forestières comme le montre les travaux archivés (**Muller et al, 1990 ; FAO, 1992**). Il est vrai que la démographie, la mondialisation (engouement pour les fruits tropicaux dans les pays du Nord) et le changement climatiques ont suscité de nombreux projet de reboisement, d'aménagement des parcours pastoraux dans le monde, de lutte contre la désertification, d'arborisation des grandes villes, activant ainsi, des travaux sur la germination, la dormance des graines et la levée de celle-ci par des traitements lorsqu'ils s'avéraient nécessaires et économiques. De même, les graines de plantes arbustives ou d'arbre ornemental ont également été beaucoup travaillées. Aucun élan de cette importance n'a vu jour pour le traitement des graines de luzerne qui nous intéresse ici. Lorsqu'il s'est agi de traitement de graines de légumineuses dans la littérature, la cible visée était sylvicole ou des fleurs, des plantes ornementales et décoratives. Aussi, autant, que possible, par défaut de littérature spécifiquement sur la graine de luzerne prétraitée, nous ferons appel à d'autres genres de légumineuses pour étayer nos résultats lorsqu'il s'avérerait nécessaire.

Nous n'insisterons pas sur l'effet du stockage sur la germination des graines où la question posée trouve facilement la réponse à la lecture du **tableau 18**.

2.1. Comment ces connaissances peuvent éclairer et expliquer nos résultats ?

2.1.1. Effet comparatif de quelques procédés de scarification sur la dormance et la germination des semences de luzerne

La semence est mise à germer 1 an après sa récolte, le **tableau 23** montre que les populations de luzernes témoins qui n'ont été soumises à aucun traitement, n'ont germé qu'à raison de 10%, après 10 jours de mise en germination. Certaines n'ont pas germé du tout : *M polymorpha*, *M truncatula*, d'autres, de façon très réduite (*M ciliaris*), seule l'espèce *M intertexta* a présenté un taux de germination pour ses 6 populations. Cette très grande hétérogénéité des taux de germination est signalée par de nombreux auteurs. Elle s'explique par l'histoire et l'itinéraire personnels de chaque graine : facteurs génétiques propres de la graine (état sanitaire, l'âge de la plante mère, sa position sur la plante mère, sa couleur, son poids..) ; des facteurs avant récolte, de récolte, après récolte et ceux des conditions de mise en germination (**Côme, 1993**). L'hétérogénéité des graines peut aussi se manifester par la couleur des graines (**Midgley, 1926 ; Crosaz, 1995**). Ainsi, chez *Hedysarum coronarium* L dont la couleur des graines dans une même récolte était du blanc jaunâtre du brun clair et du brun, foncé, le pourcentage de graines dormantes était respectivement de 60-65% de 30-35 et de 10-15% (**Côme et Semadeni, 1973**). Cette tendance d'une meilleure germination des graines de couleur foncée est vérifiée pour nos résultats puisque, les graines (non traitées) de couleur noire de *M ciliaris* et de *M intertexta* présentent les meilleurs taux de germination (respectivement : 9 et 21% contre 3 et 0 pour *M truncatula* et *M polymorpha*), même bien faible en valeur absolue. La différence de couleur, traduirait des différences de dureté des graines (**Gaden, 1993**) et d'épaisseur du tégument vérifiée par les coupes et coloration sous microscope, Le poids de 1000 grains serait aussi positivement relié à la germination, ce qui est également validé : 13.2 et 15.8 pour *M ciliaris* et de *M intertexta* contre 3.6 et 3.2 pour *M truncatula* et *M polymorpha*. Néanmoins, une expérience de **Chesneaux et Rullaud (1974)** mettant en œuvre 15 variétés de luzerne de type Flamand, n'a mis en évidence ni l'effet du poids, ni celui de la couleur sur le pourcentage de germination. Il semble que les relations entre phytochromes et germination (pour les plantes à photosensibilisation positive) tout comme celles avec la couleur des graines sont sous l'égide de l'environnement climatique, très actif dans la couleur des graines et de la stimulation des phytochromes.

Enfin, les résultats du **tableau 23**, valident clairement que les graines des 20 populations de luzernes issues de quatre espèces de *Medicago* présentent une forte dormance : 90% des graines sont dormantes (ou dures) et n'ont pas germé. **Pinfield et Dungey (1985)** indiquent que les légumineuses sont des espèces méditerranéennes dont les graines montrent une forte dormance qui empêche la germination. Nos graines de luzerne seraient donc naturellement dormantes. Le processus physiologique, mettant en place la dormance de la graine se déroule durant la période de murissement de la graine aboutissant à ce que, 90 % des graines récoltées pourrait être dormantes (**Chen et al., 2001**), ce chiffre correspond à celui que nous avons obtenu en moyenne pour les semences témoins non traitées (**Tableaux 18 et 23**).

Quel serait le type de dormance dont souffrent nos graines?

Dans ce même **tableau 18**, nous avons observé deux résultats opposés : la scarification abrasive se révèle un traitement particulièrement performant, faisant passer en moyenne la germination de 10%

(non traité) à 76 % après scarification abrasive (avec des populations germant à 90 % et même à 100%). A l'opposé, le traitement thermique à chaleur sèche (Étuve 200°C pendant 20 mn), présente un taux de germination nul (0.70%), la presque totalité des populations n'ont pas germé.

Le stockage est rapporté comme des facteurs de durcissement des enveloppes des graines (**Vora, 1989**). Tout comme, des graines récoltées après un été exceptionnellement sec et chaud, ces graines sont plus résistantes à l'imbibition. De même, un climat aride favorise la formation de graines dures et en extension, l'inhibition tégumentaire à l'imbibition : cas d'*Ulex parviflorus*, **Pourret (Ballini, 1992)**. Plus intéressant, **Crosaz (1995)**, citant **Bolton** indique que, la résistance à l'imbibition augmente après passage à l'étuve à 100°C pendant 15 minutes. **Patane et Gresta, (2006)** vont encore plus loin puisque chez *Medicago orbicularis* même après 2mn d'exposition à 100°C, 98% des graines n'ont pas germé. Pour **Villeneuve (1991)**, la graine de luzerne résiste jusqu'à une température de 120°C mais pas au-delà de 30 mn. Notre température d'exposition étant de 200°C pendant 20 mn, le taux de germination de 0.7%.

Il apparaît donc clairement, que la dormance de nos graines est de type tégumentaire. Leurs enveloppes tégumentaires sont imperméables à l'eau, il a suffi qu'elles soient brisées pour permettre la pénétration de l'eau accompagnée de l'oxygène pour déclencher tout le processus de la germination que nous avons évoqué plus haut. Néanmoins, si la pénétration de l'eau est strictement nécessaire et n'est pas perturbée dans la plupart des cas par la structure anatomique des enveloppes, pour l'oxygène, c'est la structure anatomique des téguments qui contrôlent le passage de celui-ci jusqu'à l'embryon. En effet, pour les semences non imbibées, selon **Côme (1982)**, il existe deux sortes de structures qui s'opposent au passage de l'oxygène :

- une structure jointive où toutes les cellules de l'enveloppe sont étroitement accolées ;

- une structure non jointive, mais recouverte d'une couche superficielle de mucilage imperméable. Lorsqu'une graine est imbibée, l'oxygène dissous dans l'eau doit traverser les enveloppes pour rejoindre l'embryon. On comprend que plus celle-ci est perméable, plus le débit d'oxygène vers l'embryon sera important. Notons par ailleurs que, l'embryon peut être privé d'oxygène même si l'enveloppe est perméable. En effet, les substances phénoliques, nombreuses dans les enveloppes des graines de légumineuses, en s'oxydant sous l'action de polyphénoloxydases, soustrait de l'eau d'imbibition une bonne quantité de l'oxygène dissout. Sachant par ailleurs que, plus la température est élevée, moins l'oxygène est soluble dans l'eau et plus l'oxydation des substances phénoliques s'intensifient, on comprend que de nombreuses espèces de graines ne germent plus à 25-30°C. Ce manque d'oxygène, dû à des températures trop élevées, peut provoquer l'entrée en dormance de l'embryon, même si la graine est imbibée, on parle de thermodormance. Par exemple, ce phénomène pour le grain de blé se produit à des températures de 30-35°C (**Corbineau et al., 1993**).

En appui à la validation d'une dormance tégumentaire chez la presque totalité des graines expérimentées, nous observons par ailleurs, que les deux autres traitements (l'acide sulfurique et l'azote liquide), qui sont réputés causer des craquelures au niveau des téguments, permettant l'entrée de l'eau et de l'oxygène, font parties avec la scarification abrasive, du trio des meilleurs prétraitements de notre travail.

Néanmoins, si la dormance des graines représente un désavantage agronomique pour bon nombre de graines, ce n'est pas toujours le cas pour la luzerne annuelle utilisée dans un système de rotation

luzerne-céréale dont le principe est l'auto régénération, la troisième année du semis, un reliquat de 20 à 30 % de graines dures est souhaitable selon **Chatterton et Chatterton (1991)**.

2.1.2. Effet du stockage associé à divers procédés de scarification sur le pouvoir germinatif de nos luzernes

La qualité d'une graine ne se résume pas à une bonne qualité sanitaire ou à une bonne capacité à germer, mais elle doit aussi maintenir cette capacité à germer au cours du stockage. En effet, souvent dans les pays en voie de développement, l'agriculteur s'auto-provisionne en semences. La connaissance de la capacité germinative devient un outil de gestion.

Les données du **tableau 18**, nous a permis plus haut de répondre à la question. En effet, après 11 ans de conservation dans des sachets en papier en conditions ambiante, variable de température, d'hygrométrie et de lumière, durant laquelle, les téguments ont dû encore durcir les graines ont germé à 90%, après une simple scarification abrasive. Nous avons vu plus haut que la dormance de nos graines était du type tégumentaire. Les téguments, ont aussi ce rôle de protéger l'embryon contre les mauvaises conditions environnementales qui pourrait l'endommager au cours du stockage. Pour cela, il met en jeu deux mécanismes: rétrécissement des cellules de l'enveloppe des graines et l'imprégnation des cellules avec des substances hydrophobes, qui prolongent activement la longévité des semences (**Tran et Kavavgh, 1984**). A cette action de l'enveloppe tégumentaire, s'ajoute celle propre de l'embryon tant physique que chimique et métabolique, contribuant au maintien d'une activité métabolique faible (**Sattler et al, 2004; Walters et al, 2005**). A cette capacité s'ajoute, la possibilité d'éliminer en son sein, des composés toxiques (par exemple, des formes réactives de l'oxygène) mais aussi à réparer ou à renouveler les constituants cellulaires altérés au cours du stockage (**Bailly, 2004 ; Rajjou et Debeaujon, 2008**). **Kenyon, (2001)**, a montré par ailleurs que, ces processus pouvaient être modifiés en jouant sur l'expression des gènes. Mais, la nature a devancé l'homme puisque des graines de *Canna compacta* (balisier), *Nelumbo nucifera* Gaertn. (Lotus) ont pu se conserver respectivement 600 ans et 1288 ans après leur récolte (**Lerman et Cigliano, 1971 ; Shen-Miller et al, 1995**). Néanmoins, en dehors de ces exemples exceptionnels et historiques, même dans des conditions idéales de stockages, des phénomènes de détérioration avec le temps se produisent. La durée de vie d'une graine est donc déterminée par son potentiel génétique et physiologique de conservation et par les conditions environnementales changeantes qu'elle rencontre dans nos conditions de stockage. Le contrôle de la quiescence est assuré par le jeu d'équilibre du rapport ABA/GAs (**Corbineau, 2017**).

Ewart (1908 in Crosaz, 1995) a classé les semences en trois catégories : les semences macrobiotiques, qui vivent plus de 15 ans, les semences mésobiotiques, les plus nombreuses, qui ont une durée de vie comprise entre 3 et 15 ans, et les semences microbiotiques, qui ne survivent pas plus de 3 ans ; certaines meurent même après quelques jours (*Oxalis* sp.) ou quelques semaines (*Populus* sp.). Nos graines de luzerne sont donc des semences mésobiotiques.

2.1.3. Intérêt des courbes de tendance

Nos résultats nous autorisent à rejoindre, la **FAO (1992)** et **Rajjou et al. (2004)**, selon lesquels, une même technique de scarification n'est pas efficace sur les graines de toutes les espèces et, pour une espèce donnée, les différents traitements réalisés n'amènent pas aux mêmes résultats. Nous sommes tentés de nuancer la première assertion, en ajoutant un autre facteur. Car, on peut supposer que : les différences observées, ne sont pas forcément imputables à la technique de traitement elle-même, mais

de l'adéquation de la technique et ses modalités d'utilisation aux caractéristiques génétiques de la graine, son itinéraire et son histoire. Concrètement, par des cinétiques, bien menées (temps de trempage dans le produit, ou temps d'exposition de la semence au facteur de traitement), il est possible d'approcher pour un produit ou un facteur de prétraitement donné, cette adéquation : temps d'exposition et caractéristique génétique de la graine. Dans notre travail, à partir des courbes de tendance (**Figures 7 et 8**) et des équations de ces courbes de tendance (**Tableaux 20 et 22**), nous avons calculé pour les polynômes, les coordonnées de leur sommet que nous avons appelé Max Gt (pourcentage maximum de germination théorique). Ce point représente celui à partir duquel commence l'inflexion de la courbe c'est-à-dire, un changement de direction de la germination. Pour les droites, le Max Gt représente leur constante en effet, pour $x=0$, nous nous retrouvons théoriquement dans la situation d'une graine non traitée. De même, a été calculé, le temps de trempage théorique (Tt) nécessaire pour atteindre le Max Gt, comme le montre les données théorique du **tableau 24** pour l'azote liquide et pour l'acide sulfurique. Dans ce tableau apparaît, la notion de **zone d'intérêt**, c'est-à-dire la zone dans laquelle, il faudrait expérimenter des temps de trempage rapprochés pour se rapprocher le plus de l'adéquation entre le temps de trempage et les caractéristiques génétiques de la semence.

Tableau. 24 :Zones d'intérêt en temps de trempages pour une amélioration de l'efficacité de la scarification

Azote liquide (NL)				Zones d'intérêt (mn)
	R ²	Max Gt (%)	Tt (mn)	
<i>M. ciliaris</i>	0.902	100	109	30-120
<i>M. truncatula</i>	0.882	75.2	23	20-30
<i>M. intertexta</i>	0.967	78.5	5	2-10
<i>M. polymorpha</i>	0.998	51.4	22	20-30
Acide sulfurique (AS)				
<i>M. ciliaris</i>	0.991	82.5	85	50-100
<i>M. truncatula</i>	0.937	35.9	0	1-5
<i>M. intertexta</i>	0.985	82.1	77	50-100
<i>M. polymorpha</i>	0.978	95	99	50-100

Les courbes de tendance traduisent le traumatisme heureux ou malheureux provoqué par le traitement. Ainsi, on voit pour le traitement NL (**Figure 7**) que, *Mintertexta* est déjà récalcitrant à l'NL pour un temps de trempage de 5 mn. Le coefficient directeur de la courbe de tendance est négatif (**Tableau 20**) avec une constante de 78.5% de germination cela revient à considérer théoriquement que non traitée, la germination sera déjà élevée, approchant 80%. La vérification peut se faire en consultant le **tableau 22** de l'essai 2. Sans être élevée en valeur absolue, elle est 5 fois plus élevée comparativement aux trois autres espèces (21% contre 4% en moyenne pour les trois autres espèces). De même, avec la technique d'abrasion, elle a germé à 100% pour les récoltes 2004 et 2012 de l'essai 1 et à 92% dans l'essai 2. Il apparaît pour *M. intertexta*, si on souhaite améliorer la germination en utilisant l'NL, la zone expérimentale de temps de trempage appropriée est : 1-5 mn. Au contraire, pour *M. ciliaris* dont le coefficient de la courbe est positif, le pourcentage de germination aura tendance à progresser avec le temps de trempage permettant d'atteindre 100 % de germination. Ce temps, serait théoriquement de 109 mn.

Pour la cinétique avec l'acide sulfurique (AS), l'espèce à remarquer plus particulièrement est *M. truncatula* qui semble très récalcitrante à l'action de l'AS. Avec un coefficient directeur négatif de la courbe de tendance, son MaxGt est la constante, soit 36 % de germination, valeur comparable à celle

du premier point de cinétique (5 mn de trempage) qui est de 34% (**Tableau 21**). Elle n'a pas réagi vigoureusement au temps de trempage de 60 mn introduit dans l'essai 2, elle affiche 32,5 % de germination contre 62 % en moyennes pour les trois autres espèces qui ont réagi vigoureusement (**Tableau 21**). La zone d'intérêt pour *M truncatula* en termes de temps de trempage est inférieure donc à 5 mn.

Ces courbes de tendance, ne sont pas sans intérêts, elles permettent :

- de visualiser les luzernes qui sont récalcitrantes à tel ou tel produit ou facteur de traitement et dans leur ensemble, leur hétérogénéité génétique face à un panel de traitements,
- de faire le choix d'un type de traitement, plus facilement,
- de déterminer le MaxGt et en extension, la zone de temps de trempage ou d'exposition des semences au produit ou facteur de traitement (zone d'intérêt) dans laquelle, on pourrait encore améliorer le pourcentage de germination.

Ces résultats nous révèlent que, pour tous les types de traitements que nous avons expérimentés, nous aurions dû préalablement effectuer des cinétiques de traitement pour mieux choisir nos temps de trempage et en extension, affiner le plus possible l'adéquation : temps de trempage – caractéristiques génétiques de la semence.

2.1.4. Quels sont les produits qui ont servi à notre cinétique ?

Les deux produits de traitement dont nous avons fait la cinétique pour observer le comportement des populations de luzernes en leur présence, sont les produits chimiques de laboratoire les plus utilisés pour lever la dormance des graines. Néanmoins, sur le terrain, seul l'acide sulfurique a trouvé quelques débouchés d'utilisation (semences très dures des arbres des pays du Sud (**FAO, 1992**). L'azote liquide est resté un produit de luxe, générateur de froid extrême pratique pour des traitements en petites quantités en laboratoire.

➤ L'Acide sulfurique

Crosaz(1995), parlant de traitement des graines, relève que celles des légumineuses ont été les plus expérimentées à cause de leur dormance très répandue. De nombreux autres produits ont été testés : Le thiocarbamide, nitrate de potassium ; Acetylsalicylic acid ; thiocarbamide (**Farajollahi et al, 2014**), chlorure de sodium comme prétraitement de la luzerne dans les sols salins (**Farissi et al, 2016**).

Quelle que soit, la nature botanique de la graine, parmi tous ces produits, l'acide sulfurique et l'azote liquides sont le plus utilisé en laboratoire. Sur le terrain, des dispositifs permettent d'utiliser l'acide sulfurique à grande échelle (**FAO, 1992**).

Acide sulfurique pour son caractère corrosif, est utilisé pour agresser le tégument pour faciliter le passage de l'eau et de l'oxygène à travers les enveloppes de la graine. Sur les graines de la légumineuses *Anthyllis vulneraria* L., **Crosaz(1995)** montre que, la germination a été croissante des 30 mn de trempage, pour atteindre 80% avec 160 mn. Pour l'auteur, l'acide, à ce temps de trempage, cause des dommages à l'embryon. Dans l'essai 2 (**Tableau 22**), 9 populations appartenant aux quatre espèces concernées présentent des valeurs approchant ou dépassant les 80% de germination pour le temps de trempage de 60 mn. Aucune des quatre espèces n'a germé de façon croissante au-delà de 60 mn. Néanmoins, il est manifeste que la distance entre 60 mn et 180 mn de trempage était trop ample

pour le vérifier. Et puis, il est vrai que les courbes de tendance montrent pour *M ciliaris*, *M intertextura* et *M polymorpha* une réserve de potentiel de germination dans la zone 80-100 mn de trempage.

Crosaz(1995) précise, qu'au-delà de 160 mn de trempage, l'embryon des semences de *Anthyllis vulneraria L.*, est endommagé par l'acide. Ce qui s'est produit dans notre cas puisque, nous observons une forte décroissance de la germination (de 66 à 26%) en passant de 60 mn 180 de temps de trempage (**tableau 17 et 22**). Cette chute ne peut s'expliquer que par la mort de l'embryon de certaines populations par pénétration de l'acide dans la graine au cours du trempage pendant 180 mn, c'est le cas de Tr 201 ; C7 ; et Aus 106 (qui est un témoin australien). Parallèlement, poly 206 (80%) et I1756 (95%) ont bien germé. Nous sommes là encore face à l'hétérogénéité génétique des populations de luzernes maintes fois signalées.

De même, plusieurs espèces de *Coronilla*, n'ont pas germé après trempage dans l'acide sulfurique s'étalant de 5-30 mn (**Puech, 1982 ; CEMAGREF, 1993**). Sur des graines de luzerne arborescente (*Medicago arborea L.*), **Guerroujeet al, (2015)**, ont utilisé des temps de trempage de 2-4 et 6 mn dans de l'acide sulfurique concentré et n'ont pas observé d'amélioration de la germination par rapport au témoin après 20 jour de culture (environ 50%), par contre le temps de trempage de 6 mn n'a généré que 5% de germination. Le comportement de *Medicago arborea L.*, vis-à-vis de ce temps de trempage s'apparente à celui de notre *M truncatula* bien que plus performante (**Figure 9**).

Husson et al. (2008), parlant de la luzerne tropicale (*Stylosanthes guianensis*), estime que l'acide sulfurique est trop dangereux pour une manipulation fermière et recommandent, le traitement mécanique. Enfin, **Vera, (1989)** dans de nombreux cas, note que l'acide sulfurique ne donne pas de bons résultats.

A ces résultats mitigés sur la germination, il faut rajouter la nécessité d'un équipement de protection lors des manipulations : combinaisons appropriées, gants, lunettes, bottes, récipients adaptés. La gestion des déchets acides résultants, le stockage et le coût total du traitement.

Les deux produits de traitement dont nous avons fait la cinétique pour observer le comportement des populations de luzernes en leur présence, sont les produits chimiques de laboratoire les plus utilisés pour lever la dormance des graines. Néanmoins, sur le terrain, seul l'acide sulfurique a trouvé quelques débouchés d'utilisation [semences très dures des arbres des pays du Sud (**FAO, 1992**)]. L'azote liquide est resté un produit de luxe, générateur de froid extrême pratique pour des traitements en petites quantités en laboratoire.

➤ Azote liquide

L'azote liquide est un générateur de froid extrême, (-196°C) tout comme, la neige carbonique (-80°C) ou de l'air liquide (-190°C). La mise en présence des graines avec ces produits, provoque des chocs thermiques violents occasionnant des petites fissures sur le tégument pouvant faciliter le passage de l'oxygène et de l'eau.

Un travail ancien de **Busse (1930)** concernant les semences de trois légumineuses herbacées, le mélilot (*Melilotus officinalis*), la luzerne (*M. sativa*) et le trèfle violet (*Trifolium pratense*) avait montré, que l'NL, utilisé ponctuellement pendant 5 mn, améliore la germination (38%). Mais, elle progressait à

97 % notamment pour le mélilot avec 5 trempages de 30 secondes espacé de 1 mn matérialisant, ces chocs thermiques successifs.

Outre les fissures provoquées par l'azote liquide sur les téguments pouvant lever la dormance tégumentaire, il peut aussi, par son action « basse température », lever un autre type de dormance, celle de l'embryon. Enfin, il a une grande capacité de conservation des graines. Ainsi, le mélilot resté 6 mois dans l'azote liquide germe presque autant (74%) qu'un traitement de 2 mn (80%), le plus performant.

Notons cependant, qu'il ne convient pas aux graines trop chargées en eau (dites graines récalcitrantes), la congélation qui s'en suivait serait fatal à l'embryon. Seules les graines orthodoxes (85-90% de MS) peuvent être soumises à ce traitement.

Quant à la neige carbonique, elle améliore la germination de la luzerne, mais pas celle du mélilot et du trèfle (**Busse, 1930**).

Aussi bien pour l'acide sulfurique que pour l'azote liquide ou pour d'autres produits ou facteurs de traitement (chaleur sèche ou humide, froid...), les mêmes hétérogénéités, toujours apparaîtront, car chaque individu végétal, réagit en fonction de ses caractéristiques génétiques propres et de son histoire. La cinétique de germination est donc un outil très utile pour s'assurer des premiers repères d'un essai de germination de graines scarifiées.

2.1.5. Conclusion

Comme nous l'avons dit plus haut, la littérature récente n'est pas riche en thèmes relatifs à la levée de la dormance des graines de luzerne par des traitements chimiques ou autres à part des prétraitements au chlorure de sodium qui serait intéressant pour les sols salins (**Farissi et al, 2016**). L'industrie de traitement des graines de luzernes n'existe pas.

Plusieurs points sont à noter quant au mot « dormance » et « traitement » des semences de luzernes :

- Plus des trois quart des luzernes cultivées dans le monde sont des luzernes de type pérenne où le pourcentage de graines dures est plus faible que pour les luzernes de type annuel.
- Les semences fournies par les obtenteurs sont légalement certifiées et parmi les critères garanties, le taux de germination (80-85%) est en bonne place Il n'y a donc pas lieu pour l'agriculteur de traiter ses semences. Il est vrai que les conditions de stockage des graines chez l'obteneur sont appropriées (température, hygrométrie, lumière..) pour éviter le durcissement des graines.
- Lorsque le mot « traitement » est utilisé, il exprime le plus souvent l'enrobage des graines par exemple, l'inoculation des graines par *Rhizobia* (en sol acides notamment), ou par des engrais ou encore par des produits phytosanitaires (interdit en Europe),
- La dormance, s'exprime en indice de dormance **Teuber et al, (1998)** ; **Montegano et al, (2002)** sur une échelle allant de 1 (très dormant) à 12 (non dormant : pas d'arrêt de la végétation en hiver mais sensible aux basses températures) et a trait à la capacité à rester plus ou moins longtemps en repos végétatif durant l'hiver. La notion s'adresse donc bien plus à la luzerne déjà germée qu'à la graine proprement dite. Les variétés sont donc choisies (en rapport avec la zone géographique d'implantation) par l'agriculteur en conséquence. On parle de

variétés type Nord : échelle entre 2 et 6 et de Type Sud à partir de 6. Pour une variété de dormance 4, le départ en végétation a lieu autour du 10 avril (en France par exemple). Une note faible correspond à une dormance élevée c'est-à-dire un repos végétatif précoce à l'automne et un redémarrage tardif au printemps. La note faible, illustre donc la capacité de la luzerne à supporter le froid dans la durée.

- Pour les luzernes annuelles, compte tenu de leur prédisposition naturelle (et nécessaire) de comporter de fortes proportions de graines dures, un traitement de la dormance des graines ne pourrait s'entendre que pour la première implantation tout en assurant que la variété, fournirait ensuite des proportions convenables de graines dures pour assurer l'auto régénération du semis (surtout en rotation céréales – luzernes). L'idéale serait que la sélection puisse résoudre deux problèmes contradictoires : fournir des variétés capables de bien germer rapidement en première installation et fournir ensuite suffisamment de graines dormantes pour assurer le ressemés,
- Enfin, la scarification mécanique semble très efficace, simple à appliquer sur le terrain, peu coûteuse et à la portée de l'agriculteur mais la casse des graines est inévitable.

Chapitre 2. Stades phénologiques et biométriques de populations locales de luzernes annuelles

Les paramètres végétatifs de nos luzernes sont importants à connaître pour discriminer les populations de luzernes en vue d'obtenir, à moyen terme, des variétés locales performantes, adaptées au besoin des éleveurs. Ainsi, l'emblématique rapport feuilles sur tiges (R/T) est connu pour être en rapport avec la valeur nutritionnelle de la plante tout comme le nombre de tiges pour la production de biomasse. De même, le poids des gousses, le nombre de gousses par m² sont des facteurs discriminants la production semencière.

Nous traiterons ce chapitre en trois parties : la précocité des principales espèces étudiées, leurs caractéristiques en termes de production de matière sèche et de production de semences. Ces trois catégories de données ont été recueillies sur les mêmes cultures. Les deux lignes internes (pour éviter l'effet bordure) du dispositif expérimental ont servi à la mesure des paramètres de production de matière sèche et les deux lignes périphériques pour la production de semence.

Quant à la précocité et le pourcentage de viabilité, ils ont été mesurés sur l'ensemble du dispositif pour chaque population de chaque espèce, la moyenne déterminant le caractère de l'espèce pour ce critère.

Les données ont été prélevées sur deux années distinctes de culture implantée en 2012 et 2014 (prélèvement en 2013 et 2015).

1. Précocité des populations

En phytotechnie c'est l'aptitude d'une variété à atteindre un stade donné de développement plus rapidement qu'une autre (**Larousse Agricole., 1981**). La notion de précocité s'entend par les spécialistes comme étant l'arrivée au stade épiaison pour les graminées et au stade début floraison pour les légumineuses. Chez ces dernières, le stade début floraison correspond à 5-10% des tiges examinées sur une ligne de 1 m avec au moins une fleur épanouie (**Andrieu et Demarquilly., 1987**).

Les valeurs qui apparaissent dans le **tableau 25**, découlent de cette dernière.

Elles n'appellent pas de commentaires particuliers. Les variations entre populations d'une même espèce ne sont pas très discriminantes, comme on aurait pu s'y attendre, ni entre espèces. Ainsi, le coefficient de variation varie de 3 à 6%, bien que, 71% des variations constatées, soient expliquées par la précocité ($p < 0.05$). Néanmoins, les populations de l'espèce *M.ciliaris* seraient plus précoces de 5 à 6 jours (trois groupes homogènes sont formés) comparés aux populations de l'espèce *M.truncatula* (deux groupes homogènes) et aux populations de l'espèce *M.intertexta* (trois groupes homogènes).

Tableau 25 : Précocité des différentes populations étudiées

Espèces	Populations	Précocité(j)
<i>M. ciliaris</i>	C204	116 a
	C2	113 ac
	C11	116 a
	C58	121 b
	S7	114 ac
	S15	113 ac
	S5	110 ac
	S3	116 a
Moyenne		115,0 a
ET		3,35
CV		0,03
<i>M. truncatula</i>	Tr238	117a
	Tr27	130b
	Tr334	127b
	Moyenne	124,83 b
ET		6,90
CV		0,06
<i>M. intertexta</i>	I52	130 ac
	I756	125b
	I107	124b
	I58	127b
	I31	127b
	I11	126b
Moyenne		126,39b
ET		3,19
CV		0,03
Moy. Gle		120,43
ET		6,47
CV		0,05
RSE		3,82
R2		0,71
P		0,0001
Pour la colonne des données, les valeurs qui diffèrent par au moins deux lettres sont significativement différentes entre populations d'une part et entre espèces d'autre part		

2. Paramètres biométriques déterminant la production de matière sèche

Culture 2013

Les résultats apparaissent dans le **tableau 26**. Sur les 80 graines semées par ligne et par population, en moyenne, 19 plants ont subsisté pour la récolte des données. Le pourcentage moyen de viabilité est de 26% pour nos populations locales. Il est comparable pour *M.ciliaris* ; *M.truncatula* et *M.polymorpha* (24 à 25 %) et un peu plus élevé de 5% pour *M.intertexta* (29%). Le comportement des deux témoins pour ce critère de viabilité est mitigé. Sur la base de 26% de viabilité moyenne pour nos populations, *M.muricoleptis* (cultivar Aus 106 d'origine Turque) est meilleur à 33 % (+ 21%) (**Tableau 27**).

Nous n'avons pas décompté précisément le nombre de graines germé (pouvant amener à un calcul de taux de germination) ni le nombre de plants ayant dépérit avant le prélèvement des données. Mais, il

n'a pas été élevé, on peut donc globalement assimiler ce nombre de plants au taux de germination obtenu au champ. Cette observation est intéressante en ce sens, qu'elle confirme les résultats donnés plus haut notant un taux élevé de dormance des graines de nos populations.

Le nombre de tiges par m² mesurant la vigueur de développement des plants, approche en moyenne 1000 unités avec un écart type raisonnable de 0.33 sur 21 populations. Tr 27 se distingue avec 1340 tiges/m² proche du témoin *M.muricoleptis* (1300 tiges), le minimum ayant été enregistré par une autre population de *Mtrunculata*, Tr238 : 410 tiges(**Tableau 26**).

La largeur des ramifications, paramètres significatif de la production de biomasse en moyenne est distribuée de la façon suivante : 57 ; 47 ; 42 ; et 22 cm respectivement pour *M intertexta*, *M ciliaris*, *M polymorpha* et pour *M truncatula*, ce qui nous donne, presque la même hiérarchie pour la production de MS avec des quantités de : 751 ; 468 ; 502 et 234g/m². Le témoin *M muricoleptis* avec une hauteur de tige et une production de MS respectives de 41cm et de 534g / m² est très honorablement placé. La largeur des ramifications est en effet un indicateur bien connu de la production de MS tout comme le nombre de tiges.

Quant au rapport feuilles tiges (F/T), accepté comme un critère fiable de la digestibilité, montre que *M truncatula* (avec une valeur moyenne de 2,33) porterait plus de feuilles que de tiges, comparativement à *M ciliaris* (1,55), *M intertexta* (1,30) et *M polymorpha* (1,22) *M muricoleptis* (1,44) (**Tableau 26**).

Tableau 26.Paramètres biométriques(2013) déterminant la production de MS

Espèces	Pop	Nombre plants/ m ²	%de viabilité	Nombre de tiges par m ²	Hauteur tiges cm	MV	MS g/m ²	F/T Sec
						g/m ²		
<i>M. ciliaris</i>	C52	17,50	21,88	1165,0	40,34	3350,0	446,7	1,32
	C204	17,00	21,25	746,7	49,89	3670,0	567,9	1,73
	S5	21,50	26,88	950,0	43,93	2926,7	401,1	1,51
	C2	23,17	28,96	1166,7	59,76	5056,7	574,2	1,38
	S3	19,17	23,96	996,7	53,08	3233,3	451,9	1,37
	C58	18,67	23,33	1125,0	35,94	3050,0	367,3	1,68
	Moy. ±	19,50	24,38	1025,0	47,16	3547,78	468,21	1,55
	ET	2,38	2,99	163,4	8,76	782,72	85,54	0,17
CV	0,12	0,12	0,16	0,19	0,22	0,18	0,11	
<i>M. truncatula</i>	Tr334	29,67	37,08	1610,0	22,83	2123,3	469,4	2,25
	Tr55	15,33	19,17	1128,3	29,23	1500,0	204,8	2,31
	Tr238	5,50	20,60	410,0	10,53	1392,1	41,3	2,70
	Tr407	15,75	19,69	870,0	17,50	2015,0	227,2	2,15
	Tr27	25,83	32,29	1340,0	32,11	1674,2	247,2	2,27
	Tr221	12,33	23,13	580,0	21,07	1852,5	216,8	2,30
	Moy. ±	17,40	25,33	989,7	22,21	1759,52	234,37	2,33
	ET	8,90	7,53	457,1	8,76	288,41	137,06	0,19
CV	0,51	0,29	0,46	0,35	0,16	0,58	0,08	
<i>M. intertexta</i>	I11	10,67	20,00	1036,7	50,51	6593,3	622,3	1,31
	I756	24,50	30,63	958,3	60,69	4920,0	706,7	1,39
	I107	24,83	31,04	1116,7	54,15	6630,0	610,6	1,09
	I253	22,50	28,13	1030,0	63,71	6545,0	849,8	1,42
	I31	26,33	32,92	1268,3	50,23	5826,7	798,4	-
	I52	27,33	34,17	975,0	62,02	6730,0	920,4	1,17
	Moy. ±	22,69	29,48	1064,17	56,89	6207,50	751,35	1,30
	ET	6,12	5,08	114,47	6,00	709,50	125,67	0,14
CV	0,27	0,17	0,11	0,10	0,11	0,17	0,51	
<i>M. polymorpha</i>	Poly205	18,00	22,50	1091,1	58,65	636,7	856,2	1,31
	Poly27	13,67	25,62	433,3	26,25	203,6	148,9	1,13
	Moyenne ± ET	15,83	24,06	762,22	42,45	419,91	502,5	1,22
		3,06	2,21	465,12	22,91	435,8	500,1	0,13
	CV	0,19	0,09	0,61	0,54	1,04	0,99	0,11
Moyenne Gle	-	18,85	25,81	960,28	42,17	2983,68	489,12	1,53
<i>M. muricoleptis</i>	Moyenne ± ET	26,33	32,92	1300,0	41,20	3626,67	534,6	1,44
Aus 106		3,79	4,73	173,49	15,59	611,58	90,18	0,02
Témoin 1	CV	0,14	0,14	0,13	0,38	0,17	0,17	0,01
Jemalong Témoin 2	Moyenne	6,5	8,0	0	0	0	0	0

Jemalong : est une *M. truncatula* d'origine australienne ; Aus 106 est un cultivar de *M. muricoleptis* d'origine turque

Culture 2015

Le même protocole de récolte de données a été appliqué à la culture 2015 qui néanmoins, comportait le 2^{ème} témoin Jemalong. Les résultats figurent dans le **tableau 27**.

La première observation est que, les valeurs sont plus faibles que pour la culture 2013. Les calculs réalisés à partir des **tableaux 26 et 27**, révèlent : 11% de moins pour le nombre de plants ; 14 % pour le taux de viabilité ; 73% pour le nombre de tiges/ m² ; 52% pour la hauteur de tiges ; et 76% pour la production de MS. Par contre, une augmentation de 55% est noté pour le rapport F/T, ce qui permet d'admettre que les luzernes de la culture 2015, bien que leur croissance et développement ont été plus faibles, leurs tiges portaient plus de feuilles que de tiges comparativement à celle de 2013. Ce qui n'est peut-être pas étonnant, ces tiges étaient 2 fois plus courtes. Le nombre de tiges étant un indicateur de la vigueur de la culture. Ainsi, nous pouvons dire que les conditions de stress abiotiques de l'année 2015 ont engendré une augmentation du nombre de tiges et de feuilles chez les populations (nouvelle forme d'adaptation des populations).

Tableau. 27 : Paramètres biométriques déterminant la Production de MS (2015)

Espèces	Populations	Nbre de plants/ m ²	%de viabilité	Nombre de tiges par m ²	Hauteur tiges (cm)	MV g/m ²	MS g/m ²	F/T Sec
<i>M. ciliaris</i>	S5	17,67	22,08	209,33	18,00	160,00	53,79	4,33
	S15	16,50	20,62	154,00	13,50	91,20	12,56	2,43
	C2	25,00	31,25	244,00	19,50	129,61	27,25	4,02
	S7	16,00	20,00	260,00	22,25	205,46	37,06	3,16
	S3	11,00	13,75	156,00	20,00	80,00	32 ,00	5,00
	C11	16,00	20,00	276,00	18,00	244,40	47,68	3,21
	C204	14,00	17,50	136,00	23,00	158,04	33,00	3,64
	C58	13,67	18,12	189,33	20,33	252,87	91,57	2,33
	Moyenne ±	16,23	20,42	203,08	19,32	165,20	43,27	3,51
ET	4,11	5,05	52,89	2,95	65,09	25,19	0,93	
CV	0,25	0,25	0,26	0,15	0,39	1,29	0,26	
<i>M. truncatula</i>	Tr238	19,00	23,75	312,00	18,50	256,54	74,06	2,81
	Tr334	14,50	18,13	209,33	13,00	80,00	51,72	1,03
	Tr27	7,00	18,50	172,00	19,00	140,00	36,00	1,28
	Moyenne ±	13,50	20,13	231,11	16,83	158,85	53,93	1,86
	ET	6,06	3,14	72,50	3,33	89,77	19,13	0,96
CV	0,45	0,16	0,31	0,19	0,56	0,35	0,52	
<i>M. intertexta</i>	I253	28,00	35,00	420,00	38,33	1072,00	196,00	2,07
	I756	23,67	23,88	353,33	36,00	749,33	141,33	1,94
	I107	15,00	25,79	314,67	40,67	942,67	174,67	1,66
	I11	21,67	27,08	332,00	27,00	41,50	166,00	2,53
	I58	15,33	19,17	248,00	29,67	530,67	117,33	1,55
	I31	18,50	25,00	290,00	28,33	113,33	453,33	1,32
	I52	21,67	27,08	420,00	44,00	1277,06	260,00	1,11
	Moyenne ±	20,55	26,14	339,71	34,86	675,22	215,52	1,74
	ET	4,65	4,75	64,09	6,61	471,68	114,15	0,48
CV	0,23	0,18	0,19	0,19	0,70	0,50	0,28	
Moyenne Gle	-	16,76	22,23	257,97	20,34	362,31	117,57	2,37
Jemalong Témoin	Moyenne ±	10,00	12,50	152,00	17,67	103 ,65	25,60	1,72
	ET	2,65	0,88	31,24	1,15	32,15	11,78	0,94
	CV	0,26	0,26	0,21	0,06	0,31	0,46	0,54

Synthèse des années 2013 et 2015 pour la production de matière sèche

Nous avons fait la synthèse des deux années de culture dans le sens que chaque année représente une répétition, les résultats sont présentés en (**Tableau 28**). Ces données moyennes n'appellent pas de

commentaires particuliers, sinon que la culture 2013, par ses performances plus élevées comparativement à celle de 2015, impacte les résultats. Tous les paramètres étudiés discriminent nettement les populations de luzerne avec des valeurs de R^2 variant entre 25 et 65%. C'est pour F/T où les variations sont moins bien expliquées par les populations de luzerne (les pesées et les pertes de feuilles sont en effet, des sources d'erreurs). Sur la base de cette synthèse, nous avons dressé la matrice de corrélations entre les paramètres qui déterminent la production de biomasse (**Tableau. 29**).

Tableau 28.Synthèse 2013+2015 Paramètres déterminant la production de MS

Espèces	Pop.	Nbre de plants/ m ²	% de viabilité	Nombre de tiges/m ²	hauteur tiges (cm)	MV g/m ²	MS g/m ²	F/T sec
<i>M. ciliaris</i>	C2	24,08	30,10	705,33	39,63	2593,14	300,75	2,70
	C58	16,17	20,72	657,16	28,13	1651,43	229,45	2,01
	S5	19,58	24,48	579,66	30,96	1543,33	227,46	6,42
	C52	17,50	21,88	1165,00	40,34	3350,00	446,7	1,32
	C204	15,50	19,22	441,33	36,44	1914,02	333,62	2,68
	S3	15,08	18,98	576,33	36,54	1656,66	385,97	3,18
	S15	16,50	20,62	154,00	13,50	91,20	12,56	2,43
	S7	16,00	20,00	260,00	18,00	160,00	53,79	4,33
	C11	16,00	20,00	276,00	13,50	91,20	12,56	2,43
<i>M. truncatula</i>	Tr238	12,25	22,17	361,00	14,51	824,31	57,66	2,43
	Tr334	22,08	37,08	909,66	17,91	1101,66	260,56	1,64
	Tr55	15,33	19,17	1228,33	29,23	1500,00	204,84	2,31
	Tr407	15,75	19,69	870,00	17,50	2015,00	227,23	2,15
	Tr27	16,41	25,39	756,00	25,55	907,10	141,58	1,77
	Tr221	12,33	23,13	580,00	21,07	1852,50	216,78	2,30
<i>M. intertexta</i>	I11	16,17	23,54	684,33	38,75	3379,66	331,89	1,92
	I31	22,41	28,96	779,16	39,28	2970,00	625,85	1,32
	I52	24,50	30,62	697,50	53,01	4003,53	590,21	1,14
	I253	25,25	31,56	725,00	51,02	3808,50	522,88	1,74
	I58	15,33	19,17	248,00	29,67	530,67	117,33	1,55
	I107	19,91	28,41	715,50	47,41	3786,33	392,62	1,37
	I756	24,08	27,25	655,83	48,34	2834,66	424,00	1,66
Population totale	22							
Jemalong Témoin 1	CV	10,00	12,50	152,00	17,67	103,65	25,60	1,72
<i>M. muricoleptis</i> : Témoin 2	AUS	26,33	32,92	1300	41,53	3626,67	534,57	1,44
Moy. 2015		16,39	21,15	245,33	23,91	325,51	112,86	2,74
ET 2015		5,50	6,17	89,46	9,01	365,75	115,51	2,24
CV 2015		0,34	0,30	0,36	0,38	1,12	1,02	0,82
Moy. 2013		20,36	27,04	1039,03	42,00	3762,59	492,73	1,57
ET 2013		6,35	5,74	293,70	16,13	1982,49	241,82	40,34
CV 2013		0,31	0,21	0,28	0,38	0,53	0,49	0,26
Moy.2013+2015		18,11	23,87	652,90	31,61	1919,85	278,46	2,42
ET		5,35	6,79	363,60	12,97	1393,51	198,67	2,03
CV		0,29	0,28	0,56	0,41	0,73	0,71	0,84
RSE		3,43	4,65	242,80	9,36	958,20	137,90	1,89
R²		0,65	0,60	0,62	0,57	0,60	0,59	0,255
P		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,03

Tableau. 29 : Matrice des corrélations entre les paramètres biométriques, déterminant la production de matière sèche (synthèse des années 2013 et 2015)

	Nbre de plants/ m ²	Nbre de tiges/ m ²	Hauteur des tiges (cm)	Rapport F/T (sec)	MV g/m ²
Nombre de plants/ m²	1				
Nombre de tiges/ m²	0,685***	1			
Hauteur des tiges (cm)	0,188	0,481***	1		
Rapport F/T (vert)	0,256	-0,139	-0,314*		
Rapport F/T (sec)	0,127	-0,167	-0,291*	1	
MV g/m²	0,447***	0,772***	0,862***	-0,218	1
MS g /m²	0,401***	0,687***	0,788***	-0,177	0,934***

***P< 0.001 ; *p< 0.05

Il ressort que les corrélations recouvrent toutes les possibilités existant en termes statistiques : des liaisons positives, significative ou pas, des liaisons négatives, significative ou pas.

Les liaisons constatées ne posent pas des contraintes particulières de compréhension. Ainsi :

- Il est logique que le nombre de tiges/m² (NT) varient dans le même sens que le nombre de plants/m² (NP) aussi, lorsque ce dernier augmente, NT fait de même,
- NP est aussi en liaison positive avec la hauteur des tiges (HT) et le rapport F/T, sans que cette liaison soit toutefois significative. Néanmoins, on peut penser que dans des conditions élevées de densité de semis, la liaison pourrait être négative. Par contre, il est logique que la production de matière sèche (MS) dans les conditions normales de culture soit une fonction du NP (donc indirectement de la densité de semis).
- Le NT est positivement corrélé avec la HT : on peut penser que le NT augmentant avec l'âge, entraîne dans le même sens la croissance en hauteur des tiges. De même, NT est en liaison négative avec le F/T (mais p > 0) ; en effet si le NT augmente avec l'âge, le nombre de feuilles pourrait diminuer). Le NT est logiquement en liaison positive et significative avec la production de biomasse, représenté ici par MS,
- La HT est négativement et significativement reliée à F/T ; en effet, la HT étant une fonction de l'âge des luzernes, impacte la répartition tiges – feuilles de la plante. Le signe de la liaison indiquerait que lorsque les tiges progressent en hauteur, elles prennent le pas sur le poids des feuilles. On retrouve la même tendance (mais p > 0) entre F/T et MS : lorsque la production de MS augmente, la part des tiges dans cette biomasse augmente, faisant chuter F/T.
- Enfin, la très forte corrélation (0,934***) enregistrée entre la Biomasse verte et celle sèche, n'appelle pas de commentaires, la dernière étant issue de la première.

3. Paramètres biométriques déterminant la production de semences

Ont été mesurés : le poids de gousses produit par m², le poids de 50 gousses, le poids de semence contenu dans 50 gousses ainsi que le poids de semences produit par m². Cette dernière mesure nous permettant d'extrapoler la production de semence à l'hectare, critère plus usité. Les résultats sont issus des deux cultures réalisées en 2013 et 2015. Dans un premier temps, nous visualiseront les résultats 2013, puis ceux de 2015 et nous en feront une synthèse des deux années de culture.

Culture 2013.

Comme nous l'avons noté plus haut, le pourcentage de viabilité des luzernes est faible, il n'atteint pas 30% en moyenne pour les deux années de culture.

La gousse en mûrissant devient noire et contient 5 à 10 graines. Le rendement obtenu est en moyenne, toute population confondue de 370g/m² avec un minimum de 60 g pour Tr34 et un maximum de 2536 g pour Poly205 avec néanmoins un faible effectif (2 populations dont l'une a très peu produit) pour l'espèce *M. polymorpha* dans cet essai (**Tableau. 30**).

Nous observons que les trois meilleurs rendements se recrutent dans deux espèces : *M. polymorpha* avec Poly205, déjà mentionné et *M. intertexta* avec I107 et I756 qui ont produit respectivement 900 et 727 g/m². Ceci pour l'année de récolte 2013. Le poids en semences de 50 gousses est très variable, il est en moyenne de 2.8 g avec un minimum de 0.41g pour Tr407 et un maximum de 5.54 g pour I253. Vu sous l'angle des espèces, c'est *M. truncatula* qui porte la plus faible valeur avec 0.60g pour 50 gousses contre 4.96 g pour *M. intertexta*. Néanmoins, ces différences doivent être comprises en lien avec le poids de 1000 grains qui est de 15.8g pour *M. intertexta* et 3.6g pour *M. truncatula* (**Tableau. 7**).

Il est intéressant de regarder le comportement des témoins étrangers dans cet essai : le *M. truncatula* Jemalong CV, d'origine australienne, n'a pas du tout germé, quant au 2^{ème} témoin : *M. muricoleptis* (Aus 106 originaire de Turquie), sa production de semences en g/m² est comparable à celle de la moyenne des espèces d'Algérie : 359 contre 370.

Tableau. 30 : Les paramètres biométriques déterminant la production de semence (2013)

Espèces	Populations	Poids de 50 gousses (g)	Poids semence de 50gousses (g)	Rendement en gousses g/m ²	Rendement en semences g/m ²
<i>M. ciliaris</i>	C52	12,26	2,17	1358,22	238,32
	C204	14,02	2,86	1808,00	359,23
	S5	16,46	2,92	1672,89	297,77
	C2	14,92	2,75	1061,33	194,74
	S3	14,62	3,85	2192,00	591,56
	C58	12,07	3,93	1360,00	445,99
	Moyenne ± ET	14,06	3,1	1575,41	354,60
	CV	1,67	0,68	400,41	146,17
<i>M. truncatula</i>	Tr334	4,15	0,54	476,00	60,37
	Tr55	4,60	0,71	881,78	206,17
	Tr238	4,66	0,79	327,11	217,89
	Tr407	2,01	0,41	515,56	107,69
	Tr27	4,18	0,74	1057,78	185,92
	Tr221	1,52	0,42	90,67	26,37
	Moyenne ± ET	3,52	0,60	558,15	134,07
	CV	1,38	0,17	356,33	80,80
<i>M. intertexta</i>	I11	23,81	4,81	2428,44	495,15
	I756	20,80	5,25	3000,89	727,12
	I107	22,38	5,47	3637,33	900,38
	I253	25,40	5,54	2849,78	620,64
	I31	17,98	3,81	1946,67	403,04
	I52	25,82	4,88	2810,67	563,10
	Moyenne ± ET	22,70	4,96	2778,96	618,24
	CV	2,97	0,64	567,04	176,62
Pop. Jemalong Témoin 1	Moyenne ±ET	0	0	0	0
	CV	0	0	0	0
<i>M. polymorpha</i>	Poly205	23,07	4,74	2535,70	528,93
	Poly27	1,47	0,26	78,67	21,53
	Moyenne ± ET	12,62	2,50	371,19	1307,18
	CV	15,27	3,17	1737,38	358,79
<i>M. muricoleptis</i> Aus 106. Témoin 2	Moyenne ± ET	4,37± 1,24	1,60±0,83	944,00±492,63	359,08±274,64
	CV	0,26	0,52	0,52	0,76

Pop. Jemalong : est une *M. truncatula* d'origine australienne ; Pop. Aus 106 est une population de *M. muricoleptis* d'origine turque.

Culture 2015

Les résultats apparaissent dans le **tableau 31**. Sur la base du rendement en semence par m² la culture 2015 procure dans l'ensemble des résultats nettement plus faibles que pour la culture 2013.

Ainsi, la moyenne respective pour les espèces *M. ciliaris*, *M. truncatula* et *M. intertexta*, s'établit à 61 ; 42 et 55g contre 354 ; 134 et 618 g pour 2013, soit des facteurs multiplicateurs de 5.80 ; 3.20 et 11.24. De même, la hiérarchie n'est pas la même. Alors que *M. intertexta* était leader en 2013, en 2015, c'est *M. ciliaris*, mais avec des valeurs 11 fois plus faible (61 g/m² contre 618). Par ailleurs, les calculs faits à partir des données du **tableau 31** montrent que *M. truncatula* produit 28 g de graines par 100g de gousses, contre 22g pour chacune des espèces *M. ciliaris* et *M. intertexta*. Pour la culture 2013, ces valeurs étaient respectivement de 24 ; 22 et 22g par 100 g de gousses. Il semble que ramener à 100g de gousses le poids des graines restent assez stable (caractère génétique ?), c'est donc la quantité de gousses qui déterminerait le rendement à l'hectare. Nous remarquerons que, *M. truncatula* dont le poids de mille grains est de 3.6 g produit un poids de graines par 100g de gousses plus élevé que *M. ciliaris* et *M. intertexta* (28g contre 22 et 22g) dont le poids de 1000 grains est respectivement de 13.2 et 15.8. Le nombre de grains dans chaque gousse serait plus élevé chez *M. truncatula*.

Tableau 31. Les paramètres biométriques déterminant la production de semence (2015)

Espèces	Populations	Poids de 50 gousses (g)	poids semences de 50 gousses	Rendement en gousses g/m ²	Rendement en semences g/m ²	
<i>M. ciliaris</i>	S5	12,13	2,98	254,80	63,72	
	S15	9,64	2,89	142,54	42,27	
	C2	13,63	3,39	345,80	87,01	
	S7	15,61	3,84	425,67	425,27	
	S3	13,28	3,58	245,90	66,29	
	C11	12,98	3,42	241,20	60,70	
	C204	17,08	4,85	163,47	46,25	
	C58	9,71	2,74	392,93	57,75	
	Moyenne ± ET	13,01	3,46	276,54	106,21	
		2,59	0,67	102,81	129,79	
<i>M. truncatula</i>	CV	0,20	0,20	0,37	1,22	
	Tr407	3,32	0,74	66,57	16,18	
	Tr201	6,43	1,56	170,80	41,42	
	Tr238	5,87	1,52	247,51	65,25	
	Tr334	4,99	1,40	113,30	31,96	
		Moyenne ±ET	5,15	1,31	149,54	42,51
		2,62	0,38	77,99	20,53	
<i>M. intertexta</i>	CV	0,51	0,29	0,52	0,48	
	I755	13,46	3,18	86,13	20,73	
	I756	17,77	4,79	320,80	86,17	
	I107	18,27	4,24	283,53	71,56	
	I11	17,82	3,70	464,36	97,07	
	I31	16,53	4,02	197,30	50,03	
	I52	21,53	3,68	175,45	5,70	
		Moyenne ± ET	17,563	9,456	254,595	55,215
			2,62	13,41	132,02	36,46
	CV	0,15	1,42	0,52	0,66	
JemalongTémoin 1	Moyenne ±ET	1,99	0,47	172,4	40,94±0	
	CV	0,00	0,00	0,00	0,00	

Jemalong : est une *M. truncatula* d'origine australienne

Ainsi, la moyenne respective pour les espèces *M.ciliaris*, *M.truncatula* et *M.intertextra*, s'établit à 61 ; 42 et 55g contre 354 ; 134 et 618 g pour 2013, soit des facteurs multiplicateurs de 5.80 ; 3.20 et 11.24. De même, la hiérarchie n'est pas la même. Alors que *M.intertextra* était leader en 2013, en 2015, c'est *M.ciliaris*, mais avec des valeurs 11 fois plus faible (61 g/m² contre 618). Par ailleurs, les calculs faits à partir des données du **tableau 31** montrent que *M.truncatula* produit 28 g de graines par 100g de gousses, contre 22g pour chacune des espèces *M.ciliaris* et *M.intertextra*. Pour la culture 2013, ces valeurs étaient respectivement de 24 ; 22 et 22g par 100 g de gousses. Il semble que ramener à 100g de gousses le poids des graines restent assez stable (**caractèregénétique** ?), c'est donc la quantité de gousses qui déterminerait le rendement à l'hectare. Nous remarquerons que *M.truncatula* dont le poids de mille grains est de 3.6 g produit un poids de graines par 100g de gousses plus élevé que *M.ciliaris* et *M.intertextra* (28g contre 22 et 22g) dont le poids de 1000 grains est respectivement de 13.2 et 15.8. Le nombre de grains dans chaque gousse serait plus élevé chez *M.truncatula*.

Synthèse des années 2013 et 2015 pour la production de semences

Comme pour la production de biomasse, nous avons calculé la moyenne des deux années de culture dans le sens que chaque année représente une répétition, les résultats sont présentés en **annexe 3**. Ces résultats comme pour la matière sèche n'apportent pas de nouvelles informations, sinon que la culture 2013, par ses meilleures performances, affecte cette moyenne. Nous remarquerons que tous les paramètres étudiés discriminent nettement les populations de luzerne avec des taux d'explications (R²) par les populations de luzerne, variant 32% (Rt gousses g/m²) à 90 % (Poids en g de 50 gousses). Par référence au **tableau 31** la matrice de corrélations entre les paramètres qui déterminent la production de semences a été établie (**Tableau. 32**).

Les corrélations sont élevées, variant entre 0.68 et 0.99. Elles concrétisent, les fortes présomptions déjà observées dans les résultats de l'analyse de variance de **l'annexe 3**. Pratiquement, cela signifie que, indifféremment, l'un ou l'autre de ces paramètres pourrait être utilisé pour discriminer une population quant à son potentiel de portes grains. L'un de ces paramètres est la production de biomasse verte, très facile à mesurer : corrélation de 0.96 avec le poids de gousse par m² qui lui-même est en forte corrélation avec : poids de 50 gousses, poids semences de 50 gousses et poids semence/m².

Tableau 32 : Matrice de corrélations des paramètres déterminant production de semences

	Gousses (g/m ²)	50 gousses (en g)	Semence 50 gousses (g)	Semence (g/m ²)	MVg/m ²	MS g/m ²	Hauteur (cm)
Gousses (g/m ²)	1						
50 gousses (en g)	0,987*	1					
Semence 50 gousses (g)	0,913*	0,927*	1				
Semence (g/m ²)	0,930*	0,949*	0,962*	1			
MVg/m ²	0,956*	0,951*	0,828*	0,919*	1		
MSg/m ²	0,837*	0,865*	0,925*	0,898*	0,782*	1	
Hauteur (cm)	0,750*	0,801*	0,864*	0,828*	0,685*	0,920*	1
Tiges g/m ²	0,810*	0,856*	0,891*	0,979*	0,763*	0,859*	0,885*

* : p < 0.001

Production de MS et de semences, quelles explications données à la forte différence observée entre l'année 2013 et l'année 2015 ?

En adoptant ici, la démarche statistique que nous avons adoptée pour comparer les deux années de récoltes 2004 et 2012 sur le taux de germination des graines (après une longue durée de stockage), nous n'additionnons plus 2013 et 2015, nous les opposons. Si la comparaison statistique était significative, nous nous poserons la question des raisons. Les résultats apparaissent en **annexes 4 et 5**. Nous examinerons essentiellement les rendements en semences par m² et celui de MS, deux indicateurs économiques importants. Pour ces rendements, nous observons que la différence est hautement significative, avec un facteur de 7 en faveur de l'année 2013 (412g contre 57 pour 2015). Le poids de gousses/m² étant fortement corrélé avec la quantité de grains produite par m² (**Tableau. 32**), ces deux paramètres sont respectivement de 1804 et de 412g (**Annexe 6**).

Pour la MS (**Annexe 4**), la même domination de l'année 2013 est observée 545g contre 135g pour 2015 (facteur de 4).

Ces différences s'expliquent logiquement, par une culture 2013 nettement plus vigoureuse que celle de 2015. Un critère : le nombre de tiges par m² va dans ce sens, il est largement utilisé pour mesurer la vigueur d'une parcelle. Par ailleurs, il est très fortement corrélé à la fois à la production de semences (0.98) et à celle de la MS (0.86), comme l'indique le **tableau 32**. Dans notre exemple, il est de 1052 pour 2013 et de 268 pour 2015 (facteur de 4). Cette différence de vigueur des deux cultures ne peut s'expliquer que par les conditions pédoclimatiques dans lesquelles ces deux cultures ont évolué. En effet, en nous rapportant aux **tableaux 4 et 5** nous observons que les températures ayant sévi durant les mois de janvier à juin étaient comparables pour les deux cultures étaient en moyenne globalement comparables (entre 14.3°C et 15.4°C), mais plus élevée en janvier-février (11.6 °C contre 9.5°C). **Couranjou (1964)**, travaillant dans les régions d'Alger, de Sidi Bel Abbès et de Sétif estimait que 10°C était la température minimale pour assurer un bon départ de la luzerne, mais le défaut d'eau était encore plus dommageable. Or, l'année 2015 a connu une situation de quasi sécheresse avec seulement 1.6 mm de pluie. A ce désavantage climatique pour 2015, s'ajoute un sol nettement moins pourvu en éléments minéraux. En effet, pour 2015, la quantité de phosphore du sol était de 0.722 ppm, elle s'établissait à 8.67 pour 2013, il en est de même pour le potassium, respectivement 0.168 ppm contre 4.59. Ces deux minéraux étant indispensables au bon développement de la luzerne (**Mauriès, 2003**). Quant à l'azote (en %), les deux sols en sont très pauvres (respectivement 0.1027 contre 0.0665) mais cet élément est peu important pour la luzerne.

Notons que ces différences s'expliquent par la nature du précédent cultural de chaque parcelle. Alors que la parcelle 2013 de luzerne avait comme précédent cultural un maïs dont le sol avait été travaillé et fertilisé, l'amélioration de qualité qui en est résulté a profité à la culture 2013. En comparaison d'un précédent « jachère » pour la culture 2015.

L'enseignement que l'on peut tirer de cette expérience qui n'était pas destinée à comparer le comportement de la luzerne en fonction de la nature du précédent cultural, a apporté néanmoins une information selon laquelle, même après une jachère de plusieurs années (sensée reconstituer le sol), il est souhaitable d'apporter un minimum de fertilisant comme le phosphore et le potassium dont la

luzerne est friand. De même, il est vivement conseillé d'inoculer la luzerne dans les parcelles où la luzerne n'a pas été cultivée depuis dix ans.

Chapitre 3. Qualité productive et nutritionnelle des populations de luzernes annuelles étudiées

Dans ce paragraphe, la qualité de la luzerne sera jugée, d'une part, sur sa production à l'hectare de matière sèche (MS) et de matière azoté totale (MAT) et d'autre part sur sa production de semences. Nous l'avons calculé pour l'ensemble des populations pour lesquelles nous disposions des informations adéquates. Les résultats apparaissent dans le **tableau 33**.

Tableau 33. Production théorique de MS et de semence à l'hectare pour les populations de luzernes étudiées

Espèces	Pop.	Semences		MS au stade DF		MAT au stade DF
		g/m ²	Tonnes/ha	g/m ²	Tonnes/ha	Tonnes/ha
<i>M. ciliaris</i>	C2	140,87	1,41	300,75	3,01	<u>0,747</u>
	C58	251,87	2,52	229,45	2,29	<u>0,636</u>
	S5	180,74	1,81	227,46	2,27	<u>0,666</u>
	C52	238,32	2,38	446,70	4,47	-
	C204	202,74	2,03	333,62	3,34	0,827
	S3	328,92	3,29	385,97	3,86	0,852
	S15	42,27	4,23	12,56	0,13	0,032
	S7	425,67	0,43	53,79	0,54	0,156
	C11	60,70	0,61	12,56	0,13	0,029
Moyenne espèce		208,01	2,08	222,57	2,23	0,523
<i>M. truncatula</i>	Tr238	141,57	1,41	57,66	0,58	<u>0,153</u>
	Tr334	46,16	0,46	260,56	2,61	<u>0,580</u>
	Tr55	206,17	2,06	204,84	2,85	-
	Tr407	61,93	0,62	227,23	2,27	-
	Tr27	185,92	1,86	141,58	1,42	0,326
	Tr221	26,37	0,26	216,78	2,17	-
Moyenne espèce		111,12	1,11	175,81	1,76	0,346
<i>M. intertexta</i>	I11	296,11	2,96	331,89	3,32	<u>0,728</u>
	I31	226,54	2,26	625,85	6,25	<u>1,428</u>
	I52	284,40	2,84	590,21	5,90	<u>1,386</u>
	I253	620,54	6,20	522,88	5,23	<u>1,132</u>
	I58	20,73	2,07	117,33	1,17	<u>0,280</u>
	I107	485,98	4,86	392,62	3,93	<u>0,800</u>
	I756	406,64	4,07	424,00	4,24	<u>1,086</u>
Moyenne espèce		334,42	3,34	429,25	4,29	0,977
Moyenne Gle		217,85	2,58	275,25	2,76	0,615
Jemalong : T1	CV	0	0	25,6	0,26	0,077
<i>M. muricoleptis</i> T2	Aus	207	2,07	534,57	5,35	1,246

Les tonnages en italiques et soulignés concernent les populations dont nous avons mesuré la digestibilité in vitro. MAT : matière azoté totale , MS : matière sèche

1. Rendement en semences

Les résultats sont issus de l'exploitation des données de la production des gousses et de semence de l'essai de medics installé à l'ENSA. La récolte a été faite manuellement. Ils montrent qu'en moyenne, pour les trois espèces concernées, le rendement s'élève à 2,18 tonnes : le minimum est enregistré pour *M. ciliaris* avec 1,11 tonne et le maximum pour *M. intertexta* 3,34 tonnes. Au niveau des populations,

c'est **I253** qui réalise la meilleure performance avec 6,2 tonnes et le plus faible rendement a été obtenu avec *M intertexta* (**I58**) : 0.21 tonne.

Nos résultats sont supérieurs à ceux d'un très ancien essai réalisé en 1977 dans les Piedmonts (entre 400 et 600 m d'altitude et une pluviométrie de 500 mm en moyenne) par l'institut technique de développement des grandes cultures, les rendements avaient été seulement de 0.10 tonne par hectare. La technique de récolte (ramasseuse de gousse qui occasionne des pertes plus importantes) et les conditions pédoclimatiques et d'altitude expliquent en partie ce faible résultat. Ainsi que les conditions de travail, la parcelle était désherbée par pâturage des ovins.

Le rendement en grains est fonction du nombre de gousses par plante, du nombre de grains par gousses et du poids d'un grain. Nos gousses renfermaient de 5 à 10 graines dans les tours des spires, ce qui est en accord avec **Chesneaux et Guy (1967)** qui donnent 5 graines en moyenne par gousse. Le nombre de gousses par plante est un caractère corrélé au rendement en semences pour lequel, il existe une large variabilité, certains géotypes présentant une meilleure aptitude à la nouaison. Cependant l'héritabilité au sens large du caractère, est faible: $0,565 \pm 0,1$ (**Le Sech et Huygh, 1991**). Le nombre de grains par gousse est stable entre espèces : 5 à 10 (**Chesneaux et Guy, 1967**), pour un facteur de 2. Le poids des mille grains (4 ; 13 et 16g pour *M ciliaris*, *M truncatula* et *M intertexta* respectivement) est dans un facteur de 3 à 4. On voit que le classement des espèces pour le rendement en grains est dans le même ordre. La taille des grains impacte donc le tonnage des grains récoltés. De même, elle améliore la vigueur des plantules et leur croissance (**Galais et Bonnerot, 1992 ; Si Ziani, 2012**). La quantité de graines récoltées n'est donc pas le seul critère à prendre en compte pour apprécier les qualités d'une population.

Nous noterons que, le témoin 1 *Jemalong* qui est une *M truncatula* (d'origine australienne) n'a produit aucune graine. Tandis que, le témoin 2 : *M muricoleptis* (d'origine turque) se situe dans la moyenne de nos populations avec une production de 2,07 tonnes/ha pour une récolte.

Cependant, la production de semence que nous avons enregistrée est assez dispersée : d'une part entre espèce : facteur de 3 entre *M ciliaris* et *M intertexta*, facteur de 10 voire de 20 entre populations au sein d'une espèce.

Nous avons montré également par l'analyse du **tableau 29** précédent que tous les paramètres liés à la production de biomasse : MV ; MS ; LT ; Nbre de T étaient très corrélés avec ceux directs de la production de semence comme le poids des gousses/m² ; semence de 50 gousses ; poids de semence /m². Cette production est d'abord liée à la vigueur et à la bonne santé de la plante.

Néanmoins, l'itinéraire physiologique de la production de semence est spécifique et parsemé d'embûches. Long, il dépend de nombreux facteurs.

Les exigences pédogologiques d'une luzerne à graines sont les mêmes que celles d'une luzerne-fourrage tout comme pour le type de luzerne : pérenne ou annuelle : sol profond et peu acide, avec un amendement de fond en phosphore, potassium et calcium ; exigence en azote limité mais apport de zinc et de bore. La production de graines n'est concevable que dans les terrains où on obtient de bons rendements en fourrage (**Guy, 1961**).

Dans les années 60-70 en Europe, en France notamment, pour qu'une culture de porte graine de luzerne soit rentable, il fallait un rendement moyen de 5 quintaux par hectare. En année exceptionnelle,

10 quintaux pouvaient être espérés (**Chesneaux et Guy, 1967**). Ces 10 quintaux représentent 500 millions (à 1 milliards, exceptionnellement) de graines; donc si l'on estime qu'une gousse contient 5 graines en moyenne, il faudrait, 100 millions de fleurs épanouies et 100 millions de visites d'insectes pour les féconder (la luzerne étant allogame).

Pour atteindre une telle performance, une minutie dans l'itinéraire physiologique de la production de graine chez la luzerne (floraison ; pollinisation, fécondation, maturation et récolte des graines), doit être observée.

On voit donc que la réussite de la culture de porte graines de luzerne est une combinaison de facteurs pédoclimatiques ; agronomiques : semis en sol nu ; densité de semis ; écartement des plants, précoupes ; phénologiques : nombre de tiges par pieds ; longueur des tiges (bien visible dans le **tableau 32**).

➤ **Dans ces conditions, comment évaluer les résultats que nous avons obtenus ?**

Les rendements en graines observés au champ sur 4 années de récolte en station expérimentale de **l'INRA France**, à Lusignan (communication personnelle) était de 575 kg /ha en année d'exploitation et 300 kg en année de semis. En plein champs, le rendement moyen chez les agriculteurs en France, dans les années **60-70** était de 400 à 800 kg/ha (**Chesneaux et Guy, 1967**). Dans les années **2000**, certaines cultures pouvaient atteindre 1000 à 1200 kg/ha.

Au Maroc, selon **Birouk (2018)**, il est possible de faire deux récoltes par an procurant en luzerne annuelle avec un rendement de grains à l'hectare d'environ 600 kg/ha/an avec des variétés traditionnelles. En Tunisie, **l'OEP** indique pour les espèces : *M truncatula* et *M scutellata*, des productions de semences variables : entre 300-800 kg/ha/an.

Un intéressant travail mené par **Mourot (2014)** sur plusieurs régions de France à qualité pédoclimatique différente mettant en jeu, six variétés de luzernes pérennes, a montré un échelonnement des rendements en grains des luzernes de 250 kg à 935 kg avec un maximum de 1484 kg.

Le nombre de graines par inflorescence était de 79 ; 90 et 101 respectivement en année de semis avec une précoupe et avec deux précoupes. De même a été observé que, la densité de tiges fructifères au m², variait entre 54 et 140 tiges. Une densité de 60 tiges fructifères au m² engendrait, un rendement grainier de 200 kg/ha, alors que pour une densité de 140 tiges fructifères, il est de 1100 kg/ha.

Sur la base du travail de **Mourot (2014)** nous pouvons estimer qu'un rendement en grains de 1.5 kg/ha est de l'ordre de l'exceptionnel en Europe notamment en France. Comparer à nos résultats moyens de 2.18 tonnes, nous dirions qu'ils sont plus qu'exceptionnels à plusieurs retenues près :

- Nos résultats constituent une extrapolation à 10000 m² de résultats mesurés sur un mètre carré, les « vides » inévitables sur un ha ne sont pas pris en compte car non mesurés,
- En absence de résultats spécifiquement « luzernes annuelles » (à part ceux de **Birouk au Maroc et ceux de l'OEP en Tunisie**), bien de résultats présentés dans ce paragraphe sont tirés de luzernes pérennes,
- Les luzernes annuelles en cultures sont réputées plus productives en première récolte que les luzernes pérennes ;

- Nous avons pratiqué une récolte dans l'année de semis, il ne s'agit pas d'un résultat techniquement dit « annuel »,
- Enfin, nos résultats ont été obtenus en station de recherche, sur des petites surfaces et les récoltes ont été faites manuellement (les pertes négligeables).

2 . Rendement en matière sèche et en matière azoté totale

La quantité de MS produite par unité de sol utilisée est un critère nutritionnel et économique important. Elle contient tous les nutriments qui ont justifiés la mise en culture. Les luzernes annuelles et pérennes sont riches en composés nutritionnelles : minéraux, matières azotées riches en acides aminés, carotènes, vitamines (Porqueddu, 2000, Alane, 2007) et en minéraux dont le calcium, le phosphore, le manganèse, le magnésium et de nombreux oligoéléments importants comme le zinc, le bore, le sélénium (Goumiri *et al*, 1990 ; Jarrige, 1989). Mais, leur digestibilité est généralement inférieure à celle des *Poacées* (Crespo, 1977, Jarrige, 1989), hypothéquant, leur valeur énergétique. Cependant, leur richesse en azote, permet de constituer des rations performantes pour les animaux pouvant même compenser leur déficit énergétique pour la production de lait et de viande (Baumont, 1998). Il est couramment considéré que le rapport F/T est fortement corrélé avec la valeur énergétique de la luzerne (Lemaire et Allirand, 1993), même si nous n'observons pas cette corrélation dans notre travail. La production de MS que nous avons exprimée en tonnes par hectare est donnée dans le **tableau 32**.

Nous avons plus haut commenté les corrélations entre les différents paramètres de la production de la MS, issue de la biomasse toute entière et ceux de la production de semence : le nombre de tiges/m² et la hauteur des tiges sont des variables explicatives de poids (**Tableau 28**). Il n'est donc pas étonnant de constater que la production de MS (en tonnes/ha) se hiérarchise pareillement que la production de semence : *M intertexta* (4,3 Tonnes), *M ciliaris* (2,2 tonnes) et *M truncatula*. (1,8 tonne). C'est au sein de *M intertexta* que l'on trouve les productions de MS les plus élevées : plus de la moitié des populations (4 sur 7) dépasse 4 tonnes de MS/ha.

La moyenne générale toute espèce confondue se situe à 2.8 tonnes (**Tableau 33**). Si pour la production de semences, les populations étudiées ont montré des performances égales ou supérieures aux travaux internationaux sur le sujet. La situation se présente différemment pour la production de MS.

Ainsi, en Syrie, Cocks *et al*, 1993 ont mesuré des productions de 6 à 8 tonnes dans les conditions Pluviales normales (200-300 mm) et jusqu'à 9-10 tonnes en conditions plus humides. Ces mêmes auteurs, en Australie, en vue d'un projet de Ley farming, ont comparé la production de matière sèche chez 3 espèces de légumineuses fourragère candidates : *Medicago littoralis*, *Trifolium subterraneum* et *Trifolium repens*, la production respective de MS annuelle a été de 9,9 ; 6,0 et 3,4 tonnes par hectare.

Papastilianou (1993) pour sa part a montré avec une Luzerne annuelle à Chypre (pluviométrie de 200-260 mm) que la production de MS pouvait varier entre 4,6 et 7,5 tonnes selon la variété et la souche bactérienne. Pour *M. rigidula* par exemple, cette quantité est comprise entre 5,0 et 6,0 kg ha/an.

En Tunisie, Seklani et Hassen (1990) ont évalué la production de MS de 5 *Medicago* annuels : *M.rugosa* ; *M.polymorpha* ; *M.orbicularis* ; *M.truncatula* ; *M.turbinata* sur différents sites dans tout le pays : le rendement au champ en MS a varié entre 1 et 5 tonnes.

Au Maroc, Birouk *et al* (1989) sur une vingtaine de populations locales et dans 5 régions différentes et sur des populations locales de luzernes obtiennent des rendements moyen par coupe en MS de 2.8 à

3.12 tonnes à l'hectare, soit sur les 3 coupes pratiquées 8.4 à 9.4 tonnes de MS. Ces valeurs sont proches de celles de **Cocks et al, 1993**, obtenues en Syrie.

Ce qui ressort de ces séries d'expérimentation dans le bassin Méditerranéen, c'est la très grande dispersion des rendements en MS. Elle est due à la variabilité des conditions pédoclimatiques mais aussi aux caractéristiques propres des variétés de luzernes.

Selon **Sultan-Tubeileh (2001)**, l'une des causes assez commune de la variabilité des rendements productifs des luzernes dans les régions Méditerranéennes, est l'inadaptabilité et l'inefficience des souches de *Sinorhizobium meliloti* dont les luzernes annuelles sont plus exigeantes quant à la spécifiques de la souche que les luzernes pérennes. Selon cet auteur, outre les méthodes classiques de sélection, un regard sur la qualité de l'adéquation de l'association luzerne-*Sinorhizobium meliloti* est une réserve importante d'amélioration productive des luzernes annuelles.

Ces différentes situations représentent une moyenne de production de MS de 7,0 tonnes (1 à 9.9) par hectare en plein champs et par an. Comparée à notre tonnage moyen de 2.75 tonnes, le facteur multiplicateur est de 2,5. Néanmoins, le tonnage que nous avons mesuré est celui d'une récolte, on ne peut le qualifier « d'annuel » selon le même principe que pour les semences. Sur trois récoltes dans l'année, nous serions théoriquement en moyenne autour de 8 tonnes de MS à l'hectare, soit des valeurs très respectables.

En ce qui concerne la production de matières azotées totales des populations de luzernes étudiées, les résultats apparaissent dans le **tableau 33**. La teneur en MAT étant peu dispersé, respectivement en moyenne : 27 ; 25 et 23% pour *M. ciliaris*, *M. truncatula* et *M. intertexta* (**Tableau 40**) et étant exprimées par rapport à la MS, c'est donc la quantité de MS produite qui discrimine les populations quant à leur production de matières azotées. L'espèce *M. intertexta* avec près de 1 tonne de MAT, produit 2 fois et 3 fois plus que *M. ciliaris* et *M. truncatula* respectivement. La population **I52**, dépasse 1.4 tonne suivent : **I31** (1,400), **I253** et **I756** avec chacune 1,1 tonnes.

Par ailleurs, ce tonnage est entendu pour le stade début floraison. Elle serait plus élevée au stade végétatif et plus faible en pleine floraison. On sait en effet que, la teneur en azote diminue avec l'augmentation de la biomasse (**Tableau 40**), comme l'avait traduit **Lemaire et al, (1985)** par l'équation :

$$N\% = 4,8 (MS^{aérienne})^{-0.32}$$

Le déficit hydrique étant également un facteur de diminution de la teneur en azote de la luzerne. Une bonne source d'informations quant au niveau de rendement des cultures dans la pratique de l'activité agricole en France par exemple, est le réseau des chambres d'agricultures. Pour la luzerne, cette institution donne une production de MS à l'hectare (de 3 ou 4 coupes annuelles) de 10 à 14 tonnes à l'hectare dans les meilleurs des cas. Pour les MAT : 1.5 à 2,5 tonnes.

Que dire en définitive de la qualité des populations étudiées sur les trois critères : production de semence, de MS et de MAT ?

- Pour la semence, nos résultats semblent nettement plus élevés que ceux de la littérature, nous avons émis plus haut quelques réserves explicatives,

- Pour la matière sèche, sur la base d'une récolte contre 3 ou 4 dans la littérature, nous serions sur un bon niveau : avec deux récoltes nous approcherions en moyenne les 6 tonnes annuelles, Pour les MAT, la production est très élevée avec *M. intertexta* (jusqu'à 1,4 tonne compte tenu qu'il s'agit d'une seule récolte). En moyenne des trois espèces : 0.6 tonne pour une récolte est plus qu'honorable. .

Néanmoins, malgré ces nuances, ces résultats sont prometteurs : dans chacune des trois espèces étudiées, il est possible de déceler un bon porte grain. Les *M. intertexta* étant à remarquer. Et aussi, les graines ne sont pas seulement des semences pour perpétuer l'espèce, c'est aussi, un aliment de choix pour les animaux au pâturage. Par exemple, les gousses de *M. truncatula* ont un taux de protéine de 67% et une teneur en cellulose brute de 17,9% (Vercose et Pearce, 1969 in Adem, 1974).

Chapitre 4. Valeur de la digestibilité des luzernes étudiées

Nous cherchons à apprécier la valeur nutritionnelle de nos luzernes à travers leur digestibilité et de disposer d'un test physique rapide n'exigeant pas l'intervention de l'animal, très couteuse.

Ce chapitre est donc divisé en trois parties : une partie, où nous cherchons un outil de laboratoire (que nous appellerons **index de digestibilité**) rapide à mettre en œuvre pouvant discriminer des populations ou des espèces de luzernes sur la base de leur digestibilité. Cette première méthode est désignée M1.

Dans une deuxième partie, sur les mêmes espèces, nous mesurons leur digestibilité à l'aide d'une méthode de référence internationalement validée et très utilisé que nous adapterons à nos conditions de (M2).

Enfin, dans une troisième partie de discussion, nous opposerons M1 et M2 dans le sens de valider M1 par M2.

1. Recherche d'un index de digestibilité (M1)

Le principe est l'étude de coupes histologiques au niveau des tiges, puis de calculer le rapport tissu non lignifiés sur tissus lignifiés. Les échantillons qui ont servis à ce test proviennent de la culture 2013. La répartition de la lignine dans les différents tissus est donnée dans le **tableau 34**.

Tableau 34 : Distribution des tissus primaires et secondaires et leurs imprégnations en lignine

Importance de lignine par espèce Tissus	<i>M. ciliaris</i>	<i>M. muricoleptis</i>	<i>M. truncatula</i>	<i>M. intertexta</i>	<i>M. sativa</i>
	Lignine faible	Lignine ± faible	Lignine ± importante	Lignine plus importante	lignine très importante
Cuticule	+	+	+	+	+
Epiderme,	+	+	+	+	+
Parenchyme	+++	++	++	+	±
Collenchyme	+	+	+	+	+
Sclérenchyme	-	±	+	++	+++
Xylène primaire	+	+	+	+	+
Xylène secondaire	+	++	++	+++	++++
Phloème primaire	+	+	+	+	+
Phloème secondaire	+	++	+++	+++	+++
Numéro de figure	8	9	10	11	12

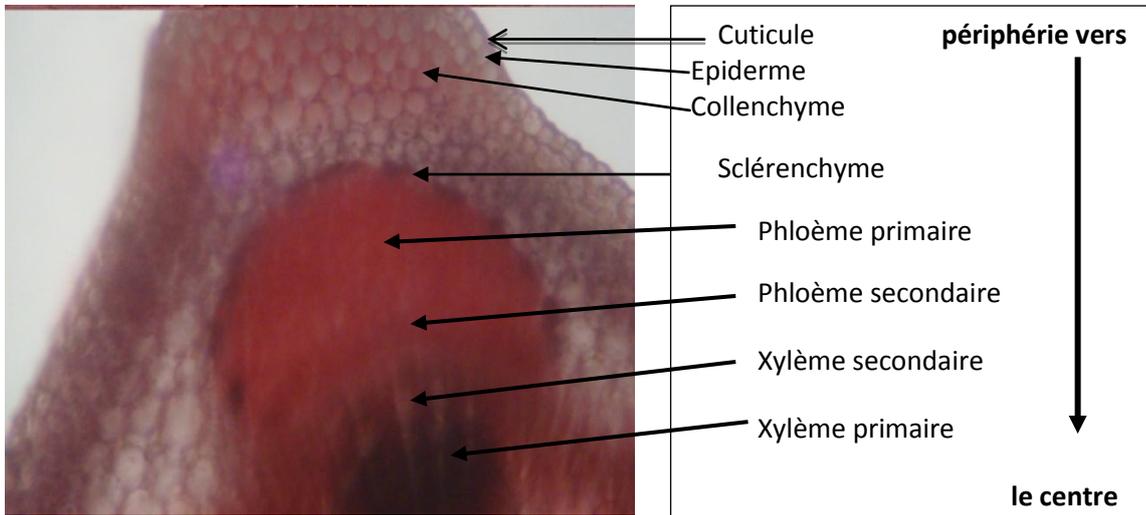


Figure 19 . Début de la formation des tissus secondaires chez *M.ciliaris*(Grossissement 40X10)

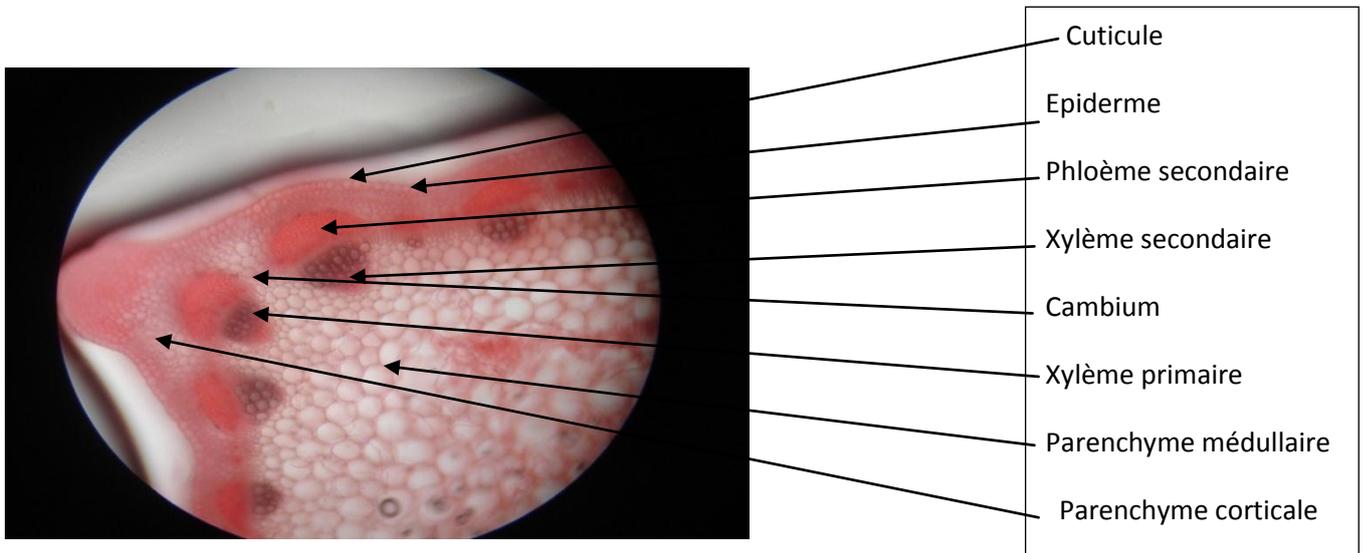


Figure 21.Coupe transversale d'une jeune tige de *M.muricoleptis*(Grossissement 10X10)

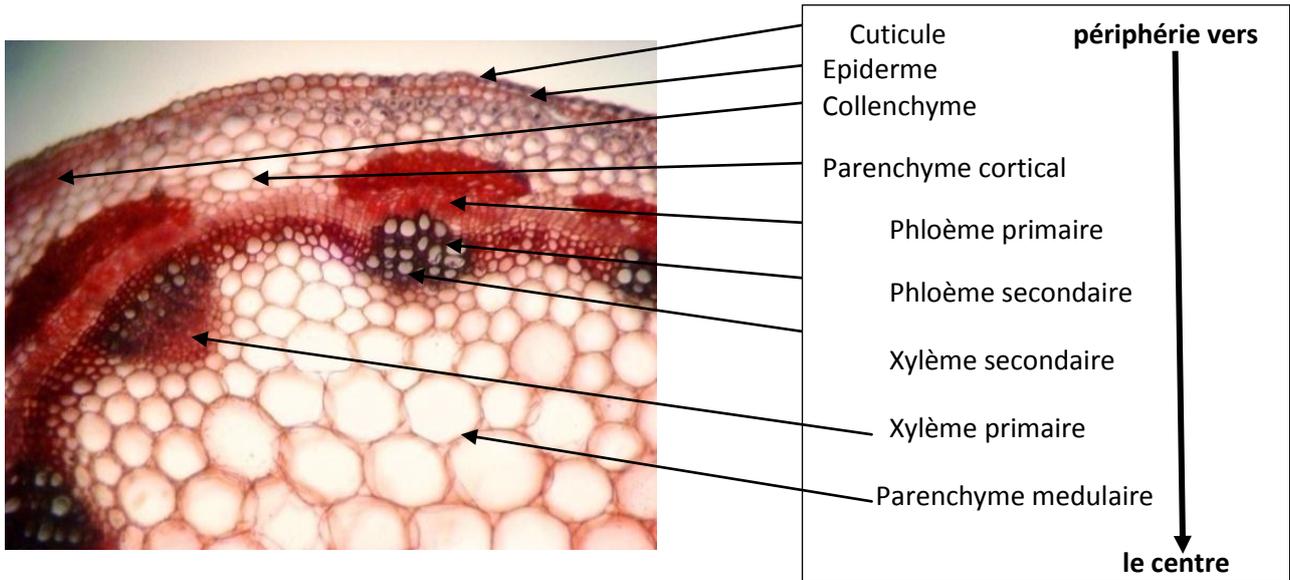


Figure 21. Coupe transversale à la base de la tige de *M. truncatula* (Grossissement 40X10)

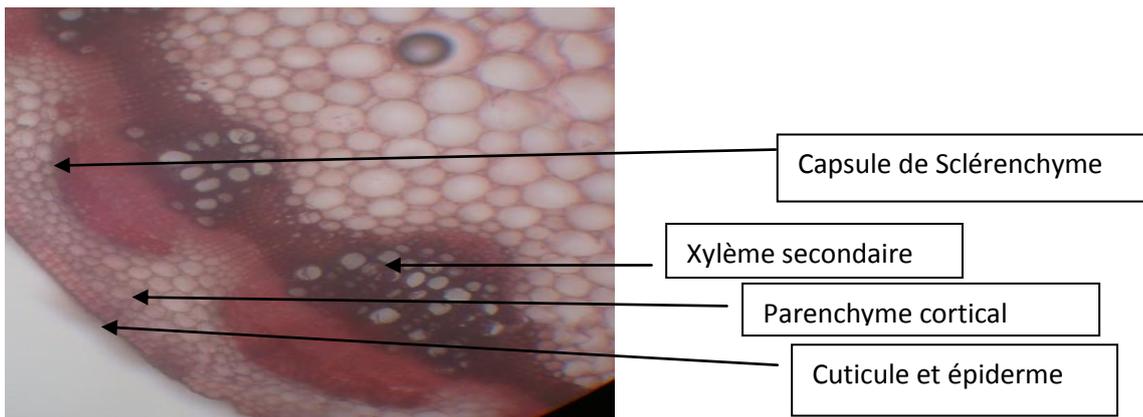


Figure 22. Coupe transversale au niveau de la base de la tige de *M. intertexta* (Grossissement 40X10)

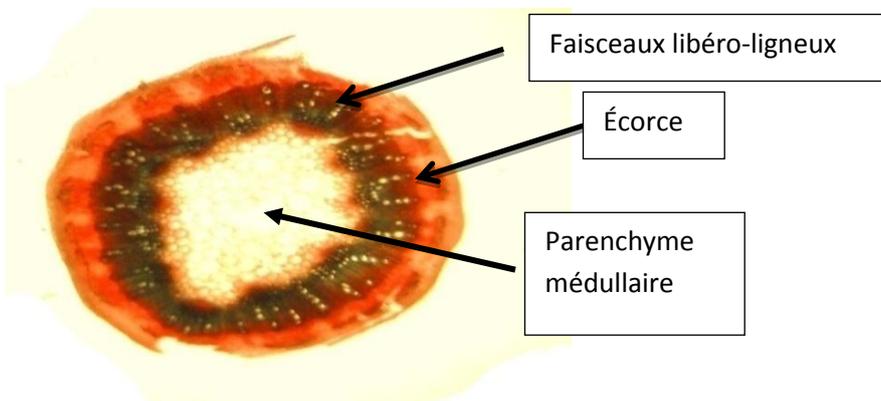


Figure 23. Coupe transversale au niveau de la base de la tige de *M. sativa* (Grossissement 10X10)

On constate que selon l'espèce de luzernes, la lignine est différemment distribuée, mais c'est dans les tissus secondaires qu'on la trouve : xylème et lephloème secondaires qu'elle est le plus présente et dans le sclérenchyme. Par ailleurs, c'est chez *M. ciliaris* *M. muricoleptis* (figures 19 et 20) que la lignine est moins incrustée dans les tissus, tandis que *M. sativa* et *M. intertexta* et *M. truncatula* (figures 21 ; 22 et 23), la lignine est plus imprégnée dans leurs tissus secondaires.

Chez toutes les tiges des espèces étudiées à deux stades phénologiques différents : début floraison et début formation des gousses, les coupes histologiques montrent que le nombre de faisceaux libéro-ligneux évolue peu entre ces deux stades (Tableau 35).

Tableau 35. Biométrie des différents tissus des espèces étudiées et rapport des tissus non lignifiés sur tissus lignifiés

Paramètres mesurés	Nbre Fcx	Epaisseur xylème (µm)	Epaisseur entre Fcx (µm)	Epaisseur tissus non lignifiés (µm)	Lg Fcx tissus lignifiés (µm)	Tissus non lignifiés/tissus lignifiés
Espèces	Base des tiges					
<i>M. ciliaris</i>	15	150.0	45.0	562,5	-	12.5
<i>M. muricoleptis</i>	11	165.0	75.0	525.0	-	7.0
<i>M. truncatula</i>	14	180.0	15.0	405.0	225.0	1.8
<i>M. intertexta</i>	14	150.0	90.0	450.0	250.0	1.8
<i>M. sativa</i>	14	105.0	97,5	202,5	187,5	1.1
	Sommet des tiges					
<i>M. truncatula</i>	12	112,5	30.0	450.0	180.0	2.5
<i>M. intertexta</i>	13	97,5	67,5	337,5	130.0	2.6

Nbre : nombre ; **Fcx** : faisceaux ; **Lg** : longueur

On peut penser que la digestibilité varie également peu. De même, l'épaisseur de xylème, tout comme la longueur des faisceaux des tissus lignifiés sont plus élevées à la base de la tige qu'au sommet de la tige, très visible pour *M. truncatula* et *M. intertexta*, de 12.5 à 1.8 (Tableau 35).

Sur la base du rapport feuilles sur tiges qui admet que la digestibilité est d'autant plus forte que ce rapport est élevé, il apparaît que le rapport **Tissus non lignifiés /tissus lignifiés** va en décroissant de l'espèce *M. ciliaris* à *M. intertexta* entre espèces annuelles et tombe à 1.1 pour *M. sativa*, espèce pérenne (Tableau 35). La digestibilité de ces espèces suivrait donc le même ordre décroissant que le rapport : Tissus non lignifiés /tissus lignifiés. Les luzernes annuelles sont donc plus digestibles que les luzernes pérennes au même stade.

Par ailleurs, nous avons observé, une formation secondaire nette au niveau de la base de la tige de *M. sativa* qui est absente chez les espèces annuelles étudiées du même genre.

La valeur alimentaire du fourrage diminue au cours du développement de la plante le rapport feuilles sur tige baisse et la lignification progresse et la valeur énergétique régresse affectant, l'ingestibilité et du même coup, la valeur azotée. Mais, sur une même plante, nous avons vu que la base de la tige présentait un rapport **Tissus non lignifiés / tissus lignifiés** plus faible que le sommet de la tige. C'est un compromis entre ces différents antagonismes qui déterminerait la vraie valeur nutritionnelle du fourrage luzerne.

Ainsi, en se basant sur la morphologie de la plante et des coupes histologiques au niveau des tiges suivies d'observations et de mesures au microscope optique, il serait possible de prédire la digestibilité de la matière sèche de la plante. Par ce simple rapport, on montre un ordre décroissant de ce rapport chez les espèces étudiées : *M.ciliaris* ; *M.muricoloptis* ; *M.truncatula* ; *M.intertexta* et *M.sativa*.

2. Etude de la digestibilité *in vitro* des luzernes

Comme nous l'avons dit plus haut, la digestibilité *in vitro* (Div) de **Tilley et Terry (1963)** est une méthode standardisée internationale très utilisée. Pour l'utiliser dans notre travail, nous l'avons adaptée à nos conditions de travail. Cette adaptation constitue essentiellement, l'utilisation d'un inoculum de rumen prélevé directement à l'abattoir après abattage des animaux (moutons). Nous n'avons donc aucune information sur la nature de l'alimentation, qu'ils ont reçue avant abattage, au contraire de la méthode standardisée où l'inoculum de rumen est prélevé sur des animaux porteurs de fistules du rumen recevant une alimentation de composition connue. Un deuxième manque est constitué par l'échantillon témoin (qui mesure l'activité de l'inoculum de rumen) que nous devrions produire, enfin, nous avons utilisé deux bains marie en parallèle avec une répartition des échantillons. Il nous a paru donc nécessaire de tester ce dispositif quant à son efficacité en termes d'erreurs statistiques.

2.1. Production du témoin

➤ Implantation, et développement végétatif

Il s'agit d'une luzerne d'origine italienne de type pérenne (variété Triade), nous avons parallèlement à la production du témoin pour la réalisation de la Div, étudié son adaptabilité, aux conditions pédoclimatiques de l'Algérie en mesurant quelques paramètres biométriques et phénologiques : les résultats figurent dans le **tableau 36**.

Tableau 36 : Quelques caractères biométriques et phénologiques de la luzerne Triade

ITGC 3 ^{ème} Année	Nbre plants/m ²	Nbre tiges /m ²	Hauteur tiges (cm)	MV g/m ² vert	MS g/m ²	Ø tiges (cm)	F/T frais	F/T sec
Coupe 1 : BF	11,33	306,00	71,57	1506,7	400,7	0,065	0,84	0,96
Coupe 2 : BF	12,67	65,79	77,57	2806,7	757,1	0,347	0,80	0,94
Coupe 3 : BF	11,33	54,57	59,29	1073,3	185,7	0,233	1,19	1,03
Moyenne	11,78	142,12	69,45	1795,6	447,8	0,215	0,946	0,98
Ecart type	0,77	142,03	9,29	902,5	288,574	0,1417	0,213	0,06

Le rendement en MS, dépend de la croissance de la plante, mais aussi du nombre de plantes par unité de surface et du nombre de pousses (**Mauriès, 2003**). Ainsi, le nombre de plantes par mètre carré trouvé chez la variété Triade au stade bouton floral est en moyenne de 12 plantes par m². Il lui correspond un nombre moyen de tiges des trois coupes de 142 par m².

Le facteur qui détermine la croissance de la plante est la hauteur moyenne des tiges. Au stade bouton floral, cette hauteur est de 69,45cm. Le rendement moyen de matières vertes (MV) des trois coupes par mètre carré à cette hauteur et à ce stade est de 1795 g/m² contre 448 g/m² de matières sèches (MS) avec un rapport feuilles sur tiges frais de 0,95 et un rapport feuilles sur tiges sec de 0,80.

Le diamètre de la tige à l'âge adulte est un caractère variétal. La finesse des tiges est recherchée pour la luzerne destinée au famage. Dans un même plant, l'évolution du diamètre est en fonction du stade phénologique. Au stade bourgeonnement, le diamètre moyen des trois coupes est de 0,215cm.

Les luzernes comportent toujours des feuilles et des tiges quel que soit l'âge ou le numéro du cycle. Au stade précoce, la proportion de feuilles représentent la moitié de la MS de la plante (**Mauriès, 2003**). Le rapport F/T exprime la richesse en feuilles donc en éléments nutritives notamment azotés. Il diminue avec la croissance des tiges, de la plante d'une façon générale au cours du premier cycle.

Cette baisse est très rapide puisque, le rapport diminue de moitié environ entre le stade bourgeonnement et le stade pleine floraison (**Pancquaert,ND**). La chute du rapport feuilles/tiges dépend plus de la croissance du couvert c'est-à-dire de la hauteur et du nombre de tiges qu'offre la plante et du numéro du cycle. Pour la variété Triade, le F/T est stable sur les trois coupes du 3^{ème} cycle.

➤ Composition chimique

Le rendement en MS, dépend de la croissance de la plante, mais aussi du nombre de plants par unité de surface et du nombre de pousses (**Mauriès, 2003**). Sur trois cycles de production, la composition chimique de cette luzerne est donnée dans le **Tableau 37**. Globalement, ces valeurs sont proches de celles obtenues par **Kamalak et al (2005)** donnant la digestibilité de 14 foins de luzerne de variétés différentes.

La teneur en matière azoté totale (MAT) au stade bouton floral (BF) est comprise entre 15,5% et 17.0 % de la MS pour les trois cycles, l'écart est faible comparativement à celui donné par **Mauriès (2003)** : 14 à 29% de la MS. Cet auteur précise, qu'à partir du deuxième cycle, la teneur en matières azotées diminue avec l'âge des repousses mais plus lentement qu'au premier cycle.

Tableau 37 : Composition chimique (en % de la MS) de la variété Triade

Numéro de coupe et paramètres chimiques	ITGC : C1 : BF	ITGC : C2 : BF	ITGC : C3 : BF	Moyenne	ET
MS (%)	92.77	92.64	92.71	92.71	0.063
MAT	15.48	17.04	16.26	16.26	0.781
CB	25.03	27.15	26.09	26.09	1.059
MM	6.56	7.11	6.83	6.83	0.281
Ca	1.525	1.593	1.559	1.559	0.034
P	0.328	0.324	0.326	0.326	0.0018
NDF	42.10	44.53	43.31	43.31	1.214
ADF	19.75	20.64	25.26	25.26	5.518
HC	13.99	13.74	13.87	13.87	0.123
ADL	8.55	10.16	9.36	9.36	0.806

C1 : N° coupe ; BF : boutons floraux ; ET : écart- type

La quantité de cendres de la luzerne Triade, varie entre 6,6 et 7,0% de la MS. Ces valeurs sont inférieures à celles données par **Meschy et Guéguen (1995)**, dont la variation est entre 8 à 15%. Pour ces cendres, riches en minéraux, il semble y avoir une opposition entre leur accumulation et la pleine croissance des organes végétatifs qui s'accompagne d'une active polymérisation des glucides (**Moule, 1982**). Donc, l'âge influe sur la quantité de minéraux trouvés dans la plante. Par ailleurs, la luzerne comporte une combinaison particulièrement intéressante d'oligoéléments activateurs puissants de la synthèse microbienne dans le rumen (**Module FAO, 2001**).

La teneur en phosphore ne varie pas entre les trois cycles (0,324 à 0,328 % de la MS) (**Tableau 37**), valeurs comparables à celles données par **Daccord et al (2001)** : 0,34 à 0,36 de la MS.

La teneur en minéraux de la plante est le reflet du sol qui la produit (**Jean-Blain, 2002**). Les engrais phosphoriques liquides semblent provoquer une augmentation plus marquée de la teneur en P des fourrages (**Lambert et Toussaint, 1978 in Meschy et Guéguen, 1995**). Selon **Chadjaa (1982)**, l'engrais phosphaté a un effet très positif sur le taux d'accumulation de l'azote total dans les plants de luzernes, ainsi que sur le taux de protéines totales. Dans notre parcelle de luzerne, aucun apport de Phosphore n'a été effectué.

Quant à la teneur en calcium tout comme le phosphore, elle est stable entre les trois cycles : 1,52 à 1,59% de la MS. La teneur en ce minéral donnée par **Daccord et al (2001)** chez les légumineuses est de $1,51 \pm 0,25\%$ MS. Celle-ci augmente avec l'âge.

NDF tout comme la cellulose et les hémicelluloses varient peu du cycle 1 au cycle 3 (**Tableau 37**). Ces valeurs sont en moyenne comparables à celles données par **Piva et al (1993)** et **Corsi et al (2001)**. Pour la teneur en ADF, elle est en moyenne de 25,26% de la MS et elle est similaire au résultat de **Torricilli et al (2001)**. Par contre, la teneur en ADF est croissante, elle passe de 19,75 au cycle 1 à 25,26 au cycle, soit 22% de progression. Il en est de même pour la lignine qui progresse de 15% entre le cycle 1 et le cycle 2 ; considéré comme un facteur fort de la diminution de la digestibilité chez les ruminants, elle est en moyenne de 9,36% MS pour les trois coupes au stade bourgeonnement.

La matrice de corrélations réalisée entre les composants chimiques moyens de la variété Triade (au stade bouton floral) et quelques paramètres phénologiques et agronomiques tels que : longueur des tiges, rendement en vert et en sec, nombre de plants au m², montre que la longueur des tiges est corrélée positivement avec le rendement en vert et le rendement en sec (respectivement, $R = 0,862^{***}$ et $0,825^{***}$). De même, le nombre de plants par mètre carré est parfaitement corrélé avec la teneur en lignine ($R = 0,991^{***}$). A contrario, le nombre de tiges par mètre carré est négativement corrélé ($R = -0,687^{**}$) avec la lignine. Ce résultat suggérerait que pour la variété Triade, la densité de semis influe sur la lignification de la plante ? En corolaire, étant donné que le nombre de tiges augmente avec un écartement élevé entre plants, un écartement élevé pourrait diminuer le taux de lignine dans la plante.

➤ **Mesure *in vivo* de la digestibilité de Triade**

Le foin qui a été utilisé pour fabriquer notre témoin est réalisé au troisième cycle de vie de la luzernière. La première coupe du cycle est effectuée le 19/04/2012, la deuxième coupe le 7/05/2012 et la troisième le 28/05/2012. Ses caractéristiques chimiques ont été données dans le **tableau 37**.

Après mise en œuvre du protocole de détermination de la digestibilité décrit en matériel et méthode, celle-ci a été calculée pour les trois composants : matières sèches (MS), matière organique (MO) et matières azotées totales (MAT). Les résultats figurent dans le **tableau 38**. Ils sont comparables à ceux donnés par la littérature pour un foin de luzerne de 3^{ème} cycle (**Andrieu et Demarquilly, 1987 ; Julier et Huyghe, 1997 ; Mauriès, 2003**). La variabilité entre animaux est correcte : 4.20 ; 3.55 et 5.83 % respectivement pour la MS, la MO et pour les MAT.

Tableau 38: Coefficient d'utilisation digestif apparent de la MS, MO et de la MAT (en%) de la luzerne Triade

Animaux	CUD MS	CUD MO	CUD MAT
Animal 1	62,79 ±6,37	68,3 ±4,82	57,58 ±6,93
Animal 2	58,35 ±13,38	71,62 ±11,44	51,74 ±12,21
Animal 3	62,96 ±5,20	66,82 ±5,40	57,1 ±7,51
Moyenne de lot	61,37 ±2,61	68,91 ±2,45	55,48 ±3,24

Ce travail d'étude de la variété de luzerne Triade avait deux objectifs :

- Constat ou non d'un potentiel d'adaptabilité dans nos milieux pédoclimatiques, notamment du Nord. Il apparaît que sur la base de caractères phénologique, agronomiques et chimiques, la luzerne Triade, capitalise globalement, les qualités couramment notées en Algérie pour d'autres variétés étrangères telles que Marina, étudiée par **Alane (2007)**. Néanmoins, la production de MAT à l'hectare est faible : 0.8 tonne, contre 2 à 3 tonnes à l'ITGC (**3 coupes**). Ce résultat peut être expliqué par le cycle de la luzerne Marina, 1^{ière} année d'installation et première coupe. Ce faible rendement en MAT, résulte de celui de la MS à l'ha : 4.5 tonnes contre 10-12 dans les pays à culture fourragère intensive, souvent irriguées. Cependant, avec une bonne combinaison des techniques agronomiques que nous disposons : densité de semis, écartement des plants, gestion des coupes, fertilisation, régime hydrique, Triade se révélera possédant un fort potentiel d'adaptation pour les régions du Nord de l'Algérie.
- Le deuxième objectif était de disposer d'un témoin pour apprécier l'activité de l'inoculum de rumen prélevé à l'abattoir. Il résulte que pour toute la durée de mesure de la digestibilité *in vitro* (DIV), le critère témoin sera, la digestibilité de la MS de la luzerne Triade qui s'établit à **61.4 %**.

2.2. Autres facteurs pouvant avoir un effet sur la mesure de la digestibilité *in vitro*

L'ensemble des relevés réalisés à chaque mesure de la Div sont consignés dans le **tableau 39**.

Comme on peut le constater, la digestibilité moyenne en *in vitro* de notre témoin Triade est de **60%**, très comparable à celle mesurée *in vivo* (**61.4%**) avec un CV de seulement 16.2 %. La différence entre l'essai n'étant pas significative. Tout comme l'effet bain-Marie mesuré par le résidu sec (du blanc incubé) et la Div du témoin Triade. En clair, les deux bains utilisés en parallèle, n'a pas d'effet en moyenne sur le résultat de la Div : les erreurs éventuelles de manipulations se compensant. Par contre, le résidu sec du jus qui donne sa teneur en matière sèche résiduelle après 48h d'incubation, est différent selon le jour de prélèvement du jus, donc selon l'essai. Ainsi, ce poids du résidu varie entre 0.134g pour l'essai 3 et 0.279g pour l'essai 2. Cette différence, traduit d'une part, la nature des aliments consommés par les animaux donneurs de jus et d'autre par du temps de séjour de ces aliments dans le rumen avant le prélèvement (bien qu'il s'agisse d'un mélange de jus de rumen de plusieurs animaux).

Tableau 39 : Paramètres des conditions de réalisations de la digestibilité *in vitro*

Paramètres Les n° des essais	Div du Témoin (%)	Résidus sec du jus (g)	Effet bain-marie	
			R.sec jus	Div T
Essai 1	46.12	0.201	0.201	46.12
	59.98	0.191	0.267	76.39
Essai 2	76.39	0.267	0.143	64.36
	64.79	0.279	0.161	57.16
Essai 3	64.36	0.143	0.191	59.98
	58.27	0.134	0.279	64.79
Essai 4	57.16	0.161	0.134	58.27
	52.77	0.162	0.162	52.77
Moyenne ± ET	59.98 ± 9.72	0.19±0.059	0.19±0.059	59.98±9.72
CV	0.162	0.31	0.31	0.162
RSE	6.92	0.006	0.06	9.63
R ²	0.66	0.99	0.0006	0.02
P	0.19 NS	0.0001 ***	0.95 NS	0.75 NS

Cette différence n'a pas de répercussions sur la valeur de la Div mesurée car, le mode de calcul de la Div permet de défalquer le poids sec résiduel de l'inoculum du résidu sec des tubes ayant reçu les échantillons de luzernes.

Conclusion

Toutes les conditions de mesures de la Div ont été très satisfaisantes, nous les présentons dans les pages qui vont suivre.

2.3. Composition chimique et digestibilité des populations de luzernes étudiées

➤ Composition chimique

Les résultats apparaissent dans le **tableau 40**. Ils démontrent que la teneur en matières minérales des luzernes annuelles est conséquente comme l'indiquent aussi: **Goumiri *et al.* (1990)**, **Porqueddu (2000)**, **Alane (2007)**. Dans notre travail, elle varie de 9 à 14% de la MS, très comparable à celle donnée par **Meschy et Guéguen (1995)** : 8 à 15%. Pour **Jean-Blain (2002)**, elle est le reflet du sol qui la produit, elle est plus élevée pendant la phase de croissance et d'accumulation de la plante. Les cendres de luzernes sont par ailleurs, réputées pour être riches en phosphore, calcium, magnésium et de nombreux micros éléments activateurs de la synthèse microbienne, comme le zinc (**FAO, 2001** ; **Daccord *et al.*, 2001**). L'espèce *M.truncatula* (Tr238) porte la valeur la plus élevée (18%) mais, ce n'est pas un avantage particulier car diminue d'autant la teneur en matière organique, gage de la valeur énergétique du fourrage.

La teneur en matières azotée est élevée avec un maximum de 29% (S5) et un minimum de 20% (I107) : l'espèce *M.ciliaris* est le mieux pourvu en MAT avec une moyenne de 27% contre *M.intertexta* : 23%. La moyenne, toutes populations confondues, est de 23%, en accord avec celle donnée par **Mauriès (2003)**, pour le stade bouton floral-début floraison. La teneur en NDF la plus élevée, 46% de le MS se recrute parmi les *M.intertexta* (I253) tout à fait logiquement, ADF et ADL suivent avec 21 et 9% comme maximas respectifs pour l'ensemble des populations. Mais en moyenne, la teneur en ADL n'est que de 5% avec un minimum de 2.6% pour C2 de *M.ciliaris*. Enfin, l'ANOVA nous indique, que seuls deux composants, discriminent significativement nos populations de luzerne : les MM et les MAT (**Tableau 40**).

Cependant, c'est la paille et ses composants qui présentent les sources de variabilités (appréciées par le CV) les plus importantes : 31 ; 39 et 44 respectivement pour NDF, HC et ADL.

La matrice de corrélation présentée dans le **tableau 41**, associe les composants de la membrane (NDF), les MAT et deux autres paramètres biométriques. Elle montre l'opposition entre NDF et les MAT. De même, à ce stade du bouton floral, la quantité de MS produite est faible, alors que cette biomasse est riche en azote, ce qui se traduit par une corrélation négative entre ces deux variables. Il est intéressant de constater, le signe positif de la corrélation entre les facteurs N.Tiges/m² et ADF : la quantité de MS (donc indirectement la lignine) augmente parallèlement, avec l'âge de la plante, tout comme NDF et ADL ce qui confirme les résultats de **Mauriès (2003)**. De même est pertinente la corrélation négative et significative, entre MSg/m² et MAT%MS, relation qui peut se traduire par la courbe déjà citée en haut :

$$N\% = 4,8 (MS \text{ aérienne})^{-0.32}$$

Une telle relation indique que toute augmentation de croissance de la luzerne se traduit par une diminution de sa valeur azotée (**Lemaire et Allirand ,1993**).

Tableau 40 : Composition chimique des populations de luzernes dont la Div a été étudiée

Espèces	Populations	MS (%)	(% MS)					
			MM	MAT	NDF	ADF	HC	ADL
<i>M. ciliaris</i>	C2	90.09	11.76	24.81	20.79	16.86	3.93	2.59
	C58	89.68	10.74	27.77	35.77	20.35	15.42	4.71
	S5	86.31	16.45	29.34	25.95	21.72	4.23	3.33
	Moyenne ± ET	88.69 0.21	12.98 3.05	27.31 2.30	27.50 7.61	19.64 2.51	7.86 6.55	3.54 1.08
	CV	0.002	0.23	0.08	0.28	0.13	0.83	0.31
<i>M. truncatula</i>	Tr238	88.97	18.47	26.95	36.21	17.46	18.76	3.70
	Tr334	89.27	10.56	22.52	21.52	16.64	4.89	3.16
	Moyenne ± ET	89.12 0.21	14.52 5.59	24.74 3.13	28.87 10.39	17.05 0.58	11.83 9.81	3.43 0.38
	CV	0.002	0.38	0.13	0.36	0.03	0.83	0.11
<i>M. intertexta</i>	I11	89.77	8.66	21.92	45.43	17.28	28.15	3.37
	I31	89.04	9.57	22.85	21.34	13.38	15.69	4.28
	I52	89.13	8.56	23.49	41.12	19.22	21.90	4.84
	I253	89.43	8.64	21.65	45.74	21.23	24.51	9.09
	I58	88.05	9.18	23.93	20.85	15.85	5.00	2.65
	I107	89.78	8.02	20.37	28.11	15.21	17.91	4.19
	I756	89.62	9.05	25.11	36.38	16.50	19.88	6.70
	Moyenne ± ET	89.26 0.61	8.81 0.50	22.76 1.59	34.14 10.74	16.95 2.61	19.01 7.43	5.02 2.20
	CV	0.006	0.06	0.07	0.31	0.15	0.39	0.44
ANOVA	RSE	1.10	2.39	1.98	10.1	2.44	7.55	1.81
	R ²	0.06	0.57	0.55	0.11	0.23	0.36	0.18
	P	0.76	0.02	0.03	0.60	0.31	0.14	0.42
	Signification	NS	**	**	NS	NS	NS	NS

** : p < 0.0001 ; NS : non significatif (p > 0.05) ; R² : coefficient de détermination ; RSE : écart type résiduel. Sur la même colonne les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes.

Tableau 41. Matrice de corrélations de quelques paramètres chimiques et biométriques des populations étudiées

	NDF	ADF	HC	CB	ADL	MSg/m ²	N.Tiges /m ²
NDF	1						
ADF	0,183	1					
HC	0,876***	-0,014	1				
CB	-0,180	0,235	-0,316*	1			
ADL	0,497***	0,111	0,449**	-0,553***	1		
MSg/m ²	0,40**	0,10	0,35**	0,34**	0,05	1	
N.Tiges/m ²	-0,08	0,40**	-0,17	0,16	-0,28	-0,20	1
MAT%MS	-0,45***	0,31*	-0,42**	-0,20	-0,22	-0,41**	0,49**

* : p< 0.05 ; ** 0.01 ; *** 0.001

Chez la luzerne (comme chez tous les fourrages), la composition chimique suit le stade de développement de la plante. Ainsi, **Guy (1961)** note le passage de la teneur en MAT de 24.6 % à 13.90% du 20 avril au 1^{er} juin. De même, **Mauriès (2003)**, indique qu'en passant du stade végétatif au stade floraison, la teneur en MAT est passée de 27 à 15%. Parallèlement, le rapport feuilles tiges décroît tandis que la teneur en MS augmente. Ce rapport peut passer de 1.4 au stade bouton floral à 0.7 en pleine floraison.

Cet auteur précise par ailleurs que, le poids des feuilles augmente linéairement avec la hauteur des tiges alors que le poids des tiges augmente au carré de la hauteur. La composition chimique des feuilles étant peu variable, c'est celle de la tige qui est responsable de la diminution du rapport feuilles tiges et donc de la teneur en MAT, puisque la teneur des feuilles varie entre 21.9 et 24.4 % contre 11.9 et 15.0% (**Demarly, 1966**). D'autres facteurs de variabilités génétiques entre espèces ou entre populations s'y rajoutent comme la surface foliaire. Ainsi, les cultivars de *M.falcata* ont une surface foliaire de 98 m² contre 138 m² pour *M.sativa* (**Guy, 1961**).

Peu d'attention a été également accordée à l'épaisseur de la tige, qui est associée à la distribution physique des composants structurels notamment la lignine. Ainsi, les tiges les moins rigides sont plus digestibles tout comme, la base de la tige est plus lignifiée que le sommet. Les différences génotypiques dans la digestibilité de la tige sont généralement associées à des variations du nombre de faisceaux vasculaires (ou faisceaux libéro-ligneux) ou à une lignification du parenchyme entre les faisceaux vasculaires. L'étude des coupes anatomiques de la tige de quelques unes de nos luzernes (**Tableaux 34 et 35**) a montré que, au stade début floraison, qu'il y avait déjà des différences significatives de lignification ; par exemple, *M muricoleptis* est plus lignifié que *M.ciliaris* sa capsule du sclérenchyme est plus développé. Outre la variabilité bien établie au sein du même type de luzerne, elle l'est aussi entre espèces pérennes et annuelles, comme il est montré pour *M.sativa* (**tableau 35**). Néanmoins, selon **Jouanin et Lapierre (2006)** qui parlent « des lignines et non de la lignine » espèrent en la sélection pour produire des lignines moins imperméabilisantes des parois des plantes annuelles comme les Médocs et plus solubles.

➤ Digestibilité *in vitro* de la matière sèche des populations étudiées (M2)

Les résultats figurent dans le **tableau 42 et le détail par essai** en double est donné en **annexe 6**.

Considérés d'abord par essai, les valeurs de digestibilité enregistrées, s'établissent égales ou supérieures à 70% : 75 ; 73 ; 74 ; 79 (respectivement pour les essais 1 à 4) et en moyenne générale, 75%. La moyenne de digestibilité par espèce est de 77 ; 73 et 75 % pour *M ciliaris*, *M truncatula* et *M*

intertexta. Dans la littérature, quelques digestibilités *in vitro* pratiquées sur des luzernes annuelles montrent des valeurs au stade végétatif, bourgeonnement ou début floraison de l'ordre de 70% ce qui est en accord avec nos résultats obtenus au stade début floraison. Ainsi, **Brownlee et Denney (1985)** rapportent que, celle *in vitro* de *M. polymorpha* cv. Chypre a été de 66% contre 71 % pour *M. truncatula* cv. Jemalong. **Jones et McLeod (1971)** aussi sur *M. truncatula* enregistre une digestibilité de la MS de 72% au stade végétatif de la plante, 60% à la floraison et 30% à la sénescence. Les mêmes auteurs observent pour *M. scutellata* une digestibilité de 78 % au stade végétatif et 50% à la fin de la maturation des graines.

Une digestibilité égale ou supérieure à 70% est donc avérée pour les luzernes annuelles à un stade précoce de récolte. A l'image de la composition chimique (diminution des MAT, augmentation de NDF), la digestibilité chute avec l'âge de la plante. Ces niveaux de digestibilité, en moyenne entre 70 et 80 % que nous avons obtenus et confirmés par la littérature semble être une caractéristique de toutes les populations que nous avons traitées car même si des différences significatives s'observent entre essais et pour la synthèse de tous les essais (**tableau 43**), seulement 51% des variations de la digestibilité sont expliquées par les populations de luzernes.

Tableau 42. Valeur de la digestibilité *in vitro* des populations de luzernes étudiées

Espèces	Populations	Digestibilité Essai 1	Digestibilité Essai 2	Digestibilité Essai 3	Digestibilité Essai 4	Moy. essais	Moy. Espèce
<i>M. ciliaris</i>	C2	87,59	81,83	75,52	70,08	78,75	77,14
	C58	72,79	73,57	79,97	82,49	77,20	
	S5	79,64	66,99	74,56	80,64	75,46	
<i>M. truncatula</i>	Tr238	69,93	65,51	70,02	74,28	69,94	73,34
	Tr334	77,28	73,54	73,66	82,53	76,75	
<i>M. intertexta</i>	I11	74,04	67,46	74,45	80,22	74,04	74,60
	I31	76,33	72,93	76,20	79,87	76,33	
	I52	76,34	75,39	74,57	79,07	76,34	
	I253	64,5	77,18	77,85	80,57	75,02	
	I58	70,0	75,80	71,12	79,00	73,98	
	I107	69,4	65,19	68,09	79,83	70,63	
	I756	73,21	76,06	75,34	78,91	75,88	
Analyses statistiques	Moy. ± ET	74,72±6,7	72,62±6,9	74,28±4,32	78,96±4,52	75,3±2,60	75,17±2,34
	CV	0,09	0,09	0,06	0,06	0,034	0,031
	RSE	7,71	5,53	4,0	4,08	6,01	-
	R ²	0,31	0,62	0,55	0,57	0,51	-
	P	0,50	0,16	0,31	0,26	0,44	-
	-	*	***	**	**	**	-

* : p< 0.05 ; ** 0.01 ;*** 0.001

A la lumière de ces résultats, il semble qu'en pratique, les variations entre populations et espèces sont faibles : 3,4 et 3,1 % respectivement. Le critère de Div à un stade précoce de la plante, ne semble pas discriminer fortement les populations en termes de critère pour la sélection. D'autres indicateurs tels que : le rendement à l'hectare, la précocité (déterminant le nombre de coupes), le rapport feuilles tiges, la digestibilité de la tige, les quantités ingérées entre autres offrent une large palette de variabilités (**Abdekafi et Marrakchi, 2000**), sources d'opportunités et de richesses génétiques.

La caractéristique forte de ces luzernes, est la chute rapide de leur digestibilité avec l'avancement des stades, en stricte corrélation avec la composition chimique.

Il reste que la digestibilité de la luzerne malgré sa teneur élevée en MAT, est moins élevée que celles de Poacées au même stade de développement (**Crespo, 1977**) et de nombreuses voix scientifiques

s'élèvent pour l'amélioration de cette digestibilité par la sélection en combinant production et digestibilité élevées (**Demment *et al*, 1986 ; Emile et Traineau, 1993 ; JulieretHuyghe1998**). Cette digestibilité, pourrait passer par l'amélioration du rapport feuilles/tiges et de la digestibilité des tiges (53% contre 69% pour la plante entière). Par ailleurs, la variabilité structurale de la lignine (bien localisée dans la tige) laisse des marges pour une amélioration de sa solubilité donc de sa dégradation dans le rumen (**Jouanin et Lapierre, 2006**).

L'idéal serait de pouvoir améliorer la digestibilité de la luzerne, sans compromettre ses autres composants agronomiques et nutritionnels, notamment les minéraux et les matières azotées. Ainsi, des programmes visant à comprendre les bases génétiques de la digestibilité ont été élaborés. Ils ont porté sur : (1) les méthodes de mesure, (2) la variabilité entre cultivars et à l'intérieur des cultivars, (3) les corrélations entre digestibilité et autres paramètres agronomiques, (4) l'hérédité de la digestibilité, (5) sur les caractéristiques **histologiques** explicatives de la digestibilité des tiges (**Julier *et al*, 2003**).

Notons cependant, que l'expérience montre, qu'il y a toujours antagonisme entre qualité et quantité. Or, la quantité exprimée à l'hectare reste un indicateur économique de poids pour l'agriculteur. Le point où se croiseront ces deux courbes sera d'autant plus facile à atteindre que nous disposons en Algérie, d'un grand potentiel de variabilité génétique naturelle : choisir dans la diversité. (**Chehat, 1988 ; Abdekafi et Marrakchi, 2000 ; Khelifi *et al*, 2006**), a contrario de pays où la pression de la sélection a provoqué une érosion génétique dommageable (**Lafon *et al*, 1996**).

➤ **Confrontation de différents outils rapides d'évaluation de la digestibilité de la luzerne**

Le but de l'analyse d'un tableau de composition chimique d'un fourrage comme nous l'avons fait plus haut, est de pouvoir apprécier la valeur alimentaire du fourrage par le biais de sa teneur en les principaux composants qui déterminent cette valeur alimentaire. Depuis le 18^{ième} siècle, la cellulose brute (remplacée plus ou moins à partir des années 1970 par le NDF ou l'ADF à la lumière des travaux de **Van Soest (1963)** est reconnue comme étant un facteur impactant négativement la valeur alimentaire tout comme la lignine à plus forte degré. Sa teneur dans la plante augmente avec l'âge de celle-ci tandis qu'à l'opposé, les matières azotées facteur positif de la valeur alimentaire du fourrage, quantitativement, diminuent avec l'âge de la plante (**INRA, 1978 ; Mauriès, 2003**). C'est l'antagonisme âge de la plante et qualité de la composition chimique.

Sur cette base, des milliers de travaux dans le monde ont établi des modèles généraux permettant d'atteindre la valeur alimentaire des fourrages en introduisant dans ces modèles **mathématiques**, les composants chimiques des fourrages comme des variables explicatives de leur valeur alimentaires. Par exemples à l'international : **INRA France (19978 ; 1988) ; ARC Grande Bretagne (1980 ; 1993) NRC : USA (2001 ; 2007)** et en Algérie, très récemment, **Chibani, (2013)**.

Nous avons relevé dans la littérature deux modèles établis à partir de la seule luzerne :

- Université du Wyoming (**Mauriès, 2003**) :

$$\text{Dg MS} = 88.9 - [0.779 \times \text{ADF \%}] \quad (1) \text{ noté: Dg UW (\%)}$$

- **Lemaire et Allirand (1993)** :

$$\text{Dg} = [65,2 \times (\text{F/T}) / (1 + \text{F/T})] + 36,5 \quad (2) \text{ noté :Dg. L-A (\%)}$$

A ces deux modèles, nous avons ajouté, tiré de notre travail le **F/T(3)** et les résultats de la digestibilité *in vitro*(4) noté : **Div. Tilley (%)**

A partir de nos données, nous avons calculé la digestibilité de nos luzernes résultant de l'application de (1) et de (2) respectivement auxquelles, nous avons joint la **Tilley et Terry**. Les résultats figurent dans le **tableau 43**

On constate que les trois modèles présentant la digestibilité en pourcentage, génère des valeurs très comparables : 77 ; 75 et 75 respectivement pour **Dg. L-A (%)**, **Tilley-Terry** et **Dg UW (%)**. Aucune hiérarchie ne s'impose, concrètement, ni pour les méthodes, ni pour les espèces, même si une présomption favorable pourrait être émise pour *M truncatula*.

Tableau 43 : Valeurs comparées de la digestibilité des luzernes étudiées calculée à l'aide de quatre méthodes

Espèces	Populations	F/T Sec (3)	Dg. L-A (%) (2)	Div. Tilley (%) (4)	Dg UW(%) (1)
<i>M. ciliaris</i>	S5	1,51	75,68	75,46	71,98
	C2	1,38	74,30	78,85	75,77
	C58	1,68	77,37	77,20	73,05
Moyenne	-	1.52	75.78	77.17	73,60
<i>M. truncatula</i>	Tr238	2,70	84,07	69,94	75,30
	Tr407	2,15	81,00	76,75	75,94
Moyenne	-	2,42	82.53	73,34	75,62
<i>M. intertexta</i>	I11	1,31	72,57	74,04	75,44
	I756	1,39	74,42	75,88	76,05
	I107	1,09	70,51	70,63	77,05
	I253	1,42	74,76	75,02	72,36
	I31	1,32	73,60	76,33	76,05
	I52	1,17	70,75	76,34	73,93
	I58	1,55	76,13	73,98	76,55
Moyenne	-	1,32	73,24	74,60	75,35
Moyenne. générale	-	-	77,18	75,03	74,86

La combinaison deux à deux de ces quatre outils donnent six possibilités : **F/T-Dg.L.A (%)** ; **F/T-Div Tilley** ; **F/T-Dg.UW** ; **Dg.L.A –Tilley** ; **Dg.L.A –Dg.UW** ; **Tilley-Dg. UW**. Leur corrélation respective est montrée dans le **tableau 44**.

Tableau 44 :Corrélations entre les 4 méthodes d'évaluation rapide de la digestibilité.

Combinaisons	R	P
F/T-Dg.L.A (%)	0,978	< 0.001
F/T-Div Tilley	0.408	NS
F/T-Dg.UW	-0.007	NS
Dg.L.A –Tilley	0.440	NS
Dg.L.A –Dg.UW	0.055	NS
Tilley-Dg. UW	0.285	NS

Comme on peut le constater, seule la combinaison **F/T-Dg.L.A** est très fortement corrélée avec le rapport F/T : lorsqu'un composant porte une valeur faible, l'autre aussi. Il est vrai que **Dg.L.A** a été

construit à partir de F/T. Précisons que, pour qu'une corrélation soit prononcée significative dans ce tableau, il faut que R (probabilité $\alpha = 0,05$) soit au moins égale à 0.5529 (table de Pearson).

Quant à la combinaison formée à partir de nos données (**F/T-Div Tilley**), elle n'est pas significative, ce qui signifie que chacune des valeurs vaque à sa façon, sans que l'une prime sur l'autre dans un sens négatif ou positif ; la **figure24**, illustre bien cette situation avec une distribution très lâche des populations de luzerne, contrairement à celle concentré de la combinaison **F/T-Dg.L.A(Figure 13)**. D'ailleurs, le R^2 de la combinaison **F/T-Div Tilley**, n'explique que 17 % des variations. Le résultat ainsi enregistré, donne le sentiment clair, qu'il n'y a pas de lien entre les deux composants donc entre les deux outils qui les constituent. Il ne semble pas qu'il y a incompatibilité entre les deux méthodes. Mais, techniquement, le rapport feuilles sur tiges est figé pour un stade précis alors que la mesure de la Div est dynamique en ce sens que chaque heure d'incubation détermine une digestibilité. Il s'agit donc de faire correspondre le F/T à un point de la digestibilité de la luzerne sur le trajet 0-48h. Pour cela, une cinétique de cette digestibilité *in vitro* s'avère nécessaire.

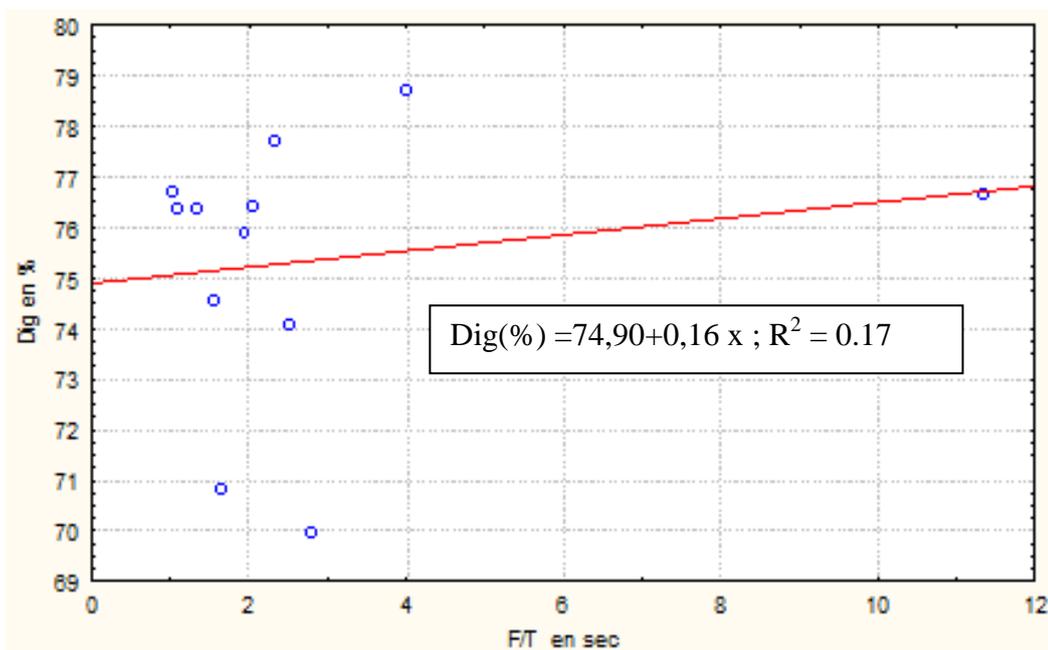


Figure 24. Relation entre F/T et digestibilité *in vitro* Tilley et Terry (Dg en %)

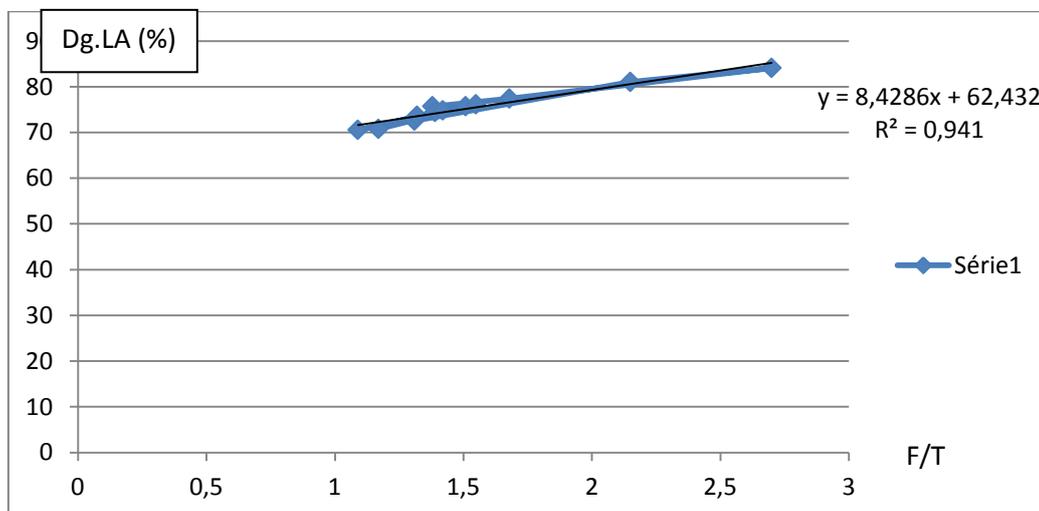


Figure 25. Relation entre F/T et Dg.L.A

➤ Validation de M1 par M2

Le principe de l'index de digestibilité s'inspirant du modèle du rapport Feuilles-Tiges est de disposer d'un outil rapide et peu coûteux pour apprécier la digestibilité d'un fourrage. Le système de coupes histologiques nous semble pertinent. Mais à l'image du F/T seul, ce modèle n'est pas capable de mettre en face d'une valeur du rapport, celle correspondante de la digestibilité qu'il est sensé représenter. Par exemple, le chiffre 2 correspond à quel niveau de digestibilité ? Il est donc nécessaire que F/T soit corrélé à une autre méthode de digestibilité de référence qui mesure la digestibilité en pourcentage de l'ingéré comme la méthode *in vivo* ou à défaut une méthode reconnue (Tilley et Terry, sachet en nylon...), dans laquelle F/T sera la variable explicative. C'est bien ce que l'on retrouve dans le formule de **Lemaire et Allirand (1993)** : $Dg = [65,2 \times (F/T) / (1 + F/T)] + 36,5$.

Aussi, le rapport Tissus non lignifiés/tissus lignifiés devrait aboutir à cette même conclusion. Dans ce premier travail d'initiation, les résultats figurent dans le **tableau 45**.

Tableau 45. Regroupement des résultats obtenus sur 4 espèces de luzernes annuelles

Outil d'appréciation de la digestibilité		M1	M2
Espèces	Rapport Feuilles/Tiges	Tissus non lignifiés /tissus lignifiés	Div Tilley et Terry
<i>M.ciliaris</i>	1,52	12,50	77,17
<i>M.truncatula</i>	2,42	1,80	73,34
<i>M.intertextra</i>	1,32	1,80	74,60
<i>M.sativa</i>	0,80	1,1	59,98

Les trois combinaisons possibles sont : **F/T x TNL/TL** ; **F/T x Div** ; **TNL/TL x Div**. Pour mémoire, nous avons calculé les coefficients de corrélation correspondante à chaque combinaison, il est respectivement de 0.0499 ; 0.598 ; 0.5662. Pour celle qui nous intéresse plus particulièrement : **TNL/TL x Div** et pour un nombre d'individus aussi faible et un ddl de 3, les R correspondant devraient être de 0.8783 ($p < 0.05$) ; 0.9343 ($p < 0.02$) et 0.9587 ($p < 0.01$). Il n'est donc pas envisageable de valider M1 par M2 dans ce premier travail. Nous le reprendrons sur la base d'une étude de 20 à 25 populations de luzernes (et plus si possible), avec parallèlement, la mesure de la Div par cinétique.

Chapitre 5. Essai de screening des luzernes étudiées

Dans cette analyse, deux tableaux de données sont soumis à une analyse en composante principales (ACP) :

- un tableau sensé rassembler des variables ayant joué un rôle déterminant dans les variations de la digestibilité *in vitro* des populations étudiées, compte tenu des résultats de la biométrie, des dosages chimiques et de la Div (**Annexe 7**).
- Un tableau de variables (phénologiques et biométriques) sensé avoir joué le même rôle pour la production de semences (**Annexe 13**).

Ces populations de luzernes sont décrites. Il s'agit donc de faire un « tri » : voir celles qui se ressemblent et qui ont capitalisé le maximum d'informations tirées des tableaux de données et celles qui ne se ressemblent pas car, ayant capitalisé des informations différentes. Mais aussi, de voir, leur distribution dans un plan à deux dimensions et la qualité de cette représentation. Puis, voir quelles populations pourraient être concernées pour la poursuite du travail.

1. Paramètres pouvant impacter la digestibilité

2.2. Etude des variables

➤ Matrice de corrélations des variables (R)

Elle est présentée dans le **tableau 46**. Nous retrouvons ici des résultats déjà présentés antérieurement : Div corrélée négativement avec la lignine et positivement avec l'azote. L'âge de la plante étant en rapport avec la largeur des ramifications et sa teneur en lignine, nous le voyons apparaitre sous forme d'un R négatif entre Div et LT et positif entre lignine et LT. De même, tout à fait logiquement, un R positif et significatif entre GT et NT ou entre MAT et F/T. Tout comme nos résultats du **tableau 47**, nous ne retrouvons pas ici, la relation forte et positive très répandue dans la littérature, entre la digestibilité et le rapport F/T : une explication ayant été avancée.

Tableau 46 : Matrice de corrélations de paramètres déterminant la Div

	Div	Lig	MAT	GT	NT	F/T
Div	1					
Lig	-0.52*	1				
MAT	0.63**	-0.53*	1			
GT	0.05	0.33	-0.29	1		
NT	0.31	0.15	-0.01	0.78***	1	
F/T	0.21	-0.29	0.63**	-0.34	0.22	1
LT	-0.51*	0.55*	-0.66***	0.33	0.04	-0.43

* : $p > 0.05$; ** $p < 0.02$; *** 0.01; Div : digestibilité *in vitro* ; Lig : lignine

➤ Le poids des variables (ou valeurs propres)

Comme nous le savons, l'ACP consiste à transformer les variables initiales corrélées ou pas entre elles (**Tableau 46**) en autant de nouvelles variables synthétiques non corrélées appelées composantes principales (ou axes). L'axe 1 est donc celui qui a le « poids » de variables (ou valeurs propre) le plus élevé. On peut visualiser le poids respectif de chaque axe dans l'annexe 8. On voit que l'axe 1 représente un coefficient de 3.193 sur 7 (en effet, il y a 7 variables), soit 45,61% de la variance totale (donc des informations totales), l'axe 2 : 1.88, soit 26.80 soit en cumulatif 72,42 % des informations totales contenues dans le tableau de l'annexe 8.

➤ Contribution des variables à la construction des axes annexe 9.

➤ Corrélation entre les variables et les axes principaux (ou vecteurs propres)

Elles sont visibles dans **annexe 10**. Il est logique de retrouver ici, les corrélations (R) les plus élevées (en valeur absolue), pour les variables qui initialement avaient contribué à la formation de ces axes.

En conclusion de ces études de variables, on peut en dehors des variables qui contribuent le plus à la formation des composantes visibles dans les tableaux, introduire trois autres apports :

- L'axe 1 peut être appelé, l'axe de la composition chimique et de la Div des populations de luzerne,
- L'axe 2, l'axe de la biométrie des populations et à moindre degré, celui de la Div,
- Ces deux axes à eux seuls absorbent près de 73% des informations contenues dans le tableau de **l'annexe 9**. Les pertes d'informations sont donc faibles,

- Enfin et c'est le point le plus important, l'utilisation seulement de ces deux axes, est largement suffisante pour la suite de notre étude, celle des individus.

➤ Cercle de corrélations

Les corrélations entre les axes (les deux premiers axes étant suffisants) et les variables sont illustrées par un cercle de corrélations (**figure 26**).

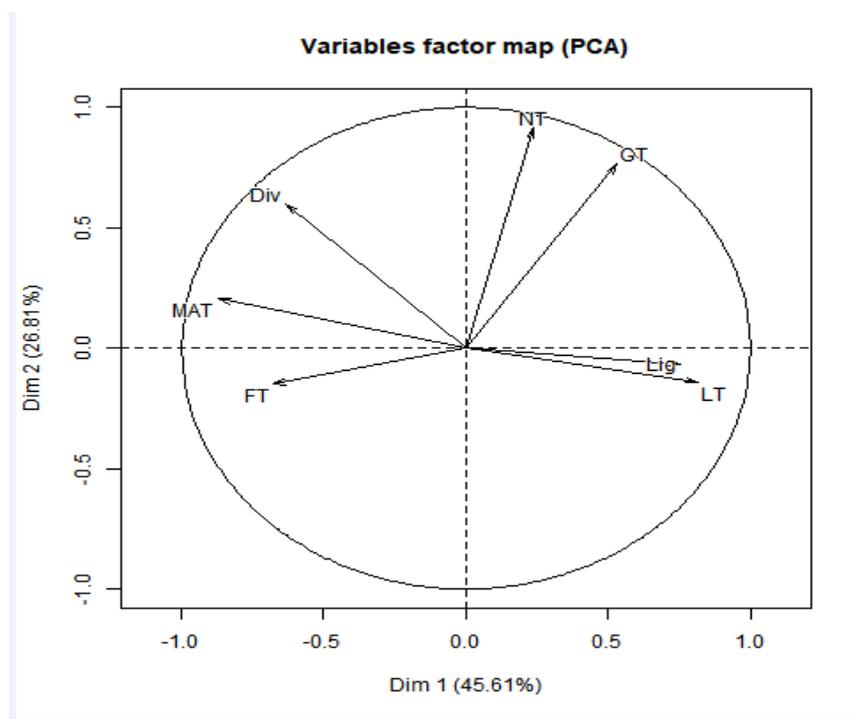


Figure 26. Cercle de corrélation des variables avec les deux axes principaux

Les variables les plus fortement corrélées avec les deux axes principaux sont celles qui sont les plus étirées (variance élevée) donc le plus proche du cercle : NT ; GT ; Div ; MAT ; LT et les moins bien corrélés : FT et lignine. On peut lire facilement les oppositions entre MAT et lignine et longueur des tiges, tout comme celles entre Div et lignine d'une part et LT d'autre part. Ces oppositions étaient déjà pressenties dans le **tableau 46**.

2.3. Etudes des individus

Dans la mesure où les deux premières composantes absorbent, une très grande part des informations contenues dans le **l'annexe 9**, nous pouvons résumer l'étude des individus en quelques points :

- Quelles sont les populations de luzernes qui contribuent le plus à la formation des deux composantes 1 et 2,
- Quelles sont ceux qui se ressemblent et ceux qui ne se ressemblent pas,
- Quelle est la qualité de leur représentation sur les axes.
- Comment sont-ils distribués dans le plan formé par les axes 1 et 2

➤ Contribution des populations de luzernes à la construction des axes

Les résultats apparaissent, dans l'annexe 11

Le réexamen des données du tableau de l'**annexe 9** confirme le caractère particulier de cette luzerne : c'est une luzerne pérenne et ses caractéristiques de Div (faible), biométriques et chimiques sont très différentes de celles de nos populations de luzernes annuelles. Elles constituent un **out layer**, sans commentaires autres ou particuliers. Quant à la composante 2 ; I52 et I756 sont les populations les plus actives.

➤ **Distribution des populations dans le plan 1-2**

Elle apparaît sur la **figure 27**. La Div étant statistiquement comparable pour toutes les populations de luzernes annuelles (**annexe 9**) et par ailleurs, la Div n'étant pas corrélé avec F/T, globalement, les oppositions se sont faites par le biais de la teneur en lignine à travers un groupe de 5 individus (7 ; 8 ; 9 ; 11 et 12) qui sont : I31 ; I52 ; I253 ; I107 et I 756 à teneur plus élevée en lignine, contre le reste des populations à plus faible teneur en lignine, notamment les 3 *Mciliaris* plus Tr238 ; Tr334 ; I11 ; I58 c'est-à-dire sur le plan : 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 et 10.

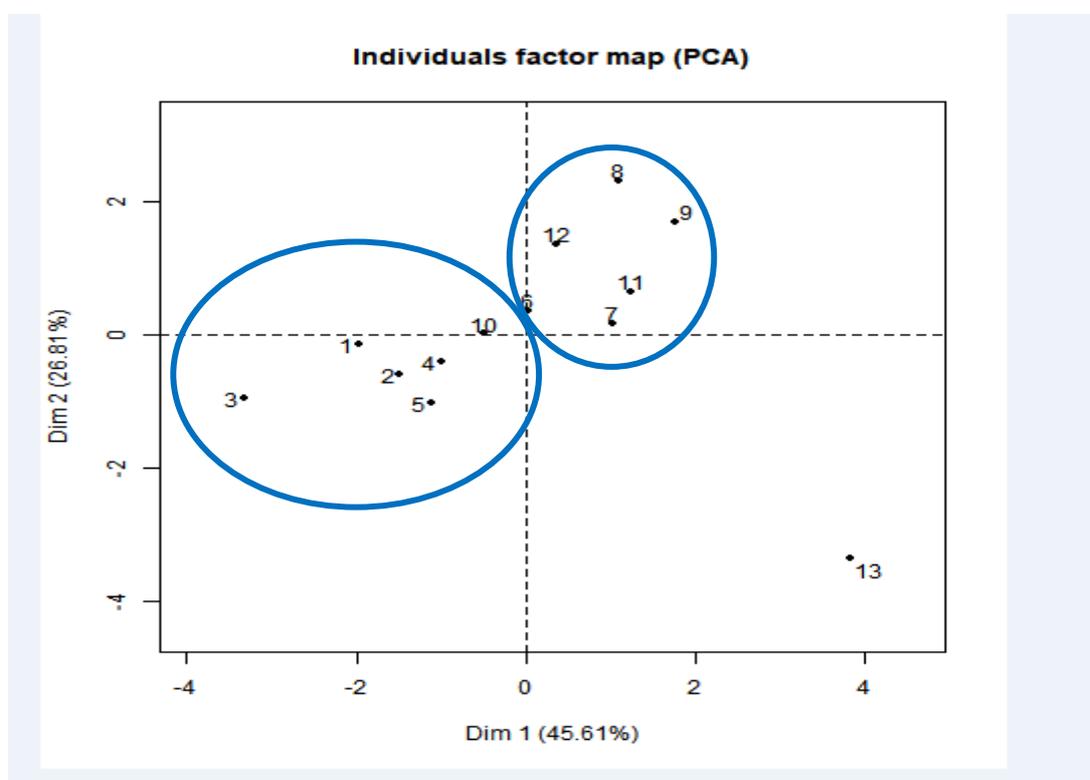


Figure 27. Distribution des populations de luzerne dans le plan formé par les deux composantes principales

Sur la base de cette ACP, il est difficile de faire un screening du lot même, si les trois *Mciliaris* et la 5 (Tr334), semblent sortir légèrement du lot ; néanmoins, il n'y a rien de probant.

➤ **Qualité de la représentation des individus sur les axes**

Elle est mesurée par la valeur absolue du \cos^2 (**annexe12**).

Philippeau (1986), du service de statistique de l'ITCF (France), estime que, pour accepter que la représentation des individus sur les axes, soit de bonne qualité, il faut que la somme de leur \cos^2 sur les deux axes du plan soit supérieure à 0,5. Sur cette base, nous constatons que les trois populations de

l'espèce *Mciliaris* : C2 ; C58 et C5 remplissent cette condition sur l'axe, tout comme le 8 (I52) ; le 9 (I253) ; le 11 (I107) et le 12 (I756). En fait, globalement les deux groupes qui s'opposent sur la **figure 15**. Cette bonne représentation des *Mciliaris* pourrait renforcer l'attention à leur égard.

3. Paramètres pouvant impacter la production de semences

Pour la production de semences, nous adoptons, la même démarche d'études des variables et des individus que pour la digestibilité. Le tableau des données sont porté en **annexe 13**.

3.1. Etude des variables

➤ Matrice de corrélations des variables (R)

Les corrélations entre variables sensés déterminées la production de semences sont fortes à l'exception du nombre de tiges/m² bien qui varie dans le même sens que les autres facteurs (**Tableau 47**)

Tableau 47. Matrice de corrélations des paramètres de la production de semences

	G g/m ²	S de 50 G (g)	S g/m ²	MV g/m ²	MS g/m ²	LT (cm)
G g/m ²	1					
S de 50 G (g)	0.95***	1				
S g/m ²	0.95***	0.92***	1			
MV g/m ²	0.86***	0.90***	0.78***	1		
MS g/m ²	0.80***	0.83***	0.69*	0.92***	1	
LT (cm)	0.86***	0.88***	0.76***	0.86***	0.89***	1
N T /m ²	0.23	0.18	0.17	0.31	0.40	0.29

* : p< 0.05 ; *** : 0.001 ; G g/m² : gousses/m² (g) ; S de 50 G (g) : semences de 50 gousses (g) ; Sg/m² : g de semence/m² ; MV : g de matière verte/m² ; MS g/m² : g de matière sèche/m² ; LT : longueur des tiges en cm ; NT : nombre de tiges /m²

➤ Poids des variables ou valeurs propres

Les calculs sont visibles dans l'**annexe 14**. Mieux que pour les paramètres de la digestibilité et pour un nombre de variables identiques (7), le coefficient de la composante 1 est de 5.378, soit 76,83% de la variance totale ; la composante 2 : 13.94 %. La variance cumulée de ces deux premiers axes représente donc, 90.77 %.

➤ Contribution des variables à la construction des axes

Pour une contribution de 100 % par axe, les paramètres, proprement semencier G g/m² (rendement de gousses); S de 50 G (g) : poids de semence de 50 gousses ; S g/m² (rendement de semence par m²) participe pour près de la moitié (49.42 %), la biomasse proprement dite (MV et MS) pour 32.31 % (**annexe15**).

Considérée individuellement, chaque variable participe en gros pour part égale, à l'exception du nombre de tiges (NT). Par contre, l'axe 2 est construit essentiellement par NT (87%). On peut sans hésitation identifier l'axe 2 comme étant, l'axe de la densité végétative et l'axe 1, comme l'axe de la production semencière.

➤ Corrélation entre les variables et les axes principaux (ou vecteurs propres)

Les résultats sont consignés dans l'**annexe16**.

Comme il était pressenti dans le **tableau 47**, la corrélation de chaque variable avec l'axe 1 est très forte (à part NT), en moyenne, les autres variables, expliquent (R^2) près de 90 % de leurs variations sur l'axe 1, tout comme d'ailleurs, NT sur l'axe 2. Ces corrélations sont illustrées par le cercle du même nom, présenté par la **figure 28**. Il n'appelle pas de commentaires particuliers, sinon que contrairement à celui des paramètres de la digestibilité (**figure 28**), les signes des R sont tous positifs, la moitié gauche du cercle n'est occupée par aucune variable. Aucune opposition entre variables n'est visible.

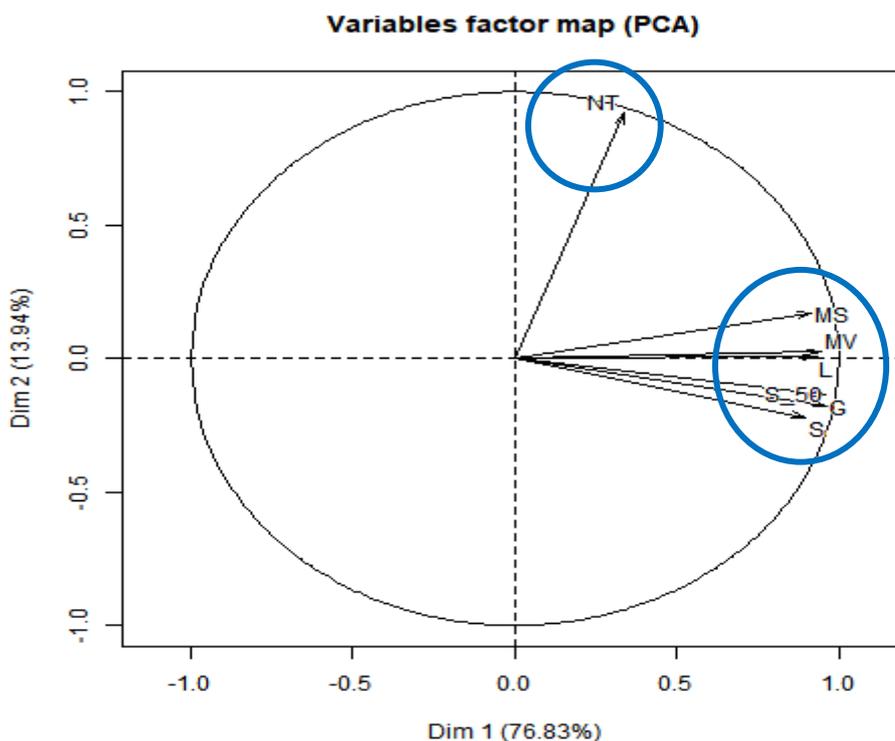


Figure 28. Cercle de corrélations des variables avec les axes

3.2. Etudes des individus

Les lourds tableaux des 21 populations de luzernes concernées par cette étude sont placés en :

- annexe **17** (contribution des individus à la formation des axes),
- annexe **18** (coordonnées des individus sur les axes principaux) et,
- annexe **19** (la qualité de leur représentation).

Le tableau de l'**annexe 17** montre que, c'est l'espèce *M.intertexta* (6 populations), particulièrement la population I107, qui participe le plus à la construction des deux axes, suivie de *M.truncatula* (également 6 représentants) avec Tr238. Leur contribution totale est de 80% (respectivement 38.0 et 41.6). L'espèce *M.ciliaris* (6 populations), avec 1.5 %, est presque absente dans la construction de l'axe 1. Il faut visualiser l'axe 5 pour retrouver *M. ciliaris* avec près de 50% de contribution (49.5 %). Quant à *M.polymorpha*, avec deux représentants, sa contribution est de 18.53 %. Les coordonnées des populations sur les axes (en valeur absolue) permettent également de mesurer leur contribution (**annexes 18 et 19**). On retrouve : Tr221, Tr238, Tr 407, I107, I 253, I52 et Poly 27. Les coordonnées de *M.ciliaris* sur les axes étant toujours faibles : variant entre 0.3 et 0.5 contre plus de 3 pour les

populations considérées comme étant bien représentées. Enfin, la qualité de la représentation des populations dans le plan constitué par les axes 1 et 2 peut être appréciée en **annexe 12**. On voit sur la base du critère de **Philippeau**, que les principaux bons contributeurs : Tr221, Tr238, Tr407, I107, I 253, I52 et Poly 27, n'ont pas spécialement une représentation de qualité sur les axes : aucune population n'a en effet, un \cos^2 moyen, sur les deux axes, supérieur à 0.5.

La distribution des individus dans le plan 1-2 est montrée sur la **figure 29**.

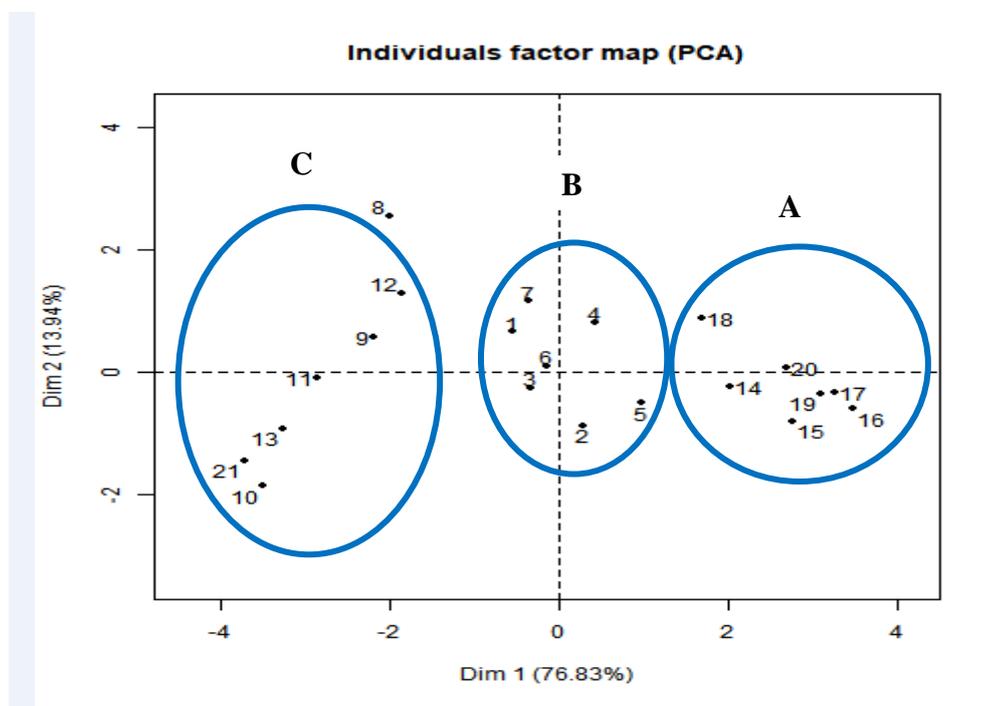


Figure 29. Distributions des populations de luzernes sur le plan 1-2 des axes

Compte tenu de la nature des variables qui ont participé à la construction des composantes principales notamment l'axe 1 et 2, absorbant à eux deux, 90% des informations contenus dans le tableau des données. Il apparaît que, l'axe 1 pouvait être identifié comme étant l'axe des « semences » (en termes de rendements quantitatifs) et l'axe 2 comme celui de la densité végétative (que nous représentons par la MS). Les populations de luzernes, se sont donc distribuées en conséquence dans le plan 1-2 formé par ces deux axes. Il ressort, la formation de trois groupes distincts de populations de luzerne : un **groupe A** : populations : 14-15-16-17-18-19-20 essentiellement constitué de *M.intertexta* dont les caractéristiques sont : fort rendement en semence(moyenne : 605 g/m²) et en densité végétative (766g de MS/ m²). **A** s'oppose à un groupe **B** (9-10-11-12-13-21), composé essentiellement de *M.truncatula* à rendement en semences faibles (144g/ m²) et en densité végétative (155g de MS/ m²) et enfin, un groupe tampon **C** (1-2-3-4-5-6-7) constitué essentiellement de tous les *M.ciliaris* et du cultivar Turque Aus106. Ce groupe **C**, situé à la perpendiculaire du plan, n'est extrémiste en rien, mais bien centriste avec MS à 478 g/ m² et semence / m² à 355g.

La population 8 (*M truncatula* 334) peut être considéré comme un **out layer** au même titre que la luzerne Triade : sa production de semence est médiocre (60g/ m²) pour une densité de MS plus qu'honorable : 469g/ m²), il ne ressemble à aucune population du plan 1-2.

A l'épilogue de ce chapitre dont le but était un screening des populations de luzernes afin de proposer celles susceptibles d'être investiguées pour la poursuite du travail, il apparaît que :

- Pour les paramètres de la Div, les populations se sont divisées en deux groupes : un groupe **A** constitué des populations :1-2-3-4-5-10-10 et un groupe **B** constitué des populations 6-7-8-9-11 et 12. Situés de part et d'autre de la perpendiculaire du plan 1-2, leur digestibilité et leur teneur en MAT étant comparables, ils s'opposent par leur teneur en lignine (marqueur fort de contrôle de la digestibilité) qui bénéficie au groupe **A**, notamment à l'espèce *M ciliaris*. La Div n'a pas discriminé statistiquement les populations, même si *M ciliaris* semble très légèrement se démarquer. Un autre facteur qui lui est favorable, c'est sa teneur en azote. Sa validation mérite encore quelques investigations.
- Pour la production de semences, la discrimination s'est opérée clairement. L'approfondissement du travail doit pouvoir se faire au sein du groupe **A** constitué de 6 *M truncatula* et d'un *M polymorpha*.

CONCLUSION GENERALE



CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail avait pour but de contribuer à l'approfondissement des connaissances dans les espèces et populations de luzernes annuelles spontanées d'Algérie au moment où l'idée de la résorption de la jachère par des rotations luzerne-céréale (encore appelées Ley-farming) revient officiellement en force. Il est en effet judicieux de constater que, malgré une masse importante de connaissances accumulées depuis 50 ans par les chercheurs, la culture de la luzerne n'a pas significativement progressée en Algérie qui en est loin derrière la Tunisie, le Maroc, l'Égypte et la Turquie. Il en est de même de la création variétale notamment dans le Nord de l'Algérie ; alors que, dans les Oasis, la luzerne est de loin le premier fourrage cultivé avec des variétés et cultivars sélectionnés localement, plus productifs que ceux introduits des pays étrangers.

Notre intention, comme annoncée dans l'introduction de ce travail, n'est pas d'aboutir à des populations ou cultivars « prêts à l'emploi », mais principalement, de révéler des critères phénologiques et biométriques dont dépend la qualité de la luzerne tels que : la teneur en matières azotées (MAT), la production à l'hectare de MAT, de matière sèche (MS) ou encore le potentiel grainier de nos luzernes.

Notre travail s'est intéressé à 6 espèces de médics : (*M.ciliaris* ; *M.truncatula* ; *M.intertexta* ; *M.polymorpha* ; *M.sativa* ; *M.muricoleptis*), rassemblant jusqu'à 22 populations. Mais, l'ensemble de nos investigations a plus particulièrement concerné les trois espèces : *M.ciliaris* ; *M.truncatula* et *M.intertexta* dont les disponibilités en matériel végétal étaient plus importantes. La plus part des prélèvements phénologiques ou biométriques ont été réalisés au stade début floraison. Des résultats de ce travail, il résulte plusieurs points :

- La vingtaine de populations de luzernes annuelles locales que nous avons étudiée ont montré une très grande variabilité génétique des paramètres étudiés ce qui constitue un capital génétique important dans lequel le sélectionneur pourrait puiser à liberté.
- Les graines des populations de luzernes sont dormantes à 90%. Un stockage prolongé n'impacte pas le taux de germination. Cette dormance qui est caractéristique des médics est facilement levée (90% de germination) par l'abrasion des téguments pour permettre le passage de l'eau et de l'air. Au laboratoire le papier sable du commerce convient ; au niveau de l'exploitation, l'adaptation de la méthode est facile. Elle est efficace pour les graines de toutes les espèces étudiées. Les six autres méthodes que nous avons testées sont moins efficaces. Deux : Etuve pendant 20mn à 200°C et congélateur pendant 60mn sont mêmes létales. Néanmoins, la dormance des graines n'est pas un désavantage, elle permet précisément l'auto-réensemencement annuel des médics. La sélection doit veiller donc à garder une proportion (à déterminer), de graines dures dans la semence. La scarification des graines ne s'entendrait donc qu'en première installation et si l'agriculteur souhaite un champ dru.
- Outre le spectre très large de variabilités génétiques que recèlent nos populations, les critères de qualité de la luzerne sont déjà à des niveaux élevés dans nos luzernes. Ainsi, la teneur en MAT s'établit en moyenne à 27% pour *M.ciliaris* (pic à 30% pour la population S5). La production de MAT ramené à l'ha et pour une récolte seulement est en moyenne, du niveau

international avec 1 tonne. Certaines population de *M intertexta* comme : I11 et I31 approchent ou dépassent 1.4 tonne. Il en est de même pour la production de MS : 6 tonnes/ha pour I31 et I52 ; 5 pour I253. C52 se distingue aussi avec pas loin de 5 tonnes.

- Pour ces trois critères de qualité, le témoin *M truncatula* australien (CV Jemalong), prélevé en Algérie et acclimaté en Australie, s'est montré totalement inadapté avec 0.3 tonnes de MS à l'ha et infertile (0g de graine) contrairement au témoin *M muricoleptis* (pop. Aus) turque qui s'est haussé à la hauteur de nos meilleures populations avec une production respectives de MAT et de MS de 1.3 et 5.3 tonnes.
- La quatrième qualité de luzerne : sa capacité de portes grains est là encore de bonne posture avec une espèce leader incontestable qui est nettement au dessus des meilleurs résultats internationaux : *M intertexta* avec 3.4 tonnes à l'ha contre 2.1 pour *M ciliaris* et 1.1 pour *M truncatula*. Avec I253 (dépassant 6 tonnes) et I107 (approchant 5 tonnes). De même, S7 de *M ciliaris* dépasse 4 tonnes. Néanmoins, il faut tenir compte dans le tonnage, que le PMG est différent entre espèces favorisant ainsi des espèces à PMG élevé comme *M intertexta* (16g) et *M ciliaris* (13g) contre 4g pour *M truncatula*. Tonnage, n'est pas synonyme de plus de grains donc de plus de plants.
- La cinquième qualité de la luzerne : sa digestibilité (Div) dont résulte sa valeur énergétique est également très honorable et peu variable (3,1%) entre espèces : moyenne 75% avec 77% pour *ciliaris*. De même sur la base de l'index de digestibilité, *M ciliaris* serait de loin l'espèce la plus digestible avec un index de 12,5 contre 1.8 pour *M truncatula* et *M intertexta*. L'espèce *M ciliaris* est aussi bien placée pour le rapport F/T, autre indicateur de la digestibilité. Il apparaît une présomption de bonne digestibilité de l'espèce *M ciliaris*. Néanmoins, nous n'avons pas trouvé de corrélation entre ces trois méthodes. L'index de digestibilité n'est donc pas validé par la Div, comme espéré. Ce résultat inattendu mérite de nouvelles investigations, pour ajuster la méthode.

Enfin, nous mettons à la disposition du sélectionneur, toute une série de critères phénologiques et biométriques et de combinaisons statistiques de ces critères de qualité (pour le zootechnicien) et de quantité (pour l'agriculteur) :

- Nombre de tiges par m², Hauteur tiges (cm), MS g/m² F/T Sec; Poids de 50 gousses (g), poids semence de 50 gousses, Rendement en gousses g/m², Rendement en semences g/m²; Nombre de Faisceaux, Epaisseur xylème (µm), Epaisseur entre Faisceaux (µm), Epaisseur tissus non lignifiés, Longueur faisceaux tissus lignifiés (µm), Tissus non lignifiés/tissus lignifiés; NDF, ADF, HC, ADL, MSg/m², MAT%MS; Div, Lignine, MAT, grosseur des tiges, nombre de tiges/m², longueur des tiges; Gousses (g/m²); Semences de 50 Gousses (g), Semences g/m², MS g/m², Longueur Tiges (cm), Nombre de Tiges/m².
- Pour les critères étudiés, les meilleurs populations capitalisant de bonne dispositions pour la biomasse et la digestibilité, l'ACP permet de faire ressortir grossièrement, les 3 : *M ciliaris* (C2 ; C58 et C5) plus Tr238 ; Tr334 ; I11 ; I58 (N° dans le plan : 1-2-3-4-5-6-10) à cause de leur teneur plus faible en lignine et une bonne teneur en azote contre I31 ; I52 ; I253 ; I107 et I 756 (N° : 7-8-9-11-12) à teneur plus élevée en lignine.

- Pour le potentiel semencier : l'approfondissement du travail doit pouvoir se faire au sein du groupe constitué de 6 *M intertexta* : I11 ; I756 ; I107 ; I253 ; I31 ; I52 ; Poly205 (N° dans le plan : 14-15-16-17-18- 19) et le *M polymorpha* : Poly205 (N°20).

Des perspectives objectivées

Les groupes ciblés pour leur potentiel en termes de digestibilité résultant de leur bonne teneur en MAT, leur faible teneur en lignine mais de production en biomasse moyenne au stade début floraison et ceux pour leur potentiel semencier et en production de biomasse qui compense d'ailleurs leur plus faible teneur en MAT ne vaudront que si d'autres critères sont validés. Nous citerons :

- La végétalisation, autrement dit : bonne vitesse d'installation ; bonne aptitude à la compétition avec les mauvaises herbes ; mise en place rapide d'une couverture du sol ; tolérance aux coupes ;
- L'adaptation à la pâture ;
- La prise en compte de la régularité et de la répartition de la production ;
- La mise en place d'un système racinaire précoce et puissant pour assurer une lutte correcte contre l'érosion et une protection contre la sécheresse ;
- Pérennité de la luzernière (la bonne dose de gousses laissée au sol grâce au contrôle de pâturage une fois implantée) ;
- Bonne proportion de graines dures ;
- Résistance aux stress abiotiques (sécheresse) et biotiques (maladies et parasites) ;

La recherche des performances maximales dans un milieu donné conduirait à retenir les génotypes déjà adaptés à ce milieu. Cette sélection « créatrice », peut amener à quatre grands types de création de variétés : les variétés populations ; les variétés lignées ; les variétés hybrides et les variétés synthétiques. L'amélioration génétique peut être également réalisée en modifiant certains gènes contrôlant certains caractères. Cette modification génétique aboutit à l'obtention de nouvelles variétés, avec des caractères prédéfinis.

Ce travail est long. Plus simples à moyens termes, comme le suggère **Sultan-Tubeileh (2001)**, serait de renforcer l'adéquation de *Sinorhizobium meliloti* dont les luzernes annuelles sont plus exigeantes quant à la spécificité de la souche que les luzernes pérennes. Cette voie, tend à augmenter la productivité de la luzerne par une meilleure alimentation de la plante et une meilleure adaptation au froid, problèmes que nous n'avons pas rencontrés pour la très grande majorité des espèces et populations étudiées.

A ce stade, la question que nous devons nous poser maintenant est peut être :

- Quel type de luzernes annuelles dont nous avons besoins, pour quel type de systèmes d'exploitation, pour quel profit pour l'animale, pour la production de céréales, pour la résorption de la jachère, pour la lutte contre l'érosion et la tenue des sols, pour quelles conditions pédoclimatiques : à chaque région, ses variétés ? Place de la luzerne pérenne dans le nouveau système ?

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



Références bibliographiques

- Abbas K., Abdelguerfi A., 2005.** Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides. Fourrages 184, 533-546
- Abbas K., Abdelguerfi-Laouar M., Madani T., Mebarkia A., Abdelguerfi A., 2005.** Rôle et usage des prairies naturelles en zone semi-aride d'altitude en Algérie. Fourrages 183 : 475-479. *Les productions fourragères et pastorales en Algérie : Situation et Possibilités d'Amélioration.* (PDF Download Available). Available from: https://www.researchgate.net/publication/308249825_Les_productions_fourrageres_et_pastorales_en_Algerie_Situation_et_Possibilites_d'_Amelioration [accessed Jun 11, 2017].
- Ababsa F.S., 2001.** «L'agriculture algérienne en 2000: une révolution tranquille, le PNDA». Prospectives Agricoles, N° 1, p 7-60
- Abdelguerfi A., 1976.** Contribution à l'étude de la répartition des espèces locales des luzernes annuelles en fonction des facteurs du milieu (200 stations) liaison entre les caractères de ces 600 populations étudiées à Beni Slimane et leur milieu d'origine. Mémoire Ing. INA. 74p.
- Abdelguerfi A., 1978.** Contribution à l'étude écologique des luzernes annuelles. Thèse Magister. INA El Harrach, 105p
- Abdelguerfi A., 1989.** L'utilisation des luzernes annuelles dans les systèmes de pâturage en Algérie. Communication présentée à Perugia (Italie). 14p
- Abdelguerfi A., 1994.** About the perennial Lucerne (*M. sativa*) in Algeria. Colloque organisé par INRA, Station d'amélioration des plantes fourragères, Lusignan, France. 19-20.
- Abdelguerfi A., Chapot J.Y., 1989.** Contribution à l'étude des espèces spontanées du genre *Medicago* L en Algérie .IV Comportement et variabilité chez 186 populations de *M. polymorpha* L. en relation avec quelques conditions du milieu d'origine. Ann. instit. Nat. Agr. El Harrach. Alger (13) 2 :380-410
- Abdelguerfi A., Bédrani S., 1997.** Study on range and livestock development in North Africa (Algeria, Morocco and Tunisia). FAO, Regional Office for the NEAR EAST. 71 p.
- Abdelguerfi A., Abdelguerfi-Berrekia R., Guittonneau G.G., 1988.** Contribution a l'étude des espèces spontanées du genre *Medicago* L. en Algérie. Ann. Inst. Nat. Agr. El Harrach, Vol.12(1), p342
- Abdelguerfi A., Abdelguerfi-Laouar M., M'Hammedi Bouzina M., Guittonneau G.G., Huguet T., Abbas K., Mebarkia A., Aouani M.E., Madania T., 2006.** Distribution et écologie de quelques Fabaceae spontanées d'intérêt pastoral et /ou fourrager en Algérie 27-36p. Workshop international sur diversité des Fabacées fourragères et leurs symbiotes : Applications biotechnologiques, agronomiques et environnementales .Alger ,19-22 Février 2006.
- Abdelguerfi-Laouar M., 2005.** Diversité éco-génétique des fabacées et de leurs symbiotes : Cas de la section des *Intertextae* du genre *Medicago* L. Thèse de doctorat INA Alger, 1-186 et Annexes.
- Abbelkefi A., Marrakchi H., 2000.** Les ressources phylogénétiques fourragères et pastorales de l'érosion à la conservation. Cah. Opt. Méd., vol. 45 : 15-27.
- Adem L., 1974.** Etude du comportement des annuelles (écotypes locaux et populations étrangères) dans les régions de Sétif, Médéa, Tiaret et Alger. Thèse d'ingénieur Agro, INA El Harrach, 95p.
- Adem L., 1977.** Studies on the ecology and agronomy of annual *Medicago* species. M.Agr.sc. Thesis .Univ of Adelaide.
- Adem L., 1989.** Synthèse de la recherche sur les espèces annuelles de *Medicago* en Algérie. 8-10p. Revue Céréaliculture n°21.

- Akibode F., Maredia T., 2011.** Global and regional trends in production, trade and consumption of food legume crops. Rapport submitted to SPIA, March 27, 2011-87pages
- Alane F., 2007.** Valeur nutritive des légumineuses fourragères cas des luzernes (Genre *Medicago*). Thèse de Magister. INA ; 96p
- Andrieu J., Demarquilly C., 1987.** Composition et valeur alimentaire des foins et des pailles. Les fourrages secs : récolte traitement ; INRA. Paris 142-161p.
- Anglade J., Billen G., Garnier J., 2015.** "Relationship for estimating N₂ fixation in legumes: incidence for N balances of legume-based cropping systems in Europe", *Ecosphere*, vol. 6 (2), sous presse.
- ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), 2016.** Publication du rapport sur les expositions professionnelles aux pesticides : mieux connaître et réduire les expositions. <https://pro.anses.fr/tableciquial/>
- APG II Group, 2003.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 141, 399-436.
- APG III Group, 2009.** An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161, 105-121.
- Aufrère J., Michalet-Doreau B., 1990.** Nouvelles méthodes d'estimation de la valeur alimentaire des fourrages. II – Méthodes enzymatiques Fourrages, 122, 203-217.
- Badji S., Colonna J.P., Dreyfus B.X., 1987.** Infectivité et effectivité de quelques souches de *Rhizobium* du Sénégal sur l'Accacia gommier In : Les arbres fixateurs d'azote. L'amélioration biologique de la fertilité du sol. Document ORSTOM, Paris, p. 94-121.
- Bailly C., 2004.** Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Sci Res*, 14: 93-107
- Baldwin I.L., Fred E.B., 1929.** Nomenclature of the root nodule bacteria of the leguminosae. *J. Bacteriol.*, 17, 141-150.
- Banque mondiale, 2014.** Reducing climate-sensitive disease risks. Agriculture and Environmental Services Discussion Paper no. 7, avril 2014.
- Baskin J.M., Baskin C.C., 2004.** A classification system for seed dormancy *Seed Science Research* (2004) 14, 1–16
- Baskin C.C., Baskin J.M., 2014.** Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. <https://books.google.dz/books?isbn=0124166830>
- Boulaine J., 1989.** Histoire des pédologues et de la science des sols INRA Editions Versailles, 285 pp.
- Ballini C., 1992.** Ecophysologie de la germination des graines d'*Ulex parviflorus* Pourr., *Bull. Eal.*, 23 (3-4), 119-130.
- Baumont B., 1998.** Enquête sur les facteurs de variation des taux butyreux et protéique de troupeaux alimentés à base d'herbe. *Fourrage*. 156, 437-442p
- Beaudoin N., Serizet C., Gosti F., Giraudat J., 2000.** Interactions between abscisic acid and ethylene signaling cascades. *The Plant Cell* 12, 1103–1115.
- Beck D.P., Materon L.A., Afandi F., 1993.** Practical Rhizobium-Legume Technology Manual. Aleppo, Syria : ICARDA Box 5466, 170 p.
- Bédrani S, Chehat F et Ababsa S, 2001** . «L'agriculture algérienne en 2000: une révolution tranquille, le PNDA». *Prospectives Agricoles*, N° 1, p 7-60
- Bellon S., 1993.** Mieux connaître la place des légumineuses fourragères. *Fourrages* 135, 289-310.

- Benson D.R., Silvester W.B., 1993.** Biology of Frankia strains, actinomycete symbionts of actinorhizal plants. *Microbiol. Rev.* 57: 293–319.
- Bentham G., Hooker J.D., 1862.** Genera plantarum ad exemplaria imprimis in herbariis kewensibus servata definita(3 vols.). *London: L Reeve & Co.* Retrieved 24 January 2014
- Birouk A., Dattee Y., Sadiki M., Roumet P., 1989.** Evaluation agronomique et adaptation de populations marocaines de luzerne (*Medicago sativa* L.). *Agronomie*, 9 (4), 363-376.
- Birouk A., Dattee Y., Sadiki M., Roumet P., 1989.** Evaluation agronomique et adaptation de populations marocaines de luzerne (*Medicagosativa* L.). *Agronomie*, 9 (4), 363-376.
- Birouk A., 2018.** Production de semences de luzernes (en ligne) : <https://www.agrimaroc.net/2018/05/22/production-de-semences-de-luzerne/2/>
- Bolton J.L., 1962.** Alfalfa: Botany, cultivation, and utilization Interscience Publishers Inc: New York, 474p.
- Bourion V., Laguerre G., Depret G., Voisin A.S, Salon C., Duc G., 2007.** Genetic Variability in Nodulation and Root Growth Affects Nitrogen Fixation and Accumulation in Pea *Ann Bot (2007) 100 (3): 589-598*
- Boulaacheb N., Clement B., Djellouli Y., Gharzouli R., 2006.** Les paysages végétaux du djebel Mégriss (Tell septentrional, Algérie) : diversité des écosystèmes, richesse floristique, ampleur de l'anthropisation _ Laouer H4 Revue des Régions Arides -Numéro spécial -Actes du séminaire international « les Plantes à Parfum, Aromatiques et Médicinales » SIPAM. Les plantes médicinales du Djebel Megriss (Algérie, Nord Afrique)-Famille des lamiacées.
- Boulaine J., 1989.** Histoire des pédologues et de la science des sols .INRA Editions Versailles, 285 pp.
- Bourgeot A., 2009.** A propos du pastoralisme nomade. Agadez (Niger) 29 octobre Directeur de recherche émérite UMR 7130 CNRS-EHESS-COLLEGE de France. <http://www.espritdavant.com/DetailElement.aspx?numStructure=79255&numElement=899>
- Bove J., Jullien M., Grappin P., 2001.** Functional genomics in the study of seed germination. *Genome Biology*, 3: 1002.1-5.
- Borba A.E.S, Correia P.J.A, Fernandes J.M.M, Borba A.F.R.S., 2001.** Comparison of three sources of inocula for predicting apparent digestibility of ruminant feedstuffs. *Anim. Res.* 50, 265–273.
- Bossuet J., Vadez V., 2013.** L'avenir des céréales et des légumineuses pour la petite agriculture dans les zones tropicales semi-arides Volume 24, numéro 4, Octobre-Novembre-Décembre 2013.
- Briat J.F., 2004.** La génomique en biologie végétale. Science update, INRA Editions, Paris, 2004, 582 p., ISBN: 2-7380-1 167-5, ISSN: 1 159-554X. The progress registered in *Genetics* and Molecular Biology during.
- Broughton W.J., Zhang F., Perret X., Staechelin C., 2003.** Signalis exchanged between legumes and rhizobium :agricultral uses and perspectives. *Plant soil* .252-129-137.
- Brunck F., Grison F., Maitre H.F., 1990.** L'okermé, au conma Klaineana .Poerre . Monographie, centre Techn Forestier Tropical, cirad Nogent, 102P.
- Brunel D., 1982.** Mise en évidence de 4 locus enzymatiques chez la luzerne (*Medicago sativa* L.) di- et tétraploïde. *Agronomie* 2 (2), 133-148.
- Busse W.F., 1930.** Efect of low temperatures on germination of impermeable seeds, *Botanical Gazette*, vol 89, 169-179. En ligne : <https://www.jstor.org/stable/i342114>.

- Caputa J., 1967**, Les plantes fourragères, Payot, Lausanne, 205 p.
- Chaabena A., 2001**. Situation des cultures fourragères dans le Sud-Est Septentrional du Sahara algérien et caractérisation de quelques variétés introduites et populations sahariennes de la luzerne cultivée. Thèse Magister INA El Harrach. 118p.
- Charlet-Levy G., 1969**. Method for determination of digestibility coefficients of feed for ruminant. Commission on animal nutrition, report 1:33p.
- Chapot J.Y., Chessel D., Conesa A.P., Chambrun G., Hadj Miloud D., Lepart J., Pilas J.M., 1974**. Premiers résultats d'un inventaire des espèces végétales susceptibles d'être introduites dans les soles fourragères. Etude écologique. Essais de comportement. Sélection. INA/IDGC Alger. 1-94
- Chapot J.Y., Chapuis J., Conesa A.P., Hadj Miloud D., Pilas J.M., Van Kaester W., 1975**. Etude comparative de comportement de populations spontanées et cultivars étrangers de luzernes annuelles, fétuque élevée, luzernes pérennes, sulla, phalaris en vue de leur introduction sur les hauts plateaux et dans les plaines intérieures, INA, IDGC. 1-110.
- Chaux C., Foury C., 2008**. Production légumières. Tome 3. Légumineuses potagères. Légumes fruits. Agriculture d'aujourd'hui. Science. Techniques Applications. 75p.
- Chehat F., 1988**. Recherche des ressources phylogénétiques et recherche agronomique. Ann. Inst. Nat. Agr El Harrach Vol. (12) : 26-25.
- Chibani C., 2013**. Eléments princeps pour une table de valeur alimentaire, pour le ruminant, des fourrages algériens : modèles de prédiction. Thèse de Doctorat, El Harrach (Alger), Ecole Nationale supérieure agronomique. 177p.
- Catalogue of Life- 31st October, 2016**. (Base de données) : <http://www.catalogueoflife.org/col/search/all/key/rhizobium/fossil/0/match/1>. Consulté le 7 novembre 2016.
- Chatterton B., Chatterton L., 1991**. Medic seed production in Tunisia" pp 77-85 Vol 37 No1 Agricultural Systems, Elsevier Applied Science.
- Chesneaux M.T., Rullaud B., 1974**. Relations entre la couleur des semences de luzerne et leur faculté germinative ». *Bull. F.N.A.M.S.*, avril 1974 P. 85-90.
- Chevalais A., 1922**. Notes et actualités : la luzerne. Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale. Vol 2, N° 6 : 61-70.
- CIMMYT., 1972**. World Wheat Book 2, vol 2: A History of Wheat Breeding En ligne : <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3628/25826.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- CIMMYT., 1975**. Le potentiel de développement de la production céréalière et de l'élevage en Algérie. Rapport d'E.D Carter du CIMMYT pour le compte de l'Algérie. En ligne : <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3628/25826.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Cleland E.E., Harpole W.S., 2010**. Nitrogen enrichment and plant communities. Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 1195, 46-61.
- Cocks P.S, Mawlawi B, Sawmy-Edo H, 1993**. Introduction of Ley Farming in Syrian villages. In: **Christiansen S, Materon L, Falcinelli M, Cocks P. (Eds.)**, Introducing Ley-Farming to the Mediterranean basin. Proceedings of an International Workshop, Perugia, Italy, pp. 52-64.
- Conesa A.P., Hadj-Miloud D., Djeddou R., 1974**. Etude écologique, Essais de comportement, Sélection (de luzernes annuelles). Lab. Agric, I. N. A. El-Harrach, Alger, 97 p.
- Côme D., 1970**. The percentage of germination is lower and the seedlings show numerous developmental anomalies <http://www.ScienceDirect.com/science/article/pii/S0044328X83801925>.
- Côme D., 1982^a**. Influence de la réfrigération et de la congélation sur la qualité et l'aptitude à la germination des graines. Revue Internationale du Froid 5 (6) : 33-36.

- Côme D., 1982^b.** Germination (Chapitre 2), dans Croissance et développement-Physiologie Végétale II, Mazliak P., Collection Méthodes, Herman, pp 129-225. 465p. Paris.
- Côme D., 1993.** Apports de la recherche à l'amélioration de la qualité germinative des semences, C.R. Acad. Agric. Fr., 79 N°2, pp 35-46.
- Côme D., Semadeni I.A., 1973.** Dégazage des enveloppes séminales lors de leur imbibition. III. Application à l'étude de la dureté des graines d'*Hedysarum coronarium* L. *Physiol, vég.*, 11 : 171 - 179.
- Corbineau F., 2017.** Les dormances : processus adaptatifs des semences aux conditions environnementales. CR 6ème colloque Graines 2017-17 au 19 octobre 2017 Montpellier, 123p.
- Corbineau F., Benamar A., Couvreur F., Gate P.H., Come D., 1993.** La germination sur pied du blé tendre : recherche de critères prévisionnels. C.R. Acad. Agric. Fr. 79 N°2 pp 47-54.
- Couranjou J., 1965^a.** Essai de classification physiologique de la luzerne. *Fourrages N° 21*, 78-92.
- Couranjou J., 1965^b.** Essai de classification physiologique des luzernes en fonction de leur comportement et de leur adaptation en différents milieux algériens. Comportement phénologique comparé des divers types de luzernes suivant le milieu. *Fourrages N° 23*, 127-142.
- Couranjou J., 1965^c.** Essai de classification physiologique des luzernes en fonction de leur comportement et de leur adaptation en différents milieux algériens. Adaptation comparée des divers types de luzernes suivant le milieu. *Fourrages N° 24*, 132-155.
- Crawford E.J., 1983.** Development of gamma medic (*Medicago rugosa* Desr) as an annual leguminous species for dryland farming system in southern Australia. In Pr 14th Grass. Congr. June 15-24, 1981. Lexington (USA). Eds. J.A. Smith and V.W. Hays. 224 -226.
- Crawford E.J., Lakea W.H., Boycek G., 1989.** Breeding annual *Medicago* species for semiarid conditions in southern Australia. *Adv. Agron.*, 42: 399-437.
- Cronk Q., Ojeda I., Pennington R.T., 2006.** Legume comparative genomics: progress in phylogenetics and phylogenomics. *Cur opin Plant Biol.* 9: 99-103.
- Cronquist A., 1981.** An Integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press, New York, 1262pp.
- Crosaz Y., 1995.** Lutte contre l'érosion des sols en montagne méditerranéenne : connaissance du matériel végétal et quantification de son impact sur l'érosion. Thèse de Doctorat Université de Marseille, 243p
- Dahmane A.B.K., 1982.** Principe fondamentaux des rotations *Medicago* annuel/céréale dans les zones semi arides. Tunisia cereal breeding and production symposium. Tunis 12-16 avril 1982.
- Dhanoa M.S., France J., Crompton L. A., Mauricio R.M., Kebreab E., Mills J.A.N, Sanderson R., Dijkstra J., Lopez S., 2004.** Technical note: A proposed method to determine the extent of degradation of a feed in the rumen from the degradation profile obtained with the *in vitro* gas production technique using feces as the inoculums *J. Anim. Sci.* 82:733–746.
- Demarly Y., 1966.** Les variétés de luzerne catalogue actuel et avenir de la sélection. Exposé présenté le 13 janvier 1966 lors de la réunion d'hiver de l'A.F.P.F (Association française de producteurs de fourrages), 11p.
- Demarly Y., 1977.** Génétique et amélioration des plantes. Ed. Masson. 287p.
- Demarquilly C., Jarrige R., 1981.** Panorama des méthodes de prévision de la digestibilité et de la valeur énergétique des fourrages. In *Prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*. INRA, Publication Versailles 41-59.

- Demarquilly C., Andrieu J., 1988.** Les fourrages in Jarrige., 1988 : Alimentation des bovins ovins et caprins. INRA, France, 472p.
- Demment M.W., Teuber L.R., Bourqued P., Phillips D.A., 1986.** Changes in forage quality of improved populations. *Crop Sci.*, 26, 1137-1143.
- Denarié J., 1992.** Cité par **Heulin, 2013.** Symbioses Plantes – Microorganismes, diversités des interactions. CNRS : centre national de la recherche scientifique France. http://biologie.univ-mrs.fr/upload/p189/Cours_M1_Plant_bacteria_symbiosis_CV.pdf Consulté le 8 novembre 2016.
- Denarie J., Debelle F., Rosenberg C., 1992.** Signaling and host range variation in nodulation. *Annu. Rev. Microbiol.* 46, 497-531.
- Diaw N.F., 2002.** Utilisation des inoculums de rhizobium pour la culture du haricot (*Phaseolus vulgaris*) au Sénégal. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop Dakar, 112 p.
- Djermoun A., Chehat F., 2012.** Le développement de la filière lait en Algérie : de l'autosuffisance à la dépendance. *Livestock Research for Rural Development* vol. 24.
- Dommergues Y.R., 1996.** La fixation d'azote chez les plantes actinorhiziennes et ses applications, *Acta Botanica Gallica*, 143:7, 663-679, DOI: 10.108.
- Dommergues Y., 1983.** Les principales symbioses avec les plantes supérieures .cours de microbiologie du sol (deuxième partie). Laboratoire de Microbiologie des Sols ORSTOM. Sénégal.office de la recherche scientifique et technique outre-mer
- Dommergues Y., 2016.** Sols-Microbiologie, *Encyclopædia Universalis* : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/sols-microbiologie/> consulté le 30 octobre 2016.
- Doré C., Varoquaux F., 2006.** Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Ed. Quae, Versailles 812p.
- Dorne A.J., 1977.** Influence de l'altitude de développement de quelques plantes sur l'aptitude à la germination de leurs semences. Etude plus particulières de *Chenopodium bonus-henricus* L., Thèse de doctorat, Université Grenoble 1, 162 p.
- Doyle J.J., 1998.** Phylogenetic perspectives on nodulation: evolving views of plants and symbiotic bacteria. *Trends Plant Sci.* (3): 473-478.
- Duc G., Mignolet C., Carrouée B., Huyghe C., 2010.** Importance économique passée et présente des légumineuses : Rôle historique dans les assolements et facteurs d'évolution. *Innovations Agronomiques* 11 (2010), 1-24.
- El-Hilali I., 2006.** La symbiose Rhizobium-Lupin : Biodiversité des microsymbiotes et mise en évidence d'une multi-infection nodulaire chez *Lupinus luteus*. Thèse de Doctorat, Université Mohammed V-AGDAL, 231pp.
- Emile J.C., Traineau R., 1993.** Effet de la variabilité génétique sur la digestibilité *in vivo* de la luzerne. *Fourrages* (134), 251-254.
- Essafi A., 1964.** Documents techniques. Fertilité de l'Institut National de la Recherche Agronomique. Recommandations sur le choix des variétés de céréales en Tunisie pour la campagne 1964/65. Oct. 1964. 16 p 0,800 D 4.
- Esseling J.J., Lhuissier F.G.P., Emons A.M.C., 2003.** Nod Factor-Induced Root Hair Curling: Continuous Polar Growth towards the Point of Nod Factor Application. *Plant Physiology* 132: 1982–1988.
- Evenari M., 1957.** Les problèmes physiologiques de la germination. *Bull. Soc. Franç.Physiol. Végét.* 3(4) : 105-124.

- Fages C., 2015.** La consommation de viande en hausse grâce aux pays émergents. Diffusion: lundi 23 mars 2015.
- FAO, 1992^a.** Guide de manipulation des semences forestières ÉTUDE FAO FORÊTS 20/2 Rome Italy : <http://www.fao.org/docrep/006/AD232F/ad232f11.htm> Visité le 17/11/18.
- FAO, 1992^b.** Fichier technique de la fixation symbiotique de l'azote : Légumineuse/ Rhizobium. Book Fichiers, Document FAO Rome, Italie
- FAO, 2006a.** Sécurité alimentaire. Notes d'orientation Juin n° 2 (disponible à l'adresse suivante ftp://ftp.fao.org/es/esa/policybriefs/pb_02_fr.pdf. Consulté en janvier 2010).
- FAO, 2012.** Cadre programmation par pays : Algérie, 120p en ligne : ftp://ftp.fao.org/OSD/CPF/Countries/Algeria/ALG_CPF_2013-2016.pdf.
- FAO, 2014.** Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2014.
- FAO, 2015. 2016** Année internationale des légumineuses : des graines pour nourrir l'avenir. Brochure.
- FAO, nd.** <http://www.fao.org/docrep/W1808/W1808f05.htm>.
- FAO par Brian et Lynne Chatterton, 1997.** Fourrages pour le Proche-Orient : les pâturages de luzerne annuelle. Etude **FAO production végétale et protection** des plantes. 110p.
- STAT FAO, 2012.** FAO Statistical Databases. Page web: <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=569#>
- Farajollahi A., Gholinejad B., Jonaidi Jafari H., 2014.** Effects of Different Treatments on Seed Germination Improvement of *Calotropis persica*. Hindawi Publishing Corporation Advances in Agriculture. 5p. En ligne.
- Farissi M., Mouradi M., Bouizgaren A., Ghoulam C., 2016.** Amélioration de la germination de la luzerne (*Medicago sativa* L.) sous stress salin par traitement pré-germinatif, *Fourrages*, 228, 261-264.
- FNLS, 2016.** (Fédération nationale des légumes secs). Les super légumes secs : ils nous veulent du bien. Dossier de Presse, 31p.
- Franck B., 1879.** Über die Pily symbiose der leguminosen. Berichte der Deutschen Beren Dent Bot. Ges 7 : 332-346.
- Fustec J., Lesuffleur F., Mahieu S., Cliquet J.B., 2010.** Nitrogen rhizodeposition of legumes. A review, *Agron. Sustain. Dev.*, 30, 57–66.
- Gaden S., 1993.** Etude sur la germination des semences de populations alpines et sur le mode de reproduction de l'une des espèces : *Poa alpina* L., en vue d'une réhabilitation des sites érodés d'altitude, rapport de BTSa Technologies Végétales, CEMAGREF Grenoble, 63 p.
- Gachet J.P., 1979^a.** Rapport d'activité du laboratoire des cultures fourragères INRAT. Tunis Tunisia 15p.
- Gachet J.P., 1979^b.** Résultats d'engraissement d'agneaux sur prairies de luzernes annuelles. Lab. Production fourragère et Zootechnie. Institut National de la Recherche Agronomique de Tunis.
- Gachet J.P., El Mir A., 1972.** Etude morphologique des *Medicago* annuelles. Ann Inst Nati Rech. Agro. Tunisie. 45.1-45.
- Gallais A., 2011.** Méthodes de création de variétés en amélioration des plantes. Ed. Quae Versailles, 278 p.
- Ganry F., Dommergues Y.R., 1995.** Arbres fixateurs d'azote : champ ouvert pour la recherche. Agriculture et développement n°7 : 38-55.
- GRA, 2004.** Intérêt et culture de la luzerne en agriculture biologique principe de base. Groupement Régional d'Agriculture. 3p.

- Gayot L., 1962.** La biologie végétale. Presses universitaires de France.127p.
- Génier G., Guy P., Prosperi J.M., 1992.** Les légumineuses. 323-338. Amélioration des espèces cultivées : Objectifs et critères de sélection/coordonné par A.Galais et H.Baunerot. Paris INA, 1992.
- Ghassemian M., Nambara E., Cutler S., Kawaide H., Kamiya Y., McCourt P., 2000.** Regulation of abscisic acid signaling by the ethylene response pathway in Arabidopsis. *The Plant Cell* 12, 1117–1126.
- Gilbert G., Boutique R., 1952.** Mimosaceae et papilionaceae, in Flore du Congo belge et du Ruanda Urundi vol III, P (167-227) Publ. I.N.E.A.C. édit. Bruxelles. Jard. Bot.
- Giller K.E.,Wilson K.J., 1991.** Nitrogen fixation in tropical cropping systems. Common Wealtj Agricultural Bureau. London.UK.
- Jimeno-Gille C., 2009.** Étude cellulaire et moléculaire de la germination chez *Medicago truncatula* .Thèse de doctorat.UNIVERSITÉ D'ANGERS.172p.
- Gintzburger G., 1984.** Genetic conservation in Libya: Indigenous forage legumes collection in Nortern Libya .Distribution and Ecology of *Medicago* sp. Part III.FAO.ARC tfub.6.235/79
- Gorenflot R., de Foucault B., 2005.** Biologie végétale, Les Cormophytes, 7^{ième} édition, DUNOD, Paris, ISBN 2-10-049362-0, 594 pp.
- Goumiri R., Abdelguerfi A, Longo-Hammouda FZ., 1990.** Contribution à l'étude des espèces spontanées du genre *Medicago* en Algérie. Analyses chimiques du fourrage au stade végétatif. *Rev. Céréaliculture*, 22 : 25-27.ITGC, 1979. Les légumineuses fourragères. La luzerne (*Medicago sativa*). *Rev. Céréaliculture*, 10 : 27-31.
- Graham P.H., Vance C.P., 2003.**Legumes: importance and constraints to greater use. *Plant Physiol* 131, 872-877.
- Greffer.net** : https://www.greffer.net/?p=194#footnote_0_194. Visité le 25 /11/ 2017
- Groot S.P.C., Karssen C.M., 1987.**Gibberellins regulate seed germination in tomato by endosperm weakening: a study with gibberellin-deficient mutants. *Planta*, 171: 525-531.
- Guckert S.N.L., Robin C., Schontz D., 2003.** Production et fixation d'azote chez les luzernes annuelles en région méditerranéenne lors de la période froide, *Fourrages* ,173 ,37-47.
- Guéguen J., Duc G. (coord.), Boutin J.P, Dronne Y., Munier-Jolain N., Sève B., Tivoli B., 2008.** La filière protéagineuse. Quels défis ? Editions Quae, Versailles148 pp.
- Guerrouj K., Hanane B., Ourarhi M., Hanaa A., Roger P., Missbah El Idrissi M., 2009.** Diversité des *Rhizobia* qui nodulent quelques légumineuses de la région orientale du Maroc. Symposium international «Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED)», Rabat, Maroc, 14-16 mai 2009.
- Guerrouj K., Bouterfas M., Abdelmoumen H., Boukroute A., Missbah El Idrissi M., 2015.** Prétraitement des graines de la luzerne arborescente (*Medicago arborea* L.) et influence de la salinité et de la température sur leurs germinations. *Nature & Technologie. B - Sciences Agronomiques et Biologiques*, 13 – 41-46.
- Guignard J.L., 1980.** Abrégé de botaniques. Ed. Masson. 259p.
- Guines F., 2002.** Bases génétiques des variations pour la structure histologique des tiges de luzerne (*Medicago sativa* L). Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 89 p. + Annexes.
- Guy P., 1961.** Principes généraux de production de la semence de luzerne. *Revue Fourrages* (5) : 136-145.

- Hanin M., Jabbouri S., Quesada-Vincens D., Freiberg C., Perret X., Promé J.C., Broughton W.J., Fellay R., 1997.** Sulphation of *Rhizobium* sp. NGR234 Nod factors is dependent on noe E, a new host-specificity gene. *Mol Microbiol.* 24, (6):1119-1129.
- Hamrit S., 1995.** Situation des fourrages en Algérie. *Al Awamia* (revue de la recherche agronomique marocaine N° 89 pp 97-108, Juin 95).
- Hamadache A., 2014.** Légumineuses alimentaires (Pois chiche, fève, Lentille) Tome II. *Eléments de phytotechnie générale.* 188p.
- Hassen H., Mezni M., Seklani H., Zoghلامي A., 1996.** Synthèse e des travaux de recherche réalisés sur les *Medicago* à l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie in **Genier G. (ed.)**,
- Prosperi J.M. (ed.)**. The Genus *Medicago* in the Mediterranean region: Current situation and prospects in research Zaragoza : CIHEAM Cahiers Options Méditerranéennes; n. 18 Pages 31- 37.
- Haukka M., 1996** in *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: Volume Two: The Proteobacteria.* Partie 3. 1387p. <https://books.google.dz/books?isbn=0387292985>.
- Hedden P., Phillips A.L., 2000.** Gibberellin metabolism: new insights revealed by the genes. *Trends Plant Sci*, 5: 523-530.
- Helgesen R.A., 1932** in Chapitre 2. Propriétés germinatives des semences https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00008567/file/D_chap_1_2.pdf...2005.
- Hentgen A., 1970.** In André Gallais, Hubert Bannerot ,1992 . Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères ...<https://books.google.dz/books?isbn=2738003834>
- Heyn C., 1963.** The annual species *Medicago*. Palestine.154.
- Hiltner L., en 1902** in Chapitre 2. Propriétés germinatives des semences. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00008567/file/D_chap_1_2.pdf...2005
- Hopkins W.G., 2003.** Physiologie végétale Editeur : De Boeck (Bruxelles) 514p <http://www.rfi.fr/emission/20150323-consommation-viande-hausse-grace-pays-emergents>.
- Huss-Danell K., 1997.** Actinorhizal symbioses and their N₂ fixation. *New Phytologist* 136, 375-405.
- Hutchinson K.J., 1969.** The effet of scheap stoking intensity on the abandance and distribution of mesofauna in pastures. *J. app. Eco.* 13. 41-55.
- Huyghe C., 2006.** Place des légumineuses fourragère et à grosses graines dans les systèmes de production en France. Workshop international sur la diversité des Fabacées fourragères et de leurs symbiotes : Applications biotechnologiques, agronomiques et environnementales. Alger 19-22 février.
- Issolah R., Beloued A., 2005.** The fooder legumes in Algeria: Distribution , Endemism and utilization. Proceeding of the international conference and sustainable use of drland agrobiodiversity. ICARDA, Aleppo, Syria, 18-21 April.
- INRA France de Lusignan** (communications personnelles)
- ITGC/ITEBO/ICARDA ,1993.** Etude des systèmes de culture et de pâturages dans les zones d'intégration céréales élevage. Constantine, Séminaire du 15 au 26 mai, 1993.
- Ivanov M.V., 1988.** Methanotrophic bacteria, symbiots as an original link food chain ocean ,DAN URSS.300(3):717-720
- Jeady C., Ruffel S., Freixes S., Tillard P., Santoni A.L., Morel S., Journet E.P., Duc G., Gojon A., Lepetit M. et al, 2010.** Plasticity of nodule development has a major role in the adaptation of *Medicago truncatula* to N-limitation. *New Phytologist* 185, 817-828.

- Jordan D.C., 1982.** Transfer of *rhizobium japonicum* Buchanan 1980, to *Bradyrhizobium* gen. nov, a genus of slow growing root nodule bacteria from leguminous plants, *Int. J. Syst.Bacteriol.*, **32**, 136-139.
- Jordan G.L., Haferkamp M.R., 1989.** Temperature responses and calculate heat units for germination of several range grasses and shrubs. *J. of range management*, 42(1): 41-45.
- Jooshi D.D., 2011.** Draught animals in Asia. *In* Livestock rearing (M.L. Myers, édit.). Encyclopedia of occupational health and safety, J.M. Stellman, Editor-in-Chief. Organisation internationale du travail, Genève.
- Jouanin L., Lapierre C. 2006.** Avantages et limites d'*Arabidopsis thaliana* pour l'étude des premières étapes de la lignification. *Cahiers Agricultures* vol. 15, N° 2, 179-185.
- Jud M.C., Czerwinski M.J., Wood M.P., Yong R.A., Gallo C.M., Bickel J.S., 2008.** Large P body like RN Ps form in *C elegans* oocytes in response to arretzd ovulation hedt shok, osmotic stress and anokia are regulated by the major sperm protein pathway. *Dev Biol* .318, 38-51.
- Julier B., Huyghe C., 1998.** Variabilité génétique pour la digestibilité de la luzerne relation avec la production de matière sèche et la proportion de feuilles. *Fourrages* 154, 261-268.
- Julier B., Guines F., Ecalle C., Emile J.C., Lila M., Briand M., Huyghe C., 2003.** Eléments pour une amélioration génétique de la valeur énergétique de la luzerne. *Fourrages* (2003) 173, 49-61.
- Justes E., Thiebeau P., Cattin G., Larbre D., Nicolardot B., 2001.** Libération d'azote après retournement de luzerne : un effet sur deux compagnes. *Perspectives Agricoles*, 264,22-26.
- Kacimi El Hassani S., 2013.** La Dépendance Alimentaire en Algérie. Importation de Lait en Poudre versus Production Locale, Quelle Evolution ? Université Badji Mokhtar (Algérie). *Mediterranean Journal of Social Sciences* .MCSER Publishing, Rome-Italy Vol 4 No 11. October
- Kadra N., Adem L., 1980.** The inteegration of livestock and cereal production in Algeria .International congress on dry land farming.Adelaide,South Australia,August 198 ,pp:118-125.
- Kenyon C., 2001.** A conserved regulatory system for aging. *Cell*, 105: 165-168.
- Klinkowski M., 1933.** Lucerne. Its ecological position in the wold, *Bull Imp Bur Pl Genet, Herb Pl* 12 : 461pp
- Knoden D., 2007.** Alternatives offertes par les légumineuses. Actes de la journée « Fourrages actualités ». 6p.
- Konate I., 2007.** Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) et des Bactéries Endophytes qui lui sont Associées. Thèse de Doctorat, Université Mohamed V-Agal, Maroc, 196p.
- Koornneef M., Bentsink L., Hilhorst H., 2002.** Seed dormancy and germination. *Cur Opinlant Biol*, 5: 33-36.
- Krishnan H.B., Bennett J.O., 2006.** Rhizobium-legume symbioses: molecular signalse laborated by rhizobia that are important for nodulati. In: *Plant-Associated Bacteria (Gnanamanickam S.S, Ed.)* Springer Netherlands: pp. 57-104.
- Kucera B., Cohn M.A., Leubner-Metzger G., 2005.** Plant hormone interaction during seed dormancy release and germination. *Seed Sci Res*, 15: 281-307.
- Kumaresan A., 1976.** Interactions entre le zinc et les microorganismes du rumen chez le mouton recevant de l'urée comme source unique d'azote. Thèse Doct. Univ., Toulouse.
- Kumar Rao I.V.D.K., Thompson J.A., Sastry P.U.S.S., Giller K.E., Day J.M., 1986.** Measurement of N2 fixation in field grown pigeonpea using 15N-labelled fertilizer.*Plant Soil*, **101**, 102-113.
- Laberche J.C., 1999.** Biologie végétale. Paris Dunod 304p.

- Lafon J.P., Catherine T.P., Gilles L., 1996.** Biologie des plantes cultivées. ed Lavoisier. 233p.
- Laguerre G., Louvier P., Allard M.R, Amarger N., 2003.** Compatibility of rhizobium genotypes within natural populations of *Rhizobium leguminosarum* Biovar *viciae* for nodulation of host legumes. Appl. & Environ. Microbiol. 69, 2276-2283.
- Lapeyronie A., 1982.** Les productions fourragères méditerranéennes. GP Maison Neuve et Larose Paris. 245p
- Larbre D., Coulmier D., Pacquetet H., Joya R., 2015.** Etude de la courbe de réponse de la luzerne à l'apport de potasse et de soufre COOP de France : @coopdefrance.coop. Visité le 15/10/2018.
- Laumont P.N., 1941.** Orientation à donner à l'agriculture algérienne, pendant la campagne 1941-1942. Doc.rEC, AgriC aLGER, Bull.'48,1-14.
- Laumont, P.N., 1950.** Développez les luzernières. - documents et renseignements agricoles, Alger, Bull. 31, pp. 1-4.
- Le Hoérou H.N., 1987.** Les ressources fourragères de la flore nord africaine. In « ressources fourragères et pastorales intégrées dans les systèmes de production en milieu méditerranéen », Proceeding of FAO–european coopérative Network on Pasture and Fodder crop production, sub-Network ou Méditerranéen, pastures 5th Meetig. 13-17 oct 1987.Montpellier (France) Bulltins : 127-132.
- Le Houérou. H.N., 2006.** Les légumineuses fourragères dans la flore de la zone isoclimatique méditerranéenne 15-20p. Workshop international sur diversité des Fabacées fourragères et leurs symbiotes : Applications biotechnologiques, agronomiques et environnementales. Alger, 19-22 Février 2006.
- Lemaire G., Cruz P, Gosse G, Chartier M., 1985.** Etude des relations entre la dynamique de prélèvement d'azote et la dynamique de croissance en matière sèche d'un peuplement de luzerne. Agronomie, 5(8), 685-692.
- Lemaire G., Allirand J.M., 1993.** Relation entre croissance et qualité de la luzerne : interaction génotype-mode d'exploitation. Fourrages 134 : 183-198.
- Lerman J.C., Cigliano E.M., 1971.** New carbon-14 evidence for six hundred years old *Canna compacta* seed. Nature 232, 568 - 570.
- Lesins K.A., Lesins I., 1979.** Genus *Medicago* (Leguminosae). A Taxogenetic study. Ed. Springer, Netherlands, 240 p.
- Lev-Yadun S., Gopher A., Shahal Abbo S., 2000.** The cradle of agriculture. Science's Compass 288: 1602-3.
- Lindstrom K., Murwira M., Willems A., Altier N., 2010.** The biodiversity of beneficial microbe-host mutualism: the case of rhizobia. Journal of Microbiology Research 161: 453-463
- Long S.R., 2001.** Genes and Signals in the Rhizobium-Legume Symbiosis. Plant Physiology, 125: 69-72.
- Lute A M., 1928.** Impermeable seed of alfafa . Bulletin 326. Colorado experimentation agricultural section fortcollins. 36p
- Mc Dougall E., 1948.** Studies on Ruminant Saliva. The Composition and Output of Sheep's Saliva. Biochemical Journal, 43, 99-109.
- MADR, 2012.** Le Renouveau Agricole et Rural en marche Revue et Perspectives, disponible on-line : http://www.minagri.dz/pdf/Divers/Juillet/LE_RAR-FR.pdf (29/06/2013).
- Magnin-Gonze J., 2004.** Histoire de la botanique. Ed. Delachaux et Niestlé, Paris 14^{ème}, 218p.

- Maatougui M.E.H., 1987.** Installation et conduite de système *Medicago-Blé* . Céréaliculture, 16 : 46-51.
- Maatougui M.E.H., 1989.** Constraints to the ley farming system in Algeria , in *Introducing to Mediterranean Bassin*, S.Christiansen, L.Materon, M.Faicinelli and P.Cocks editors, Proceedings of international Workshop, 26-30 June, Perugia (Italie), 127-134.
- Masson-Boivin C., Giraud E., Perret X., Batut J., 2009.** Establishing nitrogen-fixing symbiosis with legumes: how many rhizobium recipes? *Trends Microbiol* 17: 458-466.
- Mathieu R., Jagannath A., Albert K.C., 2007.** Object-Based Classification of Ikonos Imagery for Mapping Large-Scale Vegetation Communities in Urban Areas. *Sensors* 2007, 7(11), 2860-2880.
- Mathieu B., 2005.** Une démarche agronomique pour accompagner le changement technique. Projet ESA/SODECOTON .Thèse du grade de docteur de l'INA Paris-Grignon .374p HAL Id: pastel-00001183 <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00001183>.
- Matilla A.J., 2000.** Ethylene in seed formation and germination. *Seed Science Research* 10, 111–126.
- Mauriès M., 1994.** La luzerne aujourd'hui. ed. France agricole 254p.
- Mauriès M., 2003.** Luzerne : culture, récolte, conservation, utilisation <http://www>.
- McCoy T.J., Bingham E.T., 1988.** Cytology and cytogenetics of alfalfa. In: Hanson AA, Barnes DK, Hill RR (Eds) *Alfalfa and alfalfa improvement*. Madison, USA
- McKensie B.D., Tomes D.T., Yamamoto S., 1988.** Effet of seed size on germination seeding vigor electrolyte leakage and establishment of bird' s foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.). *Cand Jorn Plant Sc.* 61: 337-343.
- Meyer A.M., Broughton A., 1982.** Chapter 4–Dormancy, Germination Inhibition and Stimulation. *The Germination of Seeds (Third Edition)*, Pages 50-52,52a,53-84.
- Menke K., Raab L., Salewski A., Steingass H., Fritz D., Schneider W., 1979.** The estimation of the digestibility and metabolizable energy contents of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *The Journal of Agricultural Science.* 93. 217 - 222.
- Michaud R., Lehman W.F., Rumbaugh M.D., 1988.** World distribution and historical developpement .Alfafa and alfafa improvement.Agronomy Monographi. 29 ASA, CSSA and SSSA Madison, Wisconsin PP.25-91.
- Michaud R., Lehman W.F., Rumbaugh M.D., 1988.** World distribution and historical development. In A.A. Hanson [ed.], D.K. Barnes and R.R. Hill Jr. [co-eds.], *Alfalfa and alfalfa improvement*, Agronomy monograph 29, 93–124. American Society of Agronomy, Crop Science Society of Agronomy, and Soil Science Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Midgley A.R., 1926.** Effect of alternate freezing and thawing on the impermeability of alfalfa and dodder seeds. *Journ. Amer. Soc. Agron.*, Geneva et New York, 18: 1087–1098.
- Moffett A.A., 1952.**Differential germination in the black wattle (*Acacia mollissima* Willd.) caused by seed treatment. Rep. Wattle Research Institute S. Africa. 1951–52, 39–50.
- Montegano B., Gensollen V., Lassalvy S., 2002.** “Fall dormancy as a descriptor of Lucerne (*Medicago sativa* L.) varieties”. 19th General Meeting of the European Grassland Federation. La Rochelle, France. Pages 452-453.
- Morand D., 1955.** “30 ans d'essais sur les prairies artificielles à Grangeneuve”, *Revue suisse d'agriculture*, 28, 1, 35-41.
- Moulin L., Munive A., Dreyfus B., Boivin-Masson C., 2001.** Nodulation of legumes by members of the beta-subclass of *Proteobacteria*. *Nature* 411, 948-950.

Mourot M., 2014. Optimisation du rendement grainier de la luzerne porte graines. Master Biologie et Technologie du Végétal. Université d'Anger, 58p.

Muller C., Bonnet-Masimbert M., Laroppe E., 1990. Nouvelles voies dans le traitement des graines dormantes de certains feuillus : Hêtre, Frêne, Merisier. Revue forestière française, vol. XLII, n° 3, pp. 329-345.

Muller J.C., Denys D., Thiébeau P., 1993. Présence de légumineuse dans la succession : Luzerne et pois cultivés purs ou association, influence sur la dynamique de l'azote. In : Matières organiques et Agricultures (Decroix J., Ignazi J.C., eds). Congrès GEMAS-Comifer, Blois, novembre, 83-92.

NCBI (National Center for Biotechnology Information), 2016. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/> Consulté le 7 novembre 2016.

Nedjraoui D., 2003. Les ressources pastorales en Algérie. Document FAO, [en ligne] www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/Algeria/Algerie.htm.

Nedjraoui D., Bédrani S., 2008. La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. Revue Vertigo, volume 8, n°1. <http://vertigo.revues.org/5375>.

Noel K.D., 2009. Bacteria Rhizobia. Encyclopedia of microbiology, SCHAECHTER M. San Diego. Marquette University, Milwaukee, WI, USA, 3, 877-893.

Oakley B., North M., Franklin J.F., Hedlund B.P., Staley J.T., 2004. Diversity and distribution of *Frankia* strains symbiotic with *Ceanothus* in California. Applied and Environmental Microbiology, 70, 6444-6452.

Oenema O., Kros H., de Vries W., 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. Eur. J. Agron. 20, 3–16.

OEP (Office de l'Elevage et des Pâturages de la Tunisie). *Médicago* annuelles : http://www.oep.nat.tn/uploads/documentations/fr/mdicago_annuelles.pdf

Oka-Kira E., Kawaguchi M., 2006. Long-distance signaling to control root nodule number. Current opinions. Plant Biology 9: 496-502.

Oldroyd G.E., Downie J.A., 2008. Coordinating nodule morphogenesis with rhizobial infection in legumes. Annu. Rev. Plant Biol. 59: 519-546.

Oldroyd G.E., Murray J.D., Poole P.S., Downie J.A., 2011. The rules of engagement in the legume-rhizobial symbiosis. *Ann. Rev. Genet.* 45: 119-144.

Maggia L., 1992. Diversité génétique de *Frankia*, symbiote de *Casuarina equisetifolia* L. Johnson en Afrique de l'Ouest (Sénégal et Gambie). Ed. ORSTOM, collection travaux et documents microédités, (Thèse de Doctorat de Laurent Maggia de l'Université Paris VII). 156p.

Ounane S.M., 2004. Effet du stress hydrique et thermique sur la nutrition azotée chez le pois chiche (*Cicer arietinum*). Thèse de Doctorat INA Alger, 145p.

Padilla A., Hogen R., Bkaiser R., 1995. The Toxic triangle destruction leaders, susceptible Followers, and conducive environments. www.nscu.edu, Padilla.

Papastilianou I., 1993. Introduction of Ley Farming in Syrian villages. In: **Christiansen S.,**

Materon L, Falcinelli M, Cocks P. (Eds.), Introducing Ley-Farming to the Mediterranean basin. Proceedings of an International Workshop, Perugia, Italy, pp. 99-105.

Pascal Aspe., Claude Aubert., Balaise Leclerc, Jean-Jacques Royal., 2016. Le guide Terre vivante des légumineuses cultures, atouts santé et bonnes recettes. 283p. ed Terre vivante.

- Patane C., Gresta F., 2006.** Germination of *Astragalus hamosus* and *Medicago orbicularis* as affected by seed-coat dormancy breaking techniques. *Journal of Arid Environments* 67. 165–173.
- Pathak V.N., Sharma R.K., 1980.** Methode of inoculation of *Pennistum typhoides* with *Tolyposporin penicillarie* and evalution of germplasm for smut resistance. *Indian J. Mycol. and Plant Path.* 6,102.
- Pellicer J., Fay M., Leitch I.J., 2010.** The largest eukaryotic genome of them all? *Botanical journal of the Linnean society*, 164 (1), 10–15.
- Peltier M.A.G, 1959.** Trois Légumineuses phaséolées de Madagascar à racines tuberculeuses. *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée* Année 1959 Vol. 6N 4, pp. 234-236
- Peoples M.B., Gault R.R., Scammell G.J., Dear B.S., Virgona J., Sandral G.A., Paul J., Wolfe E.C., Angus J.F., 1998.** Effect of pasture management on the contributions of fixed N to the N economy of ley-farming systems. *Australian Journal of Agricultural Research* 49, 459-474.
- Perrier G.K., 1970.** The contextual nature of range management. Pastoral Development Network Paper 30c. London, UK, Overseas Development Institute.
- Petit C.E, Zuckerman D.L., 1976.** Evolution génétique des populations. *Evolution moléculaire*. Herman. Paris. 277p.
- Peyraud J.L., Baumont R., 2002.** Qualité des fourrages : de la plante à la ration alimentaire. *Fourrages* (2002) 171 : 241-251.
- Pica G., Pica-Ciamarra U., Otte J., 2008.** The livestock sector in the World Development Report 2008: Re-assessing the policy priorities. Pro-Poor Livestock Policy Initiative A Living from Livestock Research Report RR No. 08-07.
- Pierre J.B., 2008.** Recherche de déterminants génétiques de la date de floraison chez la légumineuse modèle : *Medicago truncatula*. Thèse de Doctorat, Agrocampus Rennes, France, 207p.
- Pfitzenmeyer C., 1963.** La Luzerne Culture et Fertilisation. 251p.
- Pinfield N, Jet Dungey NO., 1985.** Seed dormancy in Acer: An assessment of the role of the structure covering the embryo. *Journal of Plant physiology* 120(1):65-81
- Pradère J.P., 2014.** Liens élevage-environnement-développement durable. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2014, 33 (3), 745-763 Présentée à l'université Claude-Bernard - Lyon I (Médecine - Pharmacie) pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire. 108p.
- Prin Y., Galiana A., Ducouso M., Dupuy N., De Lajudie P., Neyra M., 1993.** Les Rhizobiums d'Acacia : Biodiversité et taxonomie. *Bois et Forêts des Tropiques*, 238, 5-20.
- Prin Y., Duhoux E., 1996.** Les plantes actinorhiziennes. *Bois et Forêts des Tropiques*, N° 249, 72-73.
- Prosperi J.M., Soussana J.F., 1984.** L'amélioration pastorale des parcours de garrigue par sursemis. *Fourrages*, 99, 83-110.
- Prosperi J.M., Génier G., 1996.** Diversification des usages et diversité génétique : deux aspects complémentaires. *Fourrages*, 147 : 261-271.
- Prosperi J.M., Guy P., Balfourier F., 1995.** Ressources génétiques des plantes fourragères. INRF. 219p
- Prosperi J.M., Angevain M., Genier C., Olivieri I., Mansat P., 1993.** Sélection de nouvelles légumineuses fourragères pour les zones difficiles méditerranéennes. *Fourrages* 135 : 343-354.
- Puckridge D.W., French R.J., 1983.** The annual legume pasture in the cereal Ley farming systems of southern Australia, a review. *Agric. Ecosystems Environ.* 9: 229-267.
- Pueppke S.G., Broughton W.J., 1999.** *Rhizobium* sp. NGR234 and *R. fredii* USDA257 share exceptionally broad, nested host-ranges. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 12, 293-318.

- Quellier F., 2016.** Grande et petite histoire des légumineuses en Occident. Rencontres de la Fondation Louis Bonduelle 7 juin 2016, Maison de la RATP Paris. http://www.fondation-louisbonduelle.org/fileadmin/user_upload/docs/Files/France/La_fondation/Fond_actions/recontres_flb_2016/florent-quellier-histoire-des-l%C3%A9gumineuses-rencontres-fondation-louis-bonduelle-legumes-secs-proteines-vegetales.pdf. Consulté le 11 octobre 2016.
- Quezel P., Santa S., 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. 565p. Edi centre national de la recherche scientifique. Paris, France.
- Quiros C.F., Bauchan G.R., 1988.** The genus *Medicago* and the origin of the *Medicago sativa* Complex. In *Alfafa and Alfafa improvement*. Agronomy Monograph. 29: 93-124.
- Quinlivan B.J., 1971.** The ecological significance of seed permeability in the annual legume pastures of southern Australia. Dept Agric West Aust. Tech Bull. 11: 1-9.
- Rajjou L., Debeaujon I., 2008.** Seed longevity: Survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. *Comptes Rendus Biologies*, 331: 796–805.
- Rajjou L., Gallardo K., Debeaujon I., Vandekerckhove J., Job C., Job D., 2004.** The effect of alpha-amanitin on the *Arabidopsis* seed proteome highlights the distinct roles of stored and neosynthesized mRNAs during germination. *Plant Physiol*, 134: 1598-1613.
- Ramade F., 2003.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 822p.
- Raven P.H., Evert R.F., Eichhorn S.E., 2000.** Biologie végétale. Ed. De Boeck Université. 2000, 944 pages.
- Raveneau M.P., 2012.** Effet des vitesses de dessiccation de la graine et des basses températures sur la germination du pois protéagineux. Thèse de Doctorat, Université d'Angers, 138 p.
- Ravenel C., Hacquet J., 2013.** La luzerne a besoin de ses pollinisateurs. *Bulletin semences*, 232:23-25.
- Remy W., Taylor T.N., Hass H., Kerp H., 1994.** Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91, 11841 -11843.
- Rezvani M., Zaefarian F., Amini V., 2014.** Effects of chemical treatments and environmental factors on seed dormancy and germination of shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris* L. Medic.). *Acta. Bot. Bras.* 28 (4): 18-26.
- Ronfort J., Jenczewski E., Muller M.H., 2005.** Les flux de gènes et leur impact sur la structure de la diversité génétique. Le cas des prairies Fourrages, (182), 275-286.
- Rosenberg C., 1997.** Signaux symbiotiques chez *Rhizobium*. In : Assimilation de l'azote chez les plantes: Aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Coord : J.F. Morot-Gaudy Edit. Quae Versailles France, 420p.
- Sablionière B., 2001.** Nutrition : carrières sanitaires et sociales. Edit ellipses. 181p.
- Sagan M., 1996.** Etude de la spécificité de la relation symbiotique *Medicago-Rhizobium*. DEA Biologie des populations et écologie. Univ de Tours. 95p.
- Sangduen N., Sorensen E.L., Liang G.H., 1982.** A perennial x annual *Medicago* cross. *Can. J. Genet. Cytol.*
- Sattler S.E., Gilliland L.U., Magallanes-Lundback M., Pollard M., DellaPenna D., 2004.** Vitamin E Is Essential for Seed Longevity and for Preventing Lipid Peroxidation during Germination. *Plant Cell*, 16: 1419–1432.
- SAREP, 2013.** SAREP Cover Crops. 2013. Burr Medic. <http://www.sarep.ucdavis.edu/database/covercrops> (accessed 3 Feb 2013).

- Sawada H., Kuykendall L.D., Young J.M., 2003.** Changing concepts in the systematics of bacterial nitrogen-fixing legume symbionts. *J. Gen. Appl. Microbiol.* **49**, 155-179.
- Schmidt, 1926b In Crosaz Y., 1995.** Chapitre 2. Propriétés germinatives des semences. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00008567/file/D_chap_1_2.pdf
- Schmeisser C., Liesegang H., Krysciak D., Bakkou N., Le Quéré A., Wollherr A., Heinemeyer B., Pommerening-Röser A., Flores M., Palacios R., Brenner S., Gottschalk G., Schmitz R.A., Broughton W.J., Perret X., Strittmatter A.W., Streit W.R., 2009.** *Rhizobium* sp. Strain NGR234 Possesses a Remarkable Number of Secretion Systems. *Appl. Environ. Microbiol.* **75** (12): 4035–4045
- Schneider A., Huyghe C., 2015.** Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. ed Quae 47.
- Schwenche J., 1991.** Rapid, exponential growth and increased biomass yield of some Frankia strains in buffered and stirred mineral medium (BAP) with phosphatidylcholine. *Plant Soil* **137**: 37-41.
- Seklani H, Hassen H, 1990.** Contribution à l'étude des espèces spontanées du genre *Medicago* en Tunisie. *Annales de l'INRAT* vol 63, Fasc. 20, p : 1-15.
- Shelton H.M., 2000.** Légumineuses fourragères tropicales dans les systèmes d'agroforesterie. *Unasylva* (FAO) N° 200, Vol. 51, 25-32.
- Shen-Miller J., Mudgett M.B., Schopf J.W., Clarke S., Berger R., 1995.** Exceptional seed longevity and robust growth: ancient Sacred Lotus from China. *American Journal of Botany*, **82**: 1367-1380.
- Shen, Z.-X., D.J. Parrish, D.D. Wolf, and G.E. Welbaum. 2001.** Stratification in switchgrass seeds is reversed and hastened by drying. *Crop Sci.* **41**:1546–1551.
- Shields A., 2015.** La consommation de viande menace la planète. *Journal le devoir*. 17 août 2015.
- Silbury J.H., Adem L., Baghurst P., Carter E.D., 1979.** A quantitative examination of the growth of swards of *Medicago truncatula* Jemalong. *Aus J Agric Res*, **53**-63.
- Si Ziani Y., 2012.** Essai de trois variétés de luzernes françaises dans différentes zones agro-écologiques algériennes. Séminaire national sur le développement de la luzerne dans la wilaya de Biskra Mai 2012. Communication ITEL V.
- Small E., Jomphe M., 1989.** A synopsis of the genus *Medicago* (Leguminosae). *Can J Bot* **67**, 3260-3294.
- Smith S.E., Jajobson I., Groulund M., Smith F.A., 2011.** Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Phosphorus Nutrition: Interactions between Pathways of Phosphorus Uptake in Arbuscular Mycorrhizal Roots Have Important Implications for Understanding and Manipulating Plant Phosphorus Acquisition. *Plant Physiol* , **V156** (3).
- Smith J.L., Collins H.P., Bailey V.L., 2010.** The effect of young biochar on soil respiration. *Soil Biology and Biochemistry*, **42**: 2345-2347.
- Soltis D.E., Soltis P.S., Morgan D.R., Swensen S.M., Mullin B.C., Dowd J.M., Martin P.G, 1995.** Chloroplast gene sequence data suggest a single origin of the predisposition for symbiotic nitrogen fixation in angiosperms. *Proc Natl Acad Sci USA*, **92**, 2647-2651.
- Sophie A V et Gastal F, 2015.** Nutrition azotée et fonctionnement agrophysiologique spécifique des légumineuses. Editions Quae, Versailles (France) .512 p.
- Sprent J.I., Parsons R., 2000.** Nitrogen fixation in legume and non-legume trees. *Field Crops Research* **65**:183–196.
- Stacey G., Libault M., Brechenmacher L., Wan J.D., May G., 2006.** Genetics and functional genomics of legume nodulation : Current opinions. *Plant Biology* **9**: 110–121

- Steffens B., Wang J., Sauter M., 2006.** Interactions between ethylene, gibberellin and abscisic acid regulate emergence and growth rate of adventitious roots in deepwater rice. *Planta*, 223: 604-612.
- Stern M.D., Bath A., Calsanigha S., 1997.** Alternative techniques for measuring nutrient digestion in ruminants. *J of Animal Sc* 75, 2256-2276.
- Sultan-Tubeileh K ,2001.** Etude du comportement hivernal d'associations : luzerne annuelles-rhizobium en régions méditerranéennes. Elaboration de la matière sèche et fixation d'azote. Thèse de Doctorat, Université de Nancy ENSAIA-INPL, 167p.
- Suttie J.M., 2004.** Conservation du foin et de la paille pour les petits paysans et les pasteurs. Collection FAO, production végétale et protection des plantes N° 29. En ligne : <http://www.fao.org/docrep/008/x7660f/x7660f0a.htm>
- Takhtajan A.L., 1954.** Quelques problèmes de la morphologie évolutive des angiospermes. *Ac. Sc. URSS, Soc Bot. URSS. Essais de Bot.*, 2, 779-793.
- Teuber L.R., Taggard K.L., Gibbs M., McCaslin H., Peterson M.A., Barnes D.K., 1998.** Fall Dormancy. En ligne : <http://www.naaic.org/stdtests/dormacy2.pdf>.
- Thiébeau P., Parnaudeau V, Guy P., 2003.** Quel avenir pour la luzerne en France et en Europe? *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 49 : 29-46.
- Thiébeau P., Beaudoin N., Justes E., Allirand J.M., Lemaire G., 2011.** Radiation use efficiency and Shootoot dry matter partitioning in seeding growth of lucerne (*Medicago sativa* L) after spring and autumn sowings. *Eutop.J.Agron.*, 35, 255-268.
- Tilley J.M., Terry R.A., 1963.** A two –stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Brit. Grassl. Soc.* 18, 104-111.
- Tourte Y., 1988.** Génie génétique et biotechnologie : Concepts et méthodes application à l'agronomie et aux industries. Dunod, Paris 205p.
- Trabut V.L., 1914.** Le *Medicago sativa* L. et le *Phalaris stenoptera* Hackel dans le Nord de l'Afrique. Leur origine hybride, *Bulletin de la Société Botanique de France*, 61:5, XXX-XXXIV, DOI: 10.1080/00378941.1914.10832609. En ligne : <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00378941.1914.10832609>.
- Trabut V.L., 1923.** Le melilot comme engrais vert (Bulletin Agricole de l'Algérie –Tunisie-Maroc). Alger 29^{ième} année N°5.
- Trabut V.L., 1935.** Répertoire des noms indigènes des plantes spontanées, cultivées et utilisées dans l'Afrique du nord (Alger La Typo-litho et Carbonel).335p
- Trabut V.L., Marès R., 1906.** L'Algérie Agricole en 1906 (Savoirs Et Traditions) 544p. Réédition, Hachette Paris, 2013.
- Trinchant J.C., Drevon J.J., Rigaud J., 1997.** Fixation symbiotique de l'azote In : Assimilation de l'azote chez les plantes: Aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Coord : JF Morot-Gaudy Edit. Quae Versailles France, 420 p.
- UNESCO, 1960.** Les plantes médicinales des régions arides. Paris, 97p.
- Van Soest P.J., Wine R.H., 1963.** Use of detergent in analysis fibrous feed. *An of Agr ch.*, 466-829.
- Van Swinderen H., 1973.** Développement et aménagement forestiers. Algérie-FAO-FO : SF/ALG/68/515
- Varel V.H., Kreikemeier K., 1995.** Comparison of *in vitro* and *in situ* digestibility methods. *J. Anim. Sci.* 73: 578. 17.

- Vernié T., 2008.** Analyse fonctionnelle d'EFD, un régulateur transcriptionnel de la nodulation au cours de l'interaction symbiotique entre *Medicago truncatula* et *Sinorhizobium meliloti*. Thèse de doctorat. Université Toulouse III-Paul Sabatier, Toulouse, 263 p.
- Villax E.J., 1963.** Les cultures fourragères méditerranéennes occidentales. I.N.R.A. Rabat. 75p.
- Villeneuve J., 1991.** Influence des hautes températures sur la germination des graines de six espèces de conifères du Québec Mémoire de Maîtrise. Université du Québec, 71p
- Villenave-Chasset J., 2014.** Notes sur les abeilles et autres pollinisateurs sauvages collectés sur fleurs de luzernes cultivées en multiplication de semences dans les Pays-de-la-Loire, le Poitou-Charentes, le Gers et la Drôme en 2013
- Vincent J.M., 1974.** Root-Nodule symbioses with rhizobium, in Biological nitrogen fixation (A.Quispel ed), North-Holland .
- Voisin A.S., Gastal F., 2015.** Nutrition azotée et fonctionnement agrophysiologique spécifique des légumineuses. Editions Quae, Versailles (France). 512 p.
- Voisin A.S., Munier-Jolain N.G., Salon C., 2010.** The nodulation process is tightly linked to plant growth. An analysis using environmentally and genetically induced variation of nodule number and biomass in pea. *Plant and Soil* 337, 399-412.
- Voisin A.S., Salon C., Munier-Jolain N.G., Ney B., 2002.** Quantitative effect of soil nitrate, growth potential and phenology on symbiotic nitrogen fixation of pea (*Pisum sativum* L.). *Plant and Soil* 243, 31-42.
- Vora R.S., 1989.** Seed germination characteristics of selected native plants of the Low Rio Grande Valley, Texas. *J. Range Manage.*, 42(1), 36-40.
- Waligora C., 2009.** L'azote symbiotique, réelle alternative à l'azote minéral. Techniques culturales simplifiées, 54p
- Walters C.T., Wheeler L.J., Grotenhuis J.A., 2005b.** Longevity of seeds stored in a genebank: Species characteristics. *Seed Sci Res*, 15: 1-20.
- Wang D., Yang S., Tang F., Zhu H., 2012.** Symbiosis specificity in the legume: rhizobial mutualism. *Cellular Microbiology* 14: 334-342.
- Wang D., Griffiths J., Starker C., Fedorova E., Limpens E., Ivanov S., Bisseling T., Long S., 2010.** A nodule-specific protein secretory pathway required for nitrogen-fixing symbiosis. *Science* 327:1126-1129.
- Werner D., Newton W.E., 2005.** Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology, and the environment. Springer Publication. Xiao T, Yang Q, Ran W, XU G, Shen Q (2010). Effect of Inoculation.
- Witte H., 1934.** Some international investigations regarding hand leguminous seeds and their value. *Prod. int .Seed Test .Ass.*6,273-310.
- Whyte R.O., Nilson-Leisner G., Trumble H.C., 1955.** Les légumineuses en Agriculture. O.N.U pour l'agriculture. Rome, Italie. 429p.
- Wojtyla L., Garnczarska M., Zalewski T., Bednarski W., Ratajczak L., Jurga S., 2006.** A comparative study of water distribution, free radical production and activation of antioxidative metabolism in germinating pea seeds. *Journal of Plant Physiology* 163: 1207-1220.
- Yahioui A., 2011.** Capital nutritionnel pour *Ovis aries* de différents supports alimentaires en zones agro-pastorales de l'ouest Algérien. These doctorat ENSA. 130p.
- Young J.E., Klosko J.S., Weishaar M.E., 2003.** Schema therapy: A practitioner's guide. New York: Guilford Press.

- Young J.P.W, Haukka K.E., 1996.** Diversity and phylogeny of rhizobia. *New Phytol.* **133**, 87-94.
- Zahour A., 1992.** Éléments d'amélioration génétique des plantes : professeur à l'institut agronomique et vétérinaire Hassan(Rabat). Edi Actes 230p.
- Zeghida A., 1986.** Possibilités et limites du matériel végétal d'introduction résultats d'expérimentations des écotypes locaux. *Revue Céréaliculture*, n°16 : 58-62.
- Zeghida A., 1987.** La rotation céréale-*Medicago* dans les zones à vocation céréale-élevage *Revue céréaliculture*, n°16 : 52-56.
- Zhu H., Choi H.K., Cook D.R., Shoemaker R.C., 2005.** Bridging model and crop legumes through comparative genomics. *Plant Physiol.*, 137, 1189-1196.
- Zhu H., Kim D.J., Baek J.M., Choi H.K., Ellis L.C.L., Küester H., McCombie W.R., Peng H.M., Cook D.R., 2003.** Syntenic relationships between *Medicago truncatula* and *Arabidopsis* reveal extensive divergence of genome organization. *Plant Physiology*. 131: 1018-1026.

ANNEXE



ANNEXE 1 : Description des systèmes d'élevage dans le monde (FAO, 1999)

Types	Description des systèmes	Régions concernés
LL	Système de production intensive utilisant peu de terre. Dans ce système, plus de 90% de la MS ingérée par le bétail n'est pas produit dans la ferme. Pour le ruminant, la charge à l'hectare est supérieure à 10 UGB par an	Pays développés : 50% de la production ; Asie 20% ; Europe de l'est 15%
LLM	Sous-système de production exploitant de façon industrielle les monogastriques : porc et poulet	OCDE plus de 50%, Asie 30% Amérique latine 15%
LLR	Système très intensif de production de bovin et ovin : viande et lait utilisant des races spécialisées à haut rendement	USA Europe de l'est, Asie, OCDE
LGT	Système intensif à forte utilisation de prairie exploitant des bovins plus particulièrement les vaches laitières. En zones tempérées, en hiver la pousse de l'herbe est entravée par les basses températures.	Surtout les continents : zones tempérées : Europe ; Tropicales : USA, Amérique latine, Asie, Australie, NZ
LGH	Le système à prairie pour gros ruminants où le pâturage dans les régions concernées a plus de 180 jours de la période de végétation. Se concentre d'avantage dans les zones subhumides. Objectif : lait, viande, 190 millions de têtes sont concernées	Amérique latine : Colombie, Mexique, Venezuela, Brésil. Peu en Afrique (trypanosomiase)
LGA	Le système basé dans les régions tropicales et subtropicales d'une période de croissance de la végétation de moins de 180 jours, et où le pâturage des ruminants est la forme dominante d'utilisation des terres. LGA constitue une façon traditionnelle de subsistance pour une partie importante de la population. Avec la croissance démographique, le LGA tend vers le MRA	Afrique sub-saharienne ; Proche-Orient et en Afrique du Nord, ouest des USA, Australie, Afrique Australe
MRT	Système combinant culture et élevage ; les cultures contribuant pour au moins 10 pour cent de la valeur totale de la production agricole. MRT, c'est 39% de la production de viande bovine, 24 % pour le mouton et 63% pour le lait de vache.	Amérique, Europe et Asie du Nord au Nord du 30° parallèle
MRH	Système d'exploitations mixtes dans les régions à température et humidité élevées. Les races de ruminants y sont bien adaptés l'élevage a un rôle multiple : transport, traction, fumiers. MRH concerne 14% de la population mondiale, Plus de 40% en Afrique.	Pays en développement, partie sud des USA
MRA	Système caractérisé par une période de croissance de la végétation à moins de 180 jours. Faible productivité de la terre résultant d'une faible pluviométrie. Système où prédominent les petits ruminants	Asie de l'ouest, Afrique du Nord, région du Sahel, Inde, Thaïlande, ouest de l'Indonésie
MIT	Système de production intensive caractérisé par une croissance limitée de la végétation pendant la période froide et un déficit hydrique en période chaude, l'irrigation y est très développée	Europe méditerranéenne, Corée, Japon, Chine
MIH	Système mixte dans les régions tropicales et subtropicales où la croissance des plantes est de plus de 180 jours, et dans laquelle l'irrigation des cultures est importante. 1 milliard de personnes sont concernées : riz, monogastrique principalement	97 % en Asie
MIA	Système mixte de régions arides et semi-arides, où l'irrigation est possible. Les parcours sont disponibles en plus des terres irriguées. Les cultures sont les ressources principales du système et l'élevage des petits ruminants, dominant.	Proche-Orient, Asie du Sud, Afrique du Nord, ouest des États-Unis et le Mexique, Israël.

ANNEXE 2 : Les systèmes d'élevage algériens dans la nomenclature mondiale de la FAO

	Description des systèmes selon la FAO	Correspondance possible en Algérie
LL	Système de production intensive utilisant peu de terre. Dans ce système, plus de 90% de la MS ingérée par le bétail n'est pas produit dans la ferme. Pour le ruminant, la charge à l'hectare est supérieure à 10 UGB par an	Système inconnu
LLR	Système très intensif de production de bovin et ovin : viande et lait utilisant des races spécialisées à haut rendement	Peu développé
LGT	Système intensif à forte utilisation de prairie exploitant des bovins plus particulièrement les vaches laitières. En hiver la pousse de l'herbe est entravée par les basses températures.	Système inconnu
LGH	Système à prairie pour gros ruminants où le pâturage dans l'année est concerné pour plus de 180 jours Se concentre d'avantage dans les zones subhumides. Objectif : lait, viande.	Peu développé
LGA	Le système basé dans les régions tropicales et subtropicales d'une période de croissance de la végétation de moins de 180 jours, et où le pâturage des ruminants est la forme dominante d'utilisation des terres. LGA constitue une façon traditionnelle de subsistance pour une partie importante de la population. Avec la croissance démographique, le LGA tend vers le MRA	Algérie du Nord, parcours d'altitude et les plaines. Fournit 78% de la production de viande bovine et 40 de celle de lait.
MRT	Système combinant culture et élevage ; les cultures contribuant pour au moins 10 pour cent de la valeur totale de la production agricole.	Peu visible, hauts plateaux, éventuellement
MRH	Système d'exploitations mixtes dans les régions à température et humidité élevées. Les races de ruminants y sont bien adaptées l'élevage a un rôle multiple : transport, traction, fumiers.	Hauts plateaux
MRA	Système caractérisé par une période de croissance de la végétation d'une durée de moins de 180 jours. Faible productivité de la terre résultant d'une faible pluviométrie. Système où prédominent les petits ruminants, notamment caprins	Sahara central
MIT	Système de production intensive caractérisé par une croissance limitée de la végétation pendant la période froide et un déficit hydrique en période chaude, l'irrigation y est très développée	Inconnu
MIH	Système mixte dans les régions tropicales et subtropicales où la croissance des plantes a une durée de plus de 180 jours, et dans laquelle l'irrigation des cultures est importante.	Inconnu
MIA	Système mixte de régions arides et semi-arides, où l'irrigation est possible. Les parcours sont disponibles en plus des terres irriguées. Les cultures sont les ressources principales du système et l'élevage des petits ruminants, dominant.	Hauts plateaux

ANNEXE 3. Synthèse des années 2013+2015 des paramètres déterminant la production de semences

	Pop.	Poids 50 gousses (g)	Poids semence 50 gousses (g)	Rd gousses g/m²	Rd semence g/m²
<i>M. ciliaris</i>	C2	14,27	3,07	703,50	140,87
	C58	10.89	3.34	876.46	251.87
	S5	14,29	2,90	963,84	180,74
	C52	12,26	2,17	1358,22	238,32
	C204	15.55	3,85	985,73	202,74
	S3	13,95	3,71	1218,95	328,92
	S15	9,64	2,89	142,54	42,27
	S7	15,61	3,84	425,67	425,67
<i>M. truncatula</i>	C11	12,98	3,42	241,20	60,70
	Tr238	5,26	1,15	287,31	141,57
	Tr334	4,57	0,97	294,65	46,16
	Tr55	4,60	0,71	881,78	206,17
	Tr407	2,66	0,57	291,06	61,93
	Tr27	4,18	0,74	1057,78	185,92
	Tr221	1.52	0.74	90.67	26.37
<i>M. intertexta</i>	Tr201	6,43	1,56	170,80	41,42
	I11	20,81	4,25	1446,40	296,11
	I31	17,25	3,92	1071,98	226,54
	I52	23,67	20,84	1493,06	284,40
	I253	25.40	5.54	2849.78	620.54
	I755	13,46	3,18	86,13	20,73
	I107	20,32	4,85	1960,43	485,98
	I756	19,28	5,02	310,84	406,64
Nbre populations	23				
Jemalong : Témoin 1	CV	1,992	0.473	172.4	207.59
<i>M. muricoleptis</i> T2	Aus	3.95	1.38	564.33	207.59
Population totale	25	-	-	-	-
Moy 2015		11,70	4,53	234,14	70,88
ET 2015		5,92	7,72	110,63	86,82
CV 2015		0,51	1,70	0,47	1,22
Moy 2013		12,53	2,68	1428,59	449,26
ET 2013		8,58	1,88	1014,43	512,68
CV 2013		0,68	0,70	0,71	1,14
Moy.2013+2015		10,88	3,14	758,81	200,98
ET		7,20	3,80	650,70	155,06
CV		0,66	1,21	0,86	0,77
RSE		2,501	3,212	579,9	136,50
R²		0,897	0,393	0,323	0,365
P		0,001	0,0178	0,052	0,028

Rm. Les témoins ne sont pas pris en compte dans l'analyse de variance. Le cultivar Jemalong : est une *M. truncatula* acclimatée en Australie ; Pop. Aus 106 est une population de *M. muricoleptis* d'origine turque.

ANNEXE 4 : Valeurs des paramètres déterminant la production de matière sèche

Année	Pop	Nombre plants	%de viabilité	Nombre tiges / m ²	Largeur cm	MV	MS g/m ²	F/T Sec
2013	S5	21,5	26,88	950	43,93	2926,67	401,12	1,51
2013	C2	23,17	28,96	1166,67	59,76	5056,67	574,25	1,38
2013	S3	19,17	23,96	996,67	53,08	3233,33	451,95	1,37
2013	C204	17	21,25	746,67	49,89	3670	567,9	1,73
2013	C58	18,67	23,33	1125	35,94	3050	367,33	1,68
Moy. Pop		19,90	24,88	997,00	48,52	3587,33	472,51	1,53
2013	Tr238	5,50	20,6	410	10,53	1392,08	41,27	2,70
2013	Tr334	29,67	37,08	1610	22,83	2123,33	469,40	2,25
2013	Tr27	25,83	32,29	1340	32,11	1674,2	247,17	2,27
Moy. Pop		20,33	29,99	1120	21,82	1729,87	252,61	2,41
2013	I253	22,50	28,13	1030	63,71	6545,00	849,77	1,42
2013	I756	24,50	30,63	958,33	60,69	4920,00	706,67	1,39
2013	I107	24,83	31,04	1116,67	54,15	6630,00	610,57	1,09
2013	I11	10,67	20	1036,67	50,51	6593,33	622,28	1,31
2013	I31	26,33	32,92	1268,33	50,23	5826,67	798,38	0
2013	I52	27,33	34,17	975	62,02	6730,00	920,43	1,17
Moy. Pop		22,69	29,48	1064,17	56,89	6207,50	751,35	1,06
Moy. 2013	-	21,19	27,95	1052,14	46,38	4312,23	544,89	1,52
ET	-	6,64	5,43	277,08	15,78	1960,98	239,38	0,64
CV	-	0,31	0,19	0,26	0,34	0,45	0,44	0,42
2015	S5	17,67	22,08	209,33	18,00	160,00	53,79	11,33
2015	C2	25,00	31,25	244,00	19,50	129,61	27,25	4,02
2015	S3	11,00	13,75	156,00	20,00	80,00	32,00	5,00
2015	C204	14,00	17,50	136,00	23,00	158,04	33,00	3,64
2015	C58	13,67	18,12	189,33	20,33	252,87	91,57	2,33
Moy. Pop		16,27	20,54	186,93	20,17	156,10	51,40	5,26
2015	Tr238	19,00	23,75	312,00	18,50	256,54	74,06	2,81
2015	Tr334	14,50	18,13	209,33	13,00	80,00	51,72	1,03
2015	Tr27	7,00	18,50	172,00	19,00	140,00	36,00	1,28
Moy. Pop		13,50	20,13	231,11	16,83	158,85	53,93	1,71
2015	I253	28,00	35,00	420,00	38,33	1072,00	196,00	2,07
2015	I756	23,67	23,88	353,33	36,00	749,33	141,33	1,94
2015	I107	15,00	25,79	314,67	40,67	942,67	174,67	1,66
2015	I11	21,67	27,08	332,00	27,00	41,50	166,00	2,53
2015	I31	18,50	25,00	290,00	28,33	113,33	453,33	1,32
2015	I52	21,67	27,08	420,00	44,00	1277,06	260,00	1,11
Moy. Pop		21,42	27,31	355,00	35,72	699,32	231,89	1,77
Moy. 2015	-	17,88	23,35	268,43	26,12	389,50	135,29	3,01
ET	-	5,79	5,83	94,06	9,83	425,20	120,48	2,67
CV	-	0,32	0,25	0,35	0,38	1,09	0,89	0,89
Moy. 2013+0.15	-	19,54	25,65	660,29	36,25	2350,87	347,67	2,26
ET	-	6,34	6,00	447,73	16,52	2434,75	280,80	2,05
CV	-	0,32	0,23	0,68	0,46	1,03	0,81	0,91
RSE	-	6,22	5,63	206,9	13,14	14,9	189,0	1,94
R2	-	0,07	0,15	0,79	0,39	0,67	0,57	0,14
P	-	0,17	0,04	0,00000	0,0004	0,00000	0,00000	0,052
Jemalong : T	CV	6.5	8.0	0	0	0	0	0
M. muricolepsis T	Aus	26,33	32,92	1300	41,2	3626,67	534,57	1,44

Pop : population ; T : témoins. Le témoin Jemalong est un cultivar Australien de *M. Truncatula* ; *M. muricolepsis* espèce d'origine Turque ; Moy. : Moyenne

ANNEXE 5 : Valeurs des paramètres déterminant la production de semences

Année	Pop	Poids de 50 gousses	Poids semence de 50 gousses	Rd en gousses g/m ²	Rd en semences g/m ²
2013	C204	14,02	2,86	1808	359,23
2013	S5	16,46	2,92	1672,89	297,77
2013	C2	14,92	2,75	1061,33	194,74
2013	S3	14,62	3,85	2192	591,56
2013	C58	12,07	3,93	1360	445,99
Moy. Pop		14,42	3,26	1618,84	377,86
2013	Tr334	4,15	0,54	476	60,37
2013	Tr238	4,66	0,79	327,11	217,89
2013	Tr27	4,18	0,74	1057,78	185,92
Moy. Pop		4,33	0,69	620,30	154,73
2013	I11	23,81	4,81	2428,44	495,15
2013	I756	20,8	5,25	3000,89	727,12
2013	I107	22,38	5,47	3637,33	900,38
2013	I253	25,4	5,54	2849,78	620,64
2013	I31	17,98	3,81	1946,67	403,04
2013	I52	25,82	4,88	2810,67	563,1
Moy. Pop		22,70	4,96	2778,96	618,24
Moy. 2013	-	15,00	3,26	1804,25	412,22
ET	-	7,57	1,76	984,28	234,33
CV	-	0,48	0,51	0,52	0,54
2015	S5	12,13	2,98	254,8	63,72
2015	C2	13,63	3,39	345,8	87,01
2015	S3	13,28	3,58	245,9	66,29
2015	C204	17,08	4,85	163,47	46,25
2015	C58	9,71	2,74	392,93	57,75
Moy. Pop		13,17	3,51	280,58	64,20
2015	Tr238	5,87	1,52	247,51	65,25
2015	Tr334	4,99	1,4	113,3	31,96
2015	Tr27	5,43	1,46	1.80.40	48.60
Moy. Pop		5,43	1,46	180,41	48,61
2015	I253	13,46	3,18	86,13	20,73
2015	I756	17,77	4,79	320,8	86,17
2015	I107	18,27	4,24	283,53	71,56
2015	I11	17,82	3,7	464,36	97,07
2015	I31	16,53	4,02	197,3	50,03
2015	I52	21,53	3,68	175,45	5,70
Moy. Pop		17,56	3,94	254,60	55,21
Moy. 2015	-	12,88	3,16	250,15	57,49
ET	-	5,25	1,14	109,15	26,62
CV	-	0,39	0,35	0,43	0,46
Moy. 013+015	-	14,60	3,35	1108,15	252,31
ET	-	6,51	1,46	1093,06	253,61
CV	-	0,44	0,44	0,99	1,01
RSE	-	6,51	1,48	700,0	166,7
R2	-	0,04	0,004	0,60	0,58
P	-	0,33	0,74	0,0006	0,0006
T Jemalong	CV	0	0	0	0

T : témoins. Le témoin Jemalong est un cultivar Australien de *M. Truncatula* ; Moy. : Moyenne.

ANNEXE 6 : Digestibilité (%) comparative des populations de luzerne pour chaque essai

Espèces	Pop.	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Moy. 4 essais	Moy. Par espèces
<i>M. ciliaris</i>	C2	75,47	80,65	75,67	70,08	78,73	77,54
		87,59	83,02	75,37	70,08		
	C58	76,41	71,16	79,92	87,11	77,20	
		69,18	75,98	80,03	77,87		
	S5	85,94	66,99	77,32	77,34	76,70	
		73,34	66,99	71,81	83,95		
<i>M. truncatula</i>	Tr238	75,54	70,79	74,34	81,50	69,94	73,32
		64,34	60,24	65,71	67,07		
	Tr334	79,87	78,41	78,13	83,07	76,70	
		77,28	68,67	69,20	82,00		
<i>M. intertexta</i>	I11	74,21	65,89	73,86	82,87	74,05	74,90
		73,88	69,03	75,05	77,58		
	I31	74,49	70,67	76,20	79,59	76,36	
		77,19	75,2	76,20	80,16		
	I52	78,64	78,55	77,62	79,74	76,35	
		74,06	72,24	71,53	78,41		
	I253	79,54	77,18	82,18	79,25	76,42	
		64,50	77,18	73,53	81,90		
	I58	70,00	65,58	73,97	80,26	74,55	
		77,34	86,03	68,28	77,74		
	I107	69,40	66,75	71,76	81,70	70,80	
		68,68	63,64	64,42	77,97		
I756	85,74	76,19	75,31	79,94	75,80		
	60,68	75,93	75,37	77,88			
	Moy. ± ET	74,72 6,7	72,62 6,49	74,28 4,32	78,96 4,52	75,3 2,60	75,17 2,34
	CV	0,09	0,09	0,06	0,06	0,034	0,03
	RSE	7.71	5.53	4.0	4.08	-	-
	R²	0.31	0.62	0.55	0.57	-	-
	P	0.50	0.16	0.31	0.26	-	-

ANNEXE 7 : Tableau ACP de données des paramètres biométriques déterminant la digestibilité

Population	Div	Lig	MAT	GT	NT	F/T	LT
C2 (1)	78,75	2,59	24,81	1,95	244,0	4,02	27,2
C58 (2)	77,20	3,71	27,77	2,03	189,3	2,33	91,6
S5 (3)	75,46	3,33	29,34	1,80	209,3	5,3	53,8
Tr238(4)	69,94	3,70	26,95	1,85	312,0	2,81	74,1
Tr334 (5)	76,75	3,16	22,52	1,30	209,3	1,03	51,7
I11 (6)	74,04	3,37	21,92	2,70	332,0	2,53	166,0
I31 (7)	76,33	4,28	22,85	2,83	290,0	1,32	453,3
I52 (8)	76,34	4,84	23,49	4,40	420,0	1,11	260,0
I253 (9)	75,02	9,09	21,65	3,83	420,0	2,07	196,0
I58 (10)	73,98	2,65	23,93	2,96	248,0	1,55	117,3
I107 (11)	70,63	4,19	20,37	4,07	314,7	1,66	174,6
I756 (12)	75,88	6,70	25,11	3,60	353,3	1,94	141,3
Triade (13)	59,98	9,36	16,26	2,15	142,12	0,80	447,8

GT : Grosseur des tiges

ANNEXE 8. Poids des variables dans la construction des axes

Composantes	Eigen value	% of variance	Cumul % of variance
Composante 1	3,19277856	45,6111223	45,6111223
Composante 2	1,87635056	26,8050079	72,4161303
Composante 3	0,78268137	11,1811624	83,5972926
Composante 4	0,4228039	6,04005569	89,6373483
Composante 5	0,37216131	5,31659015	94,9539385
Composante 6	0,19942448	2,84892108	97,8028595
Composante 7	0,15379983	2,19714045	100

ANNEXE 9. Contribution des variables à la formation des principaux axes

	Composante 1	Composante 2	Composante 3	Composante 4	Composante 5
Div	12,6037832	19,2462612	5,37182593	4,93842754	33,6989664
Lig	17,7807296	0,22809292	28,3092887	18,7476987	33,3906552
MAT	23,8260824	2,26182754	6,42942719	0,2083274	8,06222515
GT	8,76663909	31,2705432	2,54124108	1,44493065	9,62486713
NT	1,77547308	44,7744297	1,72659637	1,41006022	2,20647128
FT	14,4087749	1,17647038	55,0637874	7,72864561	6,86677399
LT	20,8385179	1,04237502	0,55783341	65,5219099	6,15004091

ANNEXE 10. Tableaux des vecteurs propres

	Composante 1	Composante 2	Composante 3	Composante 4	Composante 5
Div	-0,6343586	0,60093871	-0,2050470	0,14449866	0,35413912
Lig	0,75345824	-0,0654203	0,47071385	-0,2815421	0,35251539
MAT	-0,8721892	0,20600926	0,2243255	0,02967855	0,17321802
GT	0,52905517	0,76599283	0,14103127	0,07816152	-0,1892618
NT	0,23809016	0,91658347	0,11624865	-0,0772126	-0,0906180
FT	-0,6782626	-0,1485756	0,6564861	0,18076785	-0,1598608
LT	0,81567624	-0,1398521	0,06607615	0,52633562	0,15128805

ANNEXE 11 .Contribution des individus (populations) de luzerne à la formation des axes

		Composante 1	Composante 2	Composante 3	Composante 4	Composante 5
C2	1	9,40694879	0,10296018	3,24779849	0,17445394	0,05241006
C58	2	5,34299248	1,42461062	0,6621966	1,17274398	22,3351349
S5	3	26,6017379	3,81855481	43,8589384	7,04557271	2,28866855
Tr238	4	2,39420732	0,68518697	0,06237356	8,02187899	4,13755696
Tr334	5	2,99315883	4,29924873	22,2498579	5,27512743	2,83546703
I11	6	0,00225817	0,51918612	1,98770941	0,31766162	6,90893046
I31	7	2,50934229	0,10737481	2,38490938	56,3077746	10,6020328
I52	8	2,9285181	21,9021718	7,97E-05	4,15402698	0,53449221
I253	9	7,562054	11,6036786	11,9266613	12,1751164	7,94157497
I58	10	0,56750722	0,00041086	7,26136356	0,0591129	5,79586718
I107	11	3,6788495	1,68352157	0,55073944	0,06018531	31,4469652
I756	12	0,34050853	7,44960169	2,75723246	5,08985573	5,11803112
Triade	13	35,6719168	46,4034932	3,05013984	0,14648937	0,00286853

ANNEXE 12. Qualité de la représentation des individus sur les axes

	cos2. Axe.1	cos2 Axe .2	cos2. Axe.3	cos2 Axe.4	cos2. Axe.5
1	0,8486452	0,00545873	0,07182616	0,00208415	0,00055113
2	0,50853868	0,07968577	0,0154505	0,01478131	0,2477938
3	0,64937409	0,0547809	0,26245766	0,02277568	0,00651224
4	0,28145087	0,04733639	0,00179745	0,12487834	0,05669533
5	0,23385378	0,19740238	0,42614565	0,05457802	0,0258227
6	0,00090293	0,12200191	0,19483521	0,01682028	0,32201166
7	0,20711377	0,00520831	0,04825443	0,6154427	0,10200011
8	0,17705087	0,77818437	1,18E-06	0,0332575	0,00376664
9	0,36708563	0,33103086	0,14192624	0,0782656	0,04493623
10	0,15126448	6,44E-05	0,47446038	0,0020865	0,1800721
11	0,39936947	0,10740554	0,01465633	0,00086521	0,39792754
12	0,04908986	0,63116375	0,09744362	0,09717163	0,08600608
13	0,55977824	0,4279425	0,01173344	0,00030441	5,25E-06

ANNEXE 13 : Tableau ACP de données des paramètres biométriques déterminant la production de semences

Pop.	G g/m ²	S de 50 G (g)	S g/m ²	MV g/m ²	MS g/m ²	L (cm)	N T /m ²
C52	1358	2,17	238,3	3350	446,7	40,3	1165
C204	1808	2,86	359,2	3670	567,9	49,9	747
S5	1673	2,92	297,8	2927	401,1	43,9	950
C2	1061	2,75	194,7	5057	574,2	59,7	1167
S3	2192	3,85	591,6	3233	451,9	53,1	997
C58	1360	3,93	447,0	3050	367,3	35,9	1125
Aus106	944	1,60	359,1	3627	534,6	41,2	1300
Tr334	476	0,54	60,4	2123	469,4	22,8	1610
Tr55	882	0,71	206,2	1500	204,8	29,2	1128
Tr238	327	0,79	217,9	1392	41,3	10,5	410
Tr407	515	0,41	107,7	2015	227,2	17,5	870
Tr27	1058	0,74	185,9	1674	247,2	32,1	1340
Tr221	91	0,42	26,4	1852	216,8	21,1	580
I11	2428	4,81	495,1	6593	622,3	50,5	1037
I756	3002	5,25	727,2	4920	706,7	60,7	958
I107	3637	5,47	900,4	6630	610,6	54,1	1117
I253	2850	5,54	620,6	6545	849,8	63,7	1030
I31	1947	3,81	403,0	5827	798,4	50,2	1268
I52	2811	4,88	563,1	6730	920,4	62,2	975
Poly205	2536	4,74	528,9	6367	856,2	58,6	1091
Poly27	79	0,26	21,5	204	148,9	26,2	433

ANNEXE14. Poids des variables dans la construction des axes

Composantes	Eigen value	% of variance	Cumult % of variance
composante 1	5,37818197	76,831171	76,831171
composante 2	0,97586723	13,9409604	90,7721314
composante 3	0,3719576	5,31368005	96,0858114
composante 4	0,14560257	2,08003667	98,1658481
composante 5	0,05754474	0,82206774	98,9879158
composante 6	0,0410744	0,58677713	99,574693
composante 7	0,02977149	0,42530703	100

ANNEXE15. Contribution des variables à la construction des axes

	Axe.1	Axe.2	Axe.3	Axe.4	Axe.5
G g/m²	17,1046578	1,8720202	9,8226753	0,10833914	5,98433249
S de 50 G (g)	17,3125051	3,20584581	1,12615248	0,11314974	12,8263472
S g/m²	15,0141878	4,91644217	34,8550115	0,1590391	4,46695433
MV g/m²	16,6689298	0,06543392	8,62366452	34,9896027	23,3069765
MS g/m²	15,6397379	2,97509049	25,9985261	2,55629016	47,0085757
LT (cm)	16,1281198	0,00296613	9,90567296	61,9830447	5,50772371
N T /m²	2,13186169	86,9622013	9,66829715	0,09053441	0,8990901

ANNEXE 16. Valeur des corrélations entre variables et les axes principaux

	Axe.1	Axe.2	Axe.3	Axe.4	Axe.5
G g/m²	0,9591244	-0,13516076	0,19114442	0,01255964	-0,05868278
S de 50 G (g)	0,96493421	-0,17687509	0,06472102	-0,01283546	0,0859121
S g/m²	0,89860466	-0,21903869	0,3600637	-0,01521726	-0,05070007
MV g/m²	0,94682912	0,02526951	-0,17909879	-0,22571167	0,11580993
MS g/m²	0,91713334	0,17039053	-0,31097186	-0,06100839	-0,16447177
LT (cm)	0,93134292	0,00538011	-0,19195026	0,30041455	0,05629747
N T /m²	0,33860803	0,92121421	0,18963641	0,01148131	0,02274597

ANNEXE 17 :Contribution des individus à la formation des axes principaux

	Populations	Axe.1	Axe.2	Axe.3	Axe.4	Axe.5
1	C52	0,26441557	2,14732048	0,04357256	0,35855241	0,58866774
2	C204	0,06941414	3,61282493	3,48843242	3,95308456	5,6348452
3	S5	0,09670469	0,30660289	0,08367575	5,27060822	0,92294536
4	C2	0,16615204	3,23231475	16,1973932	7,41109987	34,6811067
5	S3	0,84596417	1,17842513	7,30412595	15,6682924	0,04831563
6	C58	0,01477365	0,0527704	8,64810273	0,07049032	7,59272919
7	Aus106	0,10969077	6,6648717	0,00048341	9,18E-05	1,97892515
8	Tr334	3,51145906	32,1111333	0,11362648	3,88206264	8,528385
9	Tr55	4,22101687	1,63575932	4,33793865	2,2654463	0,00217652
10	Tr238	10,8659921	16,6774787	1,89430754	12,9057253	0,2671563
11	Tr407	7,20972267	0,03081254	0,01245087	8,25144598	0,45204527
12	Tr27	3,037458	8,26935888	5,38175326	4,24508217	0,04715541
13	Tr221	9,45039811	4,02107686	5,40080138	2,92913406	0,21224006
14	I11	3,66753727	0,25954454	0,14867217	8,88285786	20,0188394
15	I756	6,78890504	3,03676474	2,70745803	4,84298594	6,63714546
16	I107	10,6599124	1,67234954	23,8045229	4,6793525	0,54013856
17	I253	9,44866302	0,5506936	1,60820525	0,01188369	0,11338599
18	I31	2,56998086	3,87445946	3,75012329	4,81938755	0,85724331
19	I52	8,47231151	0,57214887	7,26275309	1,05227088	7,21960171
20	Poly205	6,38109856	0,02472529	3,84127298	1,29421662	1,78636134
21	Poly27	12,1484295	10,0685641	3,97032806	7,20592892	1,8705907

ANNEXE 18 : Coordonnées des individus sur les axes principaux

	Pop.	Axe.1	Axe.2	Axe.3	Axe.4	Axe.5
1	C52	-0,5464757	0,66336636	-0,0583395	0,10470574	0,08434272
2	C204	0,2799957	-0,8604556	-0,5220012	0,347666	-0,2609476
3	S5	-0,3304845	-0,2506646	0,08084556	0,40144359	0,10560889
4	C2	0,43319181	0,81388273	-1,1248093	0,47603129	0,6473795
5	S3	0,97746987	-0,4914236	0,75533654	0,69215761	-0,0241633
6	C58	-0,1291728	0,10399207	0,82189585	-0,0464257	0,30290847
7	Aus106	-0,3519755	1,16869426	-0,0061448	0,00167549	-0,1546418
8	Tr334	-1,9914582	2,56526851	0,09420981	-0,3445287	-0,3210301
9	Tr55	-2,1834132	0,57898154	0,58210063	0,26319101	0,00512854
10	Tr238	-3,5031770	-1,8487160	0,38466406	-0,6281818	0,05681921
11	Tr407	-2,8535578	-0,0794637	0,03118575	-0,5022953	-0,0739100
12	Tr27	-1,8521772	1,30179001	0,64836305	0,36027756	0,02387142
13	Tr221	-3,2670249	-0,9077707	-0,6495094	-0,2992704	0,05064378
14	I11	2,03523546	-0,2306274	-0,1077633	-0,5211593	0,49184914
15	I756	2,76902745	-0,7888793	0,45987228	0,38481391	-0,2832064
16	I107	3,46979816	-0,5854213	1,36359723	-0,3782570	0,08079139
17	I253	3,26672498	-0,3359386	-0,3544272	-0,0190620	-0,0370162
18	I31	1,70369692	0,89106744	-0,5412266	-0,3838752	-0,1017804
19	I52	3,09334494	-0,3424203	-0,7531942	-0,1793733	-0,2953718
20	Poly205	2,68457239	0,0711829	-0,5477645	-0,1989287	-0,1469254
21	Poly27	-3,7041405	-1,4364442	-0,5568901	0,46939575	-0,1503494

ANNEXE 19: Qualité de la représentation des individus sur les axes (cos²)

	Populations	Axe.1	Axe.2	Axe.3	Axe.4	Axe.5
1	C52	0,37733422	0,5560211	0,00430041	0,01385241	0,00898834
2	C204	0,0604976	0,57133705	0,21027057	0,09327384	0,05254633
3	S5	0,24072392	0,13848514	0,01440553	0,35519428	0,02458204
4	C2	0,06667326	0,23535038	0,44952007	0,0805123	0,14890494
5	S3	0,42066393	0,10632626	0,25119414	0,21093008	0,00025706
6	C58	0,01347685	0,00873466	0,54560626	0,00174086	0,0741086
7	Aus106	0,06714113	0,74022818	2,05E-05	1,52E-06	0,01296039
8	Tr334	0,36619064	0,60761783	0,00081952	0,01096013	0,00951605
9	Tr55	0,85825281	0,06034938	0,06100136	0,01247055	4,74E-06
10	Tr238	0,75466098	0,21016875	0,00909894	0,02426602	0,00019853
11	Tr407	0,96549271	0,00074871	0,00011532	0,02991535	0,00064771
12	Tr27	0,59437764	0,29361569	0,07283396	0,02248909	9,87E-05
13	Tr221	0,88849928	0,06859692	0,03511746	0,00745555	0,0002135
14	I11	0,87116439	0,01118646	0,00244238	0,05712311	0,05087854
15	I756	0,87672643	0,07115915	0,02418155	0,01693211	0,00917098
16	I107	0,82828977	0,02357822	0,12792225	0,00984346	0,00044906
17	I253	0,97651184	0,01032696	0,01149494	3,33E-05	0,00012538
18	I31	0,6978339	0,19089236	0,07042481	0,03542808	0,00249056
19	I52	0,92171611	0,01129431	0,05464551	0,00309925	0,00840386
20	Poly205	0,95124662	0,0006688	0,03960325	0,00522322	0,00284929
21	Poly27	0,83951348	0,12624969	0,01897544	0,01348128	0,00138311

ANNEXE 20. Données climatiques à Alger (climat méditerranéen)

Mois	jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	juin.	août	sep.	oct.	nov.	déc.	année
Température minimale moyenne (°C)	5,9	6,4	7	9	12	15,6	18,5	19,1	17,1	13,7	9,6	7	11,7
Température moyenne (°C)	11,3	11,9	12,8	14,7	17,7	21,3	24,6	25,2	23,2	19,4	15,2	12,1	17,4
Température maximale moyenne (°C)	16,5	17,3	18,5	20,4	23,5	27	30,6	31,2	29,2	25,1	20,7	17,2	23,1
Précipitations (mm)	80	81,8	73,4	61,1	39,9	16,7	4,6	7,4	34,2	76	96,4	115,2	686,6
Nombre de jours avec précipitations	11,4	10,6	9,7	9,1	7,3	2,5	1,5	2,5	5,3	8,6	11,1	12,1	91,7

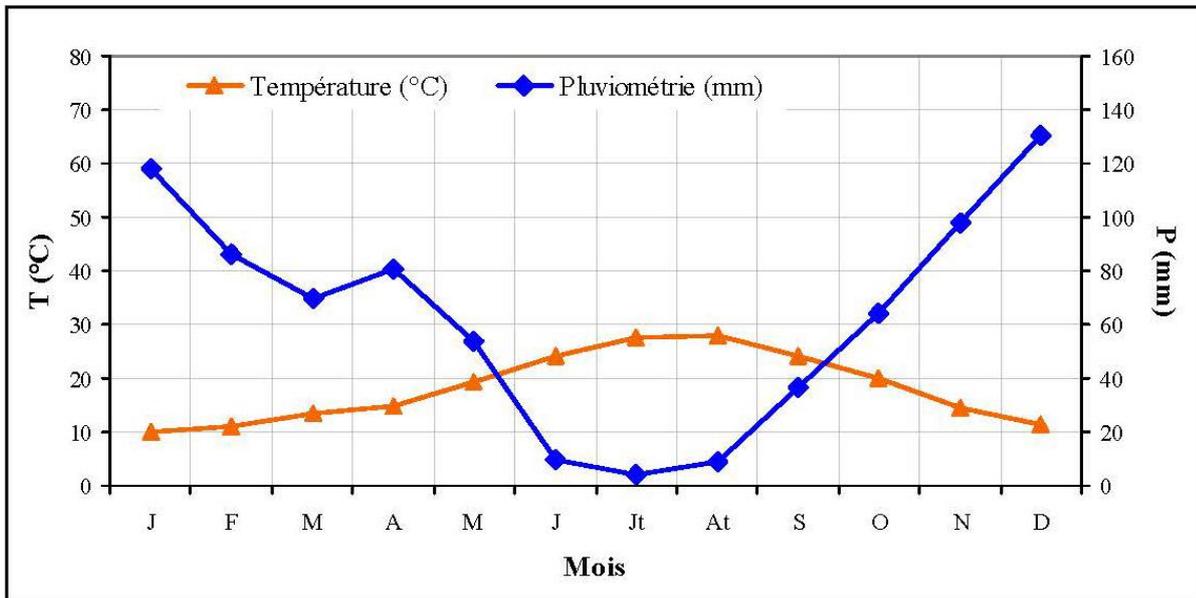


Diagramme ombrothermique

RESUME

Dans le but d'apporter notre contribution aux travaux initiés depuis quelques décennies dans le pays avec l'objectif d'aboutir à l'obtention de cultivars performants de *Medicago* annuel issus des populations de luzernes spontanées d'Algérie, nous avons étudiés quelques points d'une vingtaine de populations (Pop) de luzernes des espèces : *M.ciliaris* (Pop. : S5 ; S15 ; C2 ; S7 ; S3 ; C11 ; C204 ; C58) ; *M.intertexta* (Pop : I253 ; I756 ; I755 ; I107 ; I11 ; I58 ; I31 ; I52) ; *M.truncatula* (Pop. : Tr238 ; Tr334 ; Tr27 ; Tr407 ; Tr 201) ; *M.polymorphae* (Pop. : Poly205 ; Poly236 ; Poly 221 ; Poly 27 ; Poly 218) et accessoirement de *M.granadensis*, et *M.sativa*. Toutes les cultures sont conduites en pluviales. Les paramètres biométriques ont été mesurés au stade début floraison et des analyses chimiques : matières azotées (MAT), parois, matières minérales ont été réalisées lorsqu'elles s'avéraient nécessaires.

Les points étudiés, en ciblant des critères précis, sont de trois ordres :

1. Leurs caractéristiques phénologiques vues d'une part sous l'angle du développement végétatif : -- Nombre de plants/m² (NP/m²) - % de viabilité (%V) – Nombre de tiges/m² (NT//m²) – Hauteur (cm) des tiges (HT) – Production (/m²)de matière sèche (MS) – Rapport feuilles sur tiges (F/T) et d'autre part sous l'angle de la production de semences : --Poids (g) de 50 gousses (P50G) – Poids (g) de semences de 50 gousses (PS50G) – Rendement (g/m²)en gousses (RdG) – Rendement (g/m²)en semences (RdS)

2. Leur faculté germinative (G):--Après un stockage (STK) de 11 ans – Après un traitement de scarification par différentes méthodes : Trempage dans de l'eau bouillante pendant 4 mn (H₂O_b) ; Etuve à 200°C pendant 20 mn (ET200°) ; passage au congélateur pendant 60 mn (CG 60) ; trempage dans l'acide sulfurique concentré en une cinétique de 3 temps (H₂SO₄ : 180, 60 et 5 mn) ; trempage dans de l'azote liquide en une cinétique de 4 temps (AL : 37, 25, 15 et 5 mn) ; abrasion des téguments avec du papier sable (AT).

3. Recherche d'un *index* d'évaluation rapide de la digestibilité des luzernes (IDg) par des coupes histologiques qui sera soumis à validation par la méthode internationale de digestibilité *in vitro* (Div) de Tilley et Terry.

Il ressort que :

1. Le NP/m² (17) est faible il en découle un %V également faible (22%). Ce résultat s'explique en grande partie par la dormance des graines. Il n'y a pas de corrélation entre NP/m² et HT ni avec F/T. Par contre NP explique le NT et la quantité de MS produite tout comme la HT. Cette dernière est négativement corrélée avec F/T : plus HT est élevée plus le % de tiges l'est, ce qui fait diminuer F/T, indicateur de digestibilité bien connu. Outre F/T, les variables les plus importantes sont : quantité de MS, de MAT et de S produites à l'hectare. Pour une récolte de MS qui a été de 2.8 tonnes à l'hectare (T/ha) en moyenne, *M.truncatula* : 1.8 T/ha, *M.ciliaris* : 2.2et *M.intertexta* : 4.3. Chez cette dernière espèce sur 7 populations, 5 présentent des MS comprises entre 4 et 6 T/ha dont les plus élevées : I31 ; I52 et I253. Les plus faibles résultats enregistrés parmi les *M.truncatula* : 0.6 tonne pour Tr 238. Pour les MAT, le même classement des espèces est observé que pour la MS :*M.truncatula*, *M.ciliaris* et *M.intertexta* avec des rendements respectifs de 0.35 ; 0.52 et 0.98 T/ha. Cependant, la teneur en MAT de la MS est plus élevée pour *M.ciliaris* (27%) que pour *M.intertexta* (23%).

Le RdS (g/m²) étant fortement expliqué par le NT (96%), le PS50G (81%), par HT (69%) et par la MS (64%), qui elle-même est très corrélée avec NT et HT, c'est donc *M intertexta* qui bénéficie de toutes ces combinaisons avec un RdS ramené à l'ha de 3.4 tonnes (les pop. I253 ; I107 et I756 étant particulièrement performantes : 6.2 ; 4.9 et 4.1 tonnes/ha) suivi de *M ciliaris* puis de *M truncatula*.

Pour une récolte ramenée à l'année et par ha de MS, de MAT et de semences, nos luzernes ont donné des résultats globalement comparables aux meilleurs résultats internationaux et même supérieurs pour la production de semences.

2. La dormance (D) est élevée : 90% des graines de l'année ne germent pas (il s'agit là d'un caractère spécifique des luzernes annuelles). Un stockage de longue durée, ne modifie pas le % de germination, et ne la détériore pas : le STK n'a donc pas d'effet sur la G. Parmi les méthodes de scarification que nous avons utilisées pour lever cette dormance l'PA est de loin la meilleure avec en moyenne 82% de G (la D est donc tégumentaire) suivi de H₂SO₄ 60 mn (66%) et de AL 25mn (56%). Aucune des espèces n'a supporté : ET200° C à 20mn avec 0% de G pour *Mciliaris*, à peine mieux pour *M truncatula* et *M intertexta*. Chaque espèce a un comportement qui lui est propre face à un traitement. Ainsi, H₂O_b fait germer *M intertexta* à 70% contre 30 et 7% pour *M ciliaris* et pour *M truncatula*. Même observation pour les populations ainsi pour *M ciliaris* : 100% de G pour C204 et 31% pour C58.

3. L'IDg mesuré à la base de la tige, est inspiré du rapport F/T mais s'adresse directement à un composé de la plante : la lignine. Il répond au rapport, tissus non lignifiés sur tissus lignifiés (TNL/TL). Il s'établit respectivement à 12.5 ; 7.0 ; 1.8 ; 1.8 et 1.1 pour les espèces *M.ciliaris* ; *M.muricoleptis* ; *M.intertexta* ; *M.truncatula* et pour *M.sativa* (Luzerne pérenne pour cette dernière). Il n'est corrélé, ni avec rapport F/T ni avec la Div sensée le valider ; des travaux complémentaires sont nécessaires.

Notre conclusion nous amène à faire ressortir les groupes de populations sur lesquelles pourraient se poursuivre le travail. Pour la digestibilité et la composition chimique : C2 ; C58 ; C5 ; Tr238 ; Tr334 ; I11 ; I58. Pour la production de semence : I11 ; I756 ; I107 ; I253 ; I31 ; I52 et Poly205.

Mots-clés : luzernes annuelles, dormance, scarifications, caractéristiques biométriques, caractéristiques phénologiques

الخلاصة

الخصائص الفينولوجية و *Medicago* بحثنا لأنواع التلقائية للجزائر من جنس

و البيومترية و التغذية.

من أجل المساهمة في العمل الذي بدأ في العقود الأخيرة في البلاد بهدف الحصول على أصناف *Medicago* السنوية الناجحة من مجموعات البرسيم العفوية الجزائرية، درسنا بعض النقاط في مجموعة مكون من عشرون فصفاة من الصنف:

M.intertexta (Populations : 1253 ، 1756 ، 1755 ، I107 ، I11 ، I58 ، I31 ، I52) ،
M.ciliaris (Populations : S5 ، S15 ، C2 ، S7 ، S3 ، C11 ، C204 ، C58)
M. truncatula (Populations : Tr238 ، Tr334 ، Tr27 ، Tr407 ، Tr 201)
M. polymorpha (Populations: Poly205. ، Poly236 ، Poly 221 ، Poly 27 ، Poly 218) وبالمناسبة ، من *Mmuricoleptis* و *M.sativa* زرعت جميعها في ظروف الأمطار. تم حصاد المعلمات الخضرية في مرحلة الأزهار المبكرة و التحاليل الكميائية خصت النترجين ، الجدران ، الأملاح المعدنية والألياف. النقاط الأخرى التي تمت دراستها، والتي تستهدف معايير محددة، هي من ثلاثة أنواع :

1. خصائصها الفينولوجية التي ينظر إليها من ناحية من حيث النمو الخضري

نسبة الصلاحية ($V\%$) ، عدد النباتات / م² (NP) ، إنتاج المادة الجافة (MS) (م²/) ، الطول السيقان (HT) (سم) ، (F / T) و السيقان / م² تقرير عن السيقان (NT / م²).
ومن ناحية أخرى من وجهة نظر إنتاج البذور : - الوزن (غرام) ل 50 قرنة (P50G) ، بذور 50 قرنة (PS50G) (غرام) في البذور إنتاجية (م² / غرام) (RdS) - إنتاجية في القرون (م² / غرام) (RdG) .

2. (G) الإنبات

11 سنة بعد التخزين (STK) بعد معالجة بالتخديش بطرق مختلف: النقع في الماء المغلي لمدة 4 دقائق، نقع في حامض الكبريتيك، و (5، 60، 180 د: H₂SO₄)؛ التجميد لمدة 60 د، (200 °C) ادخلها في الحاضن عند 200 درجة مئوية لمدة 20 د، النقع في السائل النيتروجين (15، 25، 37 د: AL) ؛ التاكل بورق الرمل بحركية ذهاب و إياب.

3. بواسطة الأقسام النسيجية التي سيتم تقديمها للمصادقة عليها (IDg) مع البحث عن مؤشر للتقييم السريع لقابلية هضم البرسيم مقارنتها بطريقة Terry و (Div) Tilley الطريقة الدولية للهضم في المختبر.

يبدو أن :

1. عدد النبات (17) NP / م² منخفض ، و ينتج عنه نسبة منخفضة جدا من نسبة حياتها (22%) . هذه النتيجة ترجع بشكل كبير إلى سكون البذور. لا يوجد ارتباط بين HT م² / NP وبينما NP يشرح عدد السقان NT و كمية المادة الجافة MS . المنتجة و طول السقان HT. هذا الأخير مرتبط سلبيا بنسبة الأوراق على السقان F / T : كلما كان طول السقان مرتفعا كما ازادت نسبة السقان مما يادي الى انخفاض F/T و هو عنصر مهم في عمية الهضم. من بين العناصر المهمة الأخرى : كمية المادة الجافة ، كمية النتروجين و البذور المنتجة (S و MAT ، MS) . المادة الجافة كمييتها كانت 2.8 طن في المعدل لكل هكتار. الأصناف المدروسة أنتجت 1 ، 8 ، 2 ، 2 ، 4 ، 3 ط/هك بالترتيب *M truncatula* ، *M ciliaris* ، *M intertexta* عند هذا الصنف الأخير المجموعة السبع المدروسة من بينها 5 أنتج كمية تتراوح بين 4 و 6 ط/هك و أكبر كمية موجودة عند I31، I52 ، I253. أما النتائج المنخفضة نجدها عند الصنف *M truncatula* : 0 ، 6 ط/هك عند Tr238. وفيما يتعلق كمية النترجين نفس الترتيب موجود : *M intertexta* ، *M ciliaris* ، *M truncatula* و بالمرودود الموالي 0.98 ، 0.52 ، 0.35 : ط/هك. غير ان محتواها من النترجين مرتفع 7 2% عند *M ciliaris* مقارنة ب

.%2 3M intertexta

بما ان مردود البذور يشرح عدد السقان (96%) NT، (81%) PS50G، (69%) HT و (64%) MS، هذه الاخيرة مرتبطة مع HT و NT، بالتالي استفاد الصنف M intertexta بكل الاندماجات الممكنة مع مردود حول الى الهكتار انتج 3, 4 طن المجموعة التي سجلت اعلى نتيجة هي: I107, I253 و I756 ب 6.2، 4.9 و 4.1 طن / هكتار. انتجت مجموعة البرسيم محصول من MAT، MS و البذور على مدار السنة و في الهكتار الواحد نتائج قابلة للمقارنة مع النتائج الدواية بل منها متفوقة.

2. السكون (D) عامل مرتفع التأثير، 90% من بذور السنة لا تنبت (هذه خاصية محددة في الفصصة السنوية). التخزين على المدى لا يغير نسبة الانبات و لا يدهورها: اذا التخزين لا يؤثر على الانبات. لإزالة هذا السكون الخدش PA هو الأفضل إلى حد بعيد بمتوسط 82% للانبات G (نوع السكون اذا قشري) يتبعه H2SO4 60 دقيقة (66%) و نتروجان السائل AL 25 د (56%). أيا من الأنواع المدروسة لم تتحمل الحضان في 200 درجة مئوية 20 مع 0% انبات ل *M. ciliaris*، أفضل قليلا ل *M. truncatula* و *M. intertexta* كل نوع له سلوكه الخاص عند المعالجة. وهكذا H2O نبتنا المغلات *M. intertexta* ب 70% مقابل 30 و 7% ل *M. ciliaris* و *M. truncatula* نفس الملاحظة لمجموعة *M. ciliaris*: G: 100% ل C204 و 31% ل C58.

3. المؤشر الهضمي IDg يقاس في قاعدة الجذعية، مستوحاة من F / T ولكن يرتبط مباشرة إلى مركب من النبات: اللجنين. يستجيب إلى نسبة النسج الغير الملجننة على النسج الملجننة (TNL / TL). النتيجة على التوالي 5، 12، 0، 7، 8، 1، 8، 1. و 1، 1 للاصناف *M. Sativa* و *M. truncatula* و *M. intertexta*، *M. muricoleptis*، *M. ciliaris*. ليس له علاقة مع F / T و لا مع Div الذي مفروض يصدقه لذا نحن بحاجة إلى المزيد من الاعمال اخرى. يقودنا استنتاجنا إلى إبراز المجموعات النباتية من الصنف *Medicago* التي يمكننا مواصلة العمل في الهضم و التركيبية الكيميائية I11، I58: Tr334، Tr238؛ C5، C58، C2، لإنتاج البذور: Poly205 و I52 إلى I11، I756، I107، I253.

كلمات البحث: الفصصة السنوية، السكون، الخدش، الخصائص الفلوجية، الخصائص البيومترية.

Summary

Research on spontaneous species of Algeria of the genus Medicago: phenological, biometric and nutritional characteristics

in order to contribute to the work initiated in recent decades in the country with the aim of obtaining the successful cultivars of annual Medicago from populations of alfalfa spontaneous Algeria, we have studied some points of Twenty populations (Pop) of alfalfa of the species: *M.ciliaris* (Pop.: S5, S15, C2, S7, S3, C11, C204, C58), *M.intertexta* (Pop: 1253, 1756, 1755, I107; I11, I58, I31, I52), *M. truncatula* (Pop.: Tr238, Tr334, Tr27, Tr407, Tr 201); *M.polymorpha* (Pop.: Poly205, Poly236, Poly 221, Poly 27, Poly 218) and incidentally, from *Muricoleptis* and *M.sativa*. All crops are rainfed. The vegetative parameters were harvested at the early flowering stage and chemical analyzes: nitrogenous matter (MAT), walls, mineral materials were carried out when they were necessary.

The points studied, targeting specific criteria, are of three types:

1. Their phenological characteristics seen on the one hand in terms of vegetative development: - Number of plants / m² (NP / m²) - % viability (% V) - Number of stems / m² (NT // m²) - Height (cm) of stems (HT) - Production (/ m²) of dry matter (DM) - Report on stems (F / T) and on the other hand from the point of view of seed production: - Weight (g) of 50 pods (P50G) - Weight (g) seed of 50 pods (PS50G) - Yield (g / m²) in pods (RdG) - Yield (g / m²) in seed (RdS).

2. Their germination (G): - After storage (STK) of 11 years - After a scarification treatment by different methods: Soaking in boiling water for 4 minutes (H2Ob); Oven at 200 ° C for 20 minutes (ET200 °C); freezing for 60 mm (GC 60); steeping in concentrated sulfuric acid in 3-stage kinetics (H2SO4): 180, 60 and 5 minutes); soaking in liquid nitrogen in a kinetics of 4 times (AL: 37, 25, 15 and 5 minutes); abrasion of the integuments with sand paper (AT).

3. Search for an index of rapid assessment of alfalfa digestibility (IDg) by histological sections that will be submitted for validation by the international in vitro digestibility (Div) method of Tilley and Terry.

It appears that:

1. NP / m² (17) is low, resulting in a similarly low % V (22%). This result is largely due to seed dormancy. There is no correlation between NP / m² and HT nor with F / T. On the other hand NP explains the NT and the quantity of MS produced just like the HT. The latter is negatively correlated with F / T: plus HT is high plus % stems is, which reduces F / T, a well-known digestibility indicator. In addition to F / T, the most important variables are: quantity of MS, MAT and S produced per hectare. For one crop, MS was 2.8 tonnes per hectare (T / ha) on average. For *M truncatula*: 1.8T / ha, *M ciliaris*: 2.2 and *M intertexta*: 4.3. In 7 populations, 5 have DMs between 4 and 6 T / ha, the highest of which are: I31; I52 and I253. The lowest results are among the *M truncatula*: 0.6 tons for Tr 238. For MAT, the same classification of species is observed as for the MS: *M truncatula*, *M ciliaris* and *M intertexta* with respective yields of 0.35; 0.52 and 0.98 T / ha. However, the MAT content of MS is higher for *M ciliaris* (27%) than for *M intertexta* (23%). The RdS (g / m²) being strongly explained by the NT (96%), the PS50G (81%), by HT (69%) and by the MS (64%), which itself is very correlated with NT and HT, so *M intertexta* benefits from all these combinations with a RdS reduced

to the 3.4 ton ha (I253 pop, I107 and I756 being particularly efficient: 6.2, 4.9 and 4.1 tons / ha) followed by *M. ciliaris* then of *M. truncatula*. For a year-round crop and per hectare of MS, MAT, and seed, our alfalfa crop yielded broadly comparable results to the best international and even superior results for seed production.

2. Dormancy (D) is high: 90% of the seeds of the year do not germinate (this is a specific characteristic of annual alfalfa). Long-term storage does not alter the % germination, but does not deteriorate it: the STK therefore has no effect on G. Among the scarification methods that we used to remove this dormancy the AT is by far the best with an average of 82% G (D is therefore integumentary) followed by H₂SO₄ 60 min (66%) and AL 25 min (56%). None of the species supported ET200 ° and CG60 with 0% G for *M. ciliaris*, slightly better for *M. truncatula* and *M. intertexta*. Each species has its own behavior when treated. Thus, H₂O boullie germinated *M. intertexta* 70% against 30 and 7% for *M. ciliaris* and *M. truncatula*. Same observation for pop as for *M. ciliaris*: 100% G for C204 and 31% for C58.

3. The IDg measured at the base of the stem, is inspired by F / T but is directly related to a compound of the plant: lignin. It responds to the non-lignified ratio on lignified tissues (TNL / TL). It is respectively 12.5; 7.0; 1.8; 1.8 and 1.1 for the species *M. ciliaris*; *M. muricoleptis*; *M. intertexta*; *M. truncatula* and for *M. sativa* (perennial lucerne for the latter). It is not correlated, neither with F / T nor with the Div sensible to validate it; further work is needed.

Our conclusion leads us to highlight the population groups on which the work could be continued. For digestibility and chemical composition: C2; C58; C5; Tr238; Tr334; I11; I58. For seed production: I11; I756; I107; I253; I31; I52 and Poly205

Keywords: annual alfalfa, dormancy, storage, yields, nutritional value.