

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة حسيبة بن بوعلي – الشلف -
UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI – CHLEF-
كلية العلوم الزراعية و العلوم البيولوجية
Faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences Biologiques
قسم البيولوجيا
Département de Biologie



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Magister
Spécialité: Sciences de l'eau et bioclimatologie

Thème :

**Comportement et efficience d'utilisation de l'eau
de la luzerne pérenne vis-à-vis de quelques
facteurs abiotiques dans la région du Bas Cheliff**

Présenté par : **BELLAGUE Djamel**

Composition du jury :

M ^r : SAIDI D.	Maître de conférences, UHBC (Chlef)	Président
M ^r : M'HAMMEDI BOUZINA M.	Maître de conférences, UHBC (Chlef)	Encadreur
M ^r : BOUTHIBA A.	Maître de conférences, UHBC (Chlef)	Examineur
M ^r : MERABET B.A.	Maître de conférences, INA (Alger)	Examineur
M ^r : SAADI A.	Maître de conférences, UHBC (Chlef)	Examineur

Année universitaire 2010-2011

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à tous et à toutes qui me sont chers (es) dans la vie.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce mémoire :

*** Monsieur SAIDI Djamel, Maître de Conférences à l'UHBC (Chlef), pour son aide et son dévouement durant notre formation de post graduation et d'avoir accepté de présider le jury.**

*** Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et gratitude à monsieur M'HAMMEDI BOUZINA M. Maître de Conférences à l'UHBC (Chlef), d'avoir accepté de m'encadrer et surtout pour ses conseils judicieux. Je tiens à le remercier pour sa grande patience et sa gentillesse.**

*** Monsieur, BOUTHIBA A. Maître de Conférences à l'UHBC (Chlef), pour son aide et d'avoir accepté d'examiner ce travail.**

*** Monsieur, MERABET B.A. Maître de Conférences à l'INA, pour son encadrement dans le projet PERMED, son aide et d'avoir accepté d'examiner ce travail.**

*** Monsieur, SAADI A. Maître de Conférences à l'UHBC (Chlef), d'avoir accepté d'examiner ce travail.**

*** Je remercie toute l'équipe des enseignants qui a contribué à notre formation en post-graduation.**

*** Je remercie également toute l'équipe Algérienne du projet PERMED, comme je tiens à remercier Monsieur LARICHE Azziz chercheur à la station de recherche INRAA (Hmadna-Relizane), pour son soutien moral.**

Liste des abréviations

ACP	: Analyse en composante principale
Anova	: Analyse de la variance
ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CE	: Conductivité électrique
CPN	: Campbell Pacific Nuclear, California USA
CTR	: Contribution en pour cent
Da	: Densité apparente
Djc	: Degré jour cumulé
Dp	: Déficit pluviométrique
Dr	: Drainage
ET	: Evapotranspiration
ETM	: Evapotranspiration maximale
ETo	: Evapotranspiration de référence
ETR	: Evapotranspiration réelle
EUE (*)	: Efficience de l'utilisation de l'eau, *=I : Essai en Irrigué, *=P: Essai en Pluvial
Hm	: Humidité relative moyenne de l'air
Hv (*)	: Hauteur de végétation, *=I : Irrigué, *=P: Pluvial
I	: Insolation
ID	: Indice de dormance
LF	: Fraction de lessivage
LSD, PPDS	: Low significative difference, Plus Petite Différence Significative
NPL(*)	: Nombre de plant par 50 centimètres linéaire, *=I : Irrigué, *=P: Pluvial
RdtMF	: Rendement en matière fraîche
RdtMS	: Rendement en matière sèche
RecL	: Recouvrement linéaire, *=I : Irrigué, *=P: Pluvial
RU	: Réserve utile
SEN(*)	: Sénescence, *=I : Irrigué, *=P: Pluvial
SI	: Somme des ions
TEOS	: Taux d'eau dans les organes souterrains
Tm	: Température moyenne
tMF	: Tonne de matière fraîche
Tmn	: Température moyenne des minima
tMS	: Tonne de matière sèche
Tnabs	: Température minimale absolue
Trec	: Taux de régression du recouvrement
Txabs	: Température maximale absolue
V	: Vitesse du vent

Liste des figures

N° Fig.	Titre de la figure	Page
01	Localisation de la zone d'étude	03
02	Evolution mensuelle de la pluie et ETo (période 1993/94-2005/06)	06
03	Courbe ombrothermique de Gaussen (période 1993/94-2005/06)	06
04	Morphologie de la luzerne <i>Medicago sativa</i> L.	09
05	Pivot et collet d'un pied de luzerne adulte	09
06	Stades physiologiques de la luzerne	10
07	Exemple de profil hydrique	21
08	Localisation du site d'expérimentation	25
09	Evolution mensuelle de l'ETo des deux campagnes (2006/07 et 2007/08) par rapport à la moyenne de la période 1993/94-2005/06.	27
10	Répartition décadaire des pluies et ETo, campagne 2007/08	28
11	Variation de la Hv moyenne et RecL moyenne par coupe (Essai pluvial)	45
12	Variation saisonnière de la Hv et RecL (Essai pluvial)	45
13	Variation de la Hv moyenne et RecL moyenne par coupe (Essai irrigué)	46
14	Variation saisonnière de la Hv et RecL (Essai irrigué)	46
15	Variation de la Hv par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)	47
16	Variation de la RecL par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)	47
17	Variation du rendement par coupe (essai en pluvial)	60
18	Variation saisonnière du rendement en matière fraîche et sèche (essai en pluvial)	60
19	Variation du rendement par coupe (Essai en irrigué)	61
20	Variation saisonnière du rendement en matière fraîche et sèche (Essai irrigué)	61
21	Variation du rendement en matière fraîche (RdtMF) des deux essais	62
22	Variation du rendement en matière sèche (RdtMS) des deux essais	62
23	Droite d'étalonnage de la sonde à neutron pour tout le profil	63
24	Variation de l'EUE par coupe pour l'essai en pluvial et essai en irrigué	70
25	Variation saisonnière de l'EUE pour l'essai en irrigué et l'essai en pluvial	70
26	Variation de l'EUE par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)	71
27	Variation de la sénescence par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)	72
28	Variation du ratio par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)	73
29	Variation de la TEOS par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)	74
30	Variation du NPL par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)	75
31	Tracé des valeurs propres (essai en irrigué)	84
32	Structure des variables, plan 1-2 (essai irrigué)	86
33	Représentation de la dispersion des cultivars dans le plan 1-2 d'une ACP (Essai irrigué)	88
34	Classification ascendante hiérarchique (essai en irrigué)	89
35	Tracé des valeurs propres (essai en pluvial)	90
36	Structure des variables, plan 1-2 (essai en pluvial)	92
37	Représentation de la dispersion des cultivars dans le plan 1-2 d'une ACP (Essai irrigué)	95
38	Classification ascendante hiérarchique (essai en pluvial)	95
39	Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 1, Essai en irrigué)	96
40	Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 2, Essai en irrigué)	97
41	Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 3, Essai en irrigué)	97
42	Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 4, Essai en irrigué)	97

43	Evolution du Rec en fonction du Djc (Coupe 1, Essai en irrigué)	98
44	Evolution du Rec en fonction du Djc (Coupe 2, Essai en irrigué)	98
45	Evolution du Rec en fonction du Djc (Coupe 3, Essai en irrigué)	98
46	Evolution du Rec en fonction du Djc (Coupe 4, Essai en irrigué)	99
47	Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 1, Essai en pluvial)	100
48	Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 2, Essai en pluvial)	100
49	Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 3, Essai en pluvial)	100
50	Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 4, Essai en pluvial)	101
51	Evolution du Rec en fonction du Djc (Coupe 1, Essai en pluvial)	101
52	Evolution du Rec en fonction du Djc (Coupe 2, Essai en pluvial)	102
53	Evolution du Rec en fonction du Djc (Coupe 3, Essai en pluvial)	102
54	Evolution du Rec en fonction du Djc (Coupe 4, Essai en pluvial)	102
55	Variation de l'EUE et RdtMS en 3 ^{ème} année de production (Essai en pluvial)	104
56	Variation de l'EUE et RdtMS en 3 ^{ème} année de production (Essai en irrigué)	105
57	Variation de l'EUE et RdtMS en 3 ^{ème} année de production (Essai en pluvial)	106
58	Variation de l'EUE et RdtMS en 3 ^{ème} année de production (Essai en irrigué)	106
59	Variation du taux de régression du recouvrement linéaire (Essai en pluvial et essai en irrigué)	107

Liste des tableaux

N° Tab.	Titre du tableau	Page
01	Températures et pluies moyennes de 1951-79 et 1985-04	04
02	Composition chimique moyenne de vingt-sept forages dans le Bas-Chélif.	07
03	Données climatiques mensuelles de la campagne 2006-2007 (Station H' madna)	26
04	Données climatiques mensuelles de la campagne 2007-2008 (Station H' madna)	26
05	Quelques caractéristiques physico-chimiques du sol de l'horizon 0-35cm	28
06	Densité apparente en fonction de la profondeur	29
07	Paramètres climatiques et ETo, moyennes sur 13 ans (1993/94 à 2005/2006)	30
08	Dates des coupes pour les deux essais (pluvial et irrigué)	33
09	Variation de la Hv (en cm) par coupe, saison et cycle (Essai pluvial)	36
10	Variation (Hv) en cm par coupe, saison et cycle (Essai Irrigué)	38
11	Variation du RecL(%) par coupe, saison et cycle (Essai pluvial)	41
12	Variation du RecL(%) par coupe, saison et cycle (Essai Irrigué)	43
13	Variation du RdtMF par coupe, saison et cycle (Essai pluvial)	50
14	Variation du RdtMF par coupe, saison et cycle (Essai irrigué)	53
15	Variation RdtMS par coupe, saison et cycle (Essai pluvial)	56
16	Variation du RdtMS par coupe, saison et cycle (Essai irrigué)	59
17	Equations d'étalonnage de la sonde à neutron CPN 503	63
18	Variation de l'EUE par coupe, saison et cycle (Essai pluvial)	66
19	Variation de l'EUE par coupe, saison et cycle (Essai irrigué)	69
20	Variation de la SEN, Ratio, TEOS et NPL (essai pluvial)	74
21	Variation de la SEN, Ratio, TEOS et NPL (essai irrigué)	76
22	Matrice de corrélation (Essai en irrigué)	83
23	Valeurs propres (essai en irrigué, 2007/2008)	84
24	Part de chaque variable dans la construction du facteur (Essai en irrigué)	85
25	Les paramètres formant l'axe 1 (Essai en irrigué)	85
26	Les paramètres formant l'axe 2 (Essai en irrigué)	85
27	Les paramètres formant l'axe 3 (Essai en irrigué)	85
28	Part de chaque cultivar dans la construction du facteur (Essai en irrigué)	86
29	Les cultivars formant l'axe 1 (Essai en irrigué)	87
30	Les cultivars formant l'axe 2 (Essai en irrigué)	87
31	Les cultivars formant l'axe 3 (Essai en irrigué)	87
32	Caractéristiques des cultivars de la classe 1 (Essai en irrigué)	87
33	Caractéristiques des cultivars de la classe 2 (Essai en irrigué)	88
34	Caractéristiques des cultivars de la classe 3 (Essai en irrigué)	88
35	Matrice de corrélation (Essai en pluvial)	89
36	Valeurs propres (essai en pluvial, 2007/2008)	90
37	Part de chaque variable dans la construction du facteur (Essai en pluvial)	91
38	Les paramètres formant l'axe 1 (Essai en pluvial)	91
39	Les paramètres formant l'axe 2 (Essai en pluvial)	91
40	Les paramètres formant l'axe 3 (Essai en pluvial)	91
41	Part de chaque cultivar dans la construction du facteur (Essai en pluvial)	92
42	Les cultivars formant l'axe 1 (Essai en pluvial)	93
43	Les cultivars formant l'axe 2 (Essai en pluvial)	93
44	Les cultivars formant l'axe 3 (Essai en pluvial)	93
45	Caractéristiques des cultivars de la classe 1 (Essai en pluvial)	93

46	Caractéristiques des cultivars de la classe 2 (Essai en pluvial)	94
47	Caractéristiques des cultivars de la classe 3 (Essai en pluvial)	94
48	Caractéristiques des cultivars de la classe 4 (Essai en pluvial)	94
49	Les coefficients d'ajustements Hv-Djc, par coupe (essai en irrigué)	96
50	Les coefficients d'ajustements Rec-Djc, par coupe (essai en irrigué)	98
51	Les pentes des droites de régression par coupe (Essai en irrigué)	99
52	Les coefficients d'ajustements Hv-Djc, par coupe (essai en pluvial)	99
53	Les coefficients d'ajustements Rec-Djc, par coupe (essai en pluvial)	101

SOMMAIRE

Introduction	01
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1. Présentation du milieu physique	03
I.1.1. Aire d'étude	03
I.1.2. Caractéristiques climatiques de la région	03
I.1.3. Ressources et qualités des eaux	05
I.1.4. Caractéristiques du sol	07
I.2. La luzerne	08
I.2.1. Origine de la luzerne	08
I.2.2. Classification	08
I.2.3. Description	09
I.2.4. Intérêt de la luzerne	10
I.2.5. Exigences de la culture	11
I.2.5.1. Exigences climatiques	11
I.2.5.2. Exigences hydriques	11
I.2.5.3. Exigences édaphiques	11
I.2.5.4. Exigences en éléments fertilisants	11
I.2.6. Les principaux critères de choix de la luzerne	11
I.3. La pérennité	12
I.3.1. Dormance	12
I.3.2. Stress	12
I.3.2.1. Stress hydrique	12
I.3.2.1.1. Définition	12
I.3.2.1.2. Conséquences d'un stress hydrique	13
I.3.2.1.3. Détection du stress hydrique	15
I.3.2.1.4. Risque d'un stress hydrique	16
I.3.2.2. Stress salin	16
I.3.2.3. Stress hydro-salin	17
I.3.2.4. Stress thermique	17
I.3.2.5. Effet de l'âge sur le rendement	17
I.3.3. Efficacité de l'utilisation de l'eau	17
I.3.3.1. Définition	17
I.3.3.2. Méthode d'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau	18
I.3.3.3. Mesure de la consommation en eau (ET)	18
I.3.3.3.1. Méthode de calcul de la teneur en eau	19
I.3.3.3.2. Méthode gravimétrique	19
I.3.3.3.3. Méthode par réflectométrie dans le domaine temporel (TDR)	19
I.3.3.3.4. Méthode neutronique	19
I.3.3.3.4.1. Description et principe de fonctionnement de la sonde à neutron	19
I.3.3.3.4.2. Les tubes d'accès	20
I.3.3.3.4.3. Etalonnage de la sonde	20
I.3.3.3.4.4. Méthode de détermination du stock d'eau	21

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Matériel végétal	23
II.2. Conditions expérimentales	25
II.2.1. Localisation	25
II.2.2. Les conditions climatiques des campagnes d'étude	25
II.2.3. Caractéristiques du sol	28
II.3. Protocole expérimental	29
II.3.1. Dispositif expérimental	29
II.3.2. Conduite de l'essai	29
II.3.2.1. Préparation du lit de semence	29
II.3.2.2. Le semis	29
II.3.2.3. La fertilisation	29
II.3.2.4. Le désherbage	30
II.3.2.5. L'irrigation	30
II.3.2.6. La fauche	30
II.3.3. Les paramètres notés et mesurés	31
II.3.3.1. La hauteur de végétation (cm)	31
II.3.3.2. Le recouvrement linéaire (%)	31
II.3.3.3. Le rendement en matière fraîche (tMF/ha)	31
II.3.3.4. Le rendement en matière sèche (tMS/ha)	31
II.3.3.5. La sénescence d'été (%)	31
II.3.3.6. Le ratio en matière sèche	32
II.3.3.7. La teneur en eau dans les organes survivants : TEOS (%)	32
II.3.3.8. L'efficacité de l'utilisation de l'eau (Kg MS/m ³)	32
II.3.3.9. Pérennité	32
II.4. Les analyses statistiques	32

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. Analyse du comportement des cultivars	33
III.1.1. Paramètre de forme	33
III.1.1.1. Hauteur de végétation (Hv)	33
III.1.1.2. Recouvrement linéaire (RecL)	39
III.1.2. Paramètres de production	48
III.1.2.1. Rendement en matière fraîche (RdtMF)	48
III.1.2.2. Rendement en matière sèche (RdtMS)	52
III.1.3. Paramètre efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) en KgMS/m ³	63
III.1.4. Paramètres dormance-pérennité	71
III.1.4.1. Paramètre sénescence (SEN) en pourcent	71
III.1.4.2. Paramètre ratio (Ratio)	72
III.1.4.3. Paramètre taux d'eau dans les organes souterrains (TEOS) en pourcent	73
III.1.4.4. Paramètre nombre de plant par 50cm linéaire (NPL)	74
III.1.5. Discussion	77

III.2. Analyse en composante principale (ACP)	83
III.2.1. Essai en irrigué (cycle)	83
III.2.1.1. Etude des variables	84
III.2.1.2. Etude des individus (cultivars)	86
III.2.2. Essai en pluvial (cycle)	89
III.2.2.1. Etude des variables	90
III.2.2.2. Etude des individus (cultivars)	92
III.3. Cinétique de croissance	96
III.3.1. Essai en irrigué	96
III.3.1.1. Paramètre hauteur de végétation	96
III.3.1.2. Paramètre recouvrement linéaire	97
III.3. 2. Essai en pluvial	99
III.3.2.1. Paramètre hauteur de végétation	99
III.3.2.2. Paramètre recouvrement linéaire	101
III.3.3. Discussion	103
III.4. Productivité, efficacité et pérennité	104
III.4.1. 3 ^{ème} année de production (2006-2007)	106
III.4.2. 4 ^{ème} année de production (2007-2008)	105
III.4.3. Pérennité	107
Conclusion	109
Références bibliographiques	
Annexes	

Résumé :

Entrant dans le cadre général d'une sélection par les critères production, pérennité et efficience de l'utilisation de l'eau, cette étude porte sur seize cultivars de luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.) de plusieurs origines, testés dans la région du Bas-Cheliff sous climat semi aride, Ils sont conduits en deux essais avec des conditions abiotiques différentes, l'un en régime pluvial et l'autre en régime évapotranspiration maximale. Les caractères mesurés portent essentiellement sur les paramètres de forme, de production, d'efficience et de dormance-pérennité. Les résultats du rendement, efficience et recouvrement obtenus durant la quatrième année de suivi, sont comparés à ceux de la troisième année de production et montrent un recul remarquable suite à une sécheresse persistante. Pour les deux essais, la cinétique de croissance, de la hauteur de végétation et du recouvrement linéaire, présente un comportement différent en fonction des saisons.

Mots clés : *Medicago sativa* L., Comportement, Rendement, EUE, Pérennité.

Abstract:

Within the framework of selection criteria production, sustainability and water use efficiency, this study focuses on sixteen cultivars of perennial alfalfa (*Medicago sativa* L.) from various sources, tested in the Bas-Cheliff region under semi-arid climate, they are conducted in two trials with different abiotic conditions, one rainfed and one in maximum evapotranspiration regime. Measured characteristics focus on the shape parameters, production, efficiency and sustainability-dormancy. The results of yield, efficiency and recovery achieved during the fourth year of monitoring, are compared with those of the third year of production and show a remarkable decline following a prolonged drought. For both tests, the kinetics of growth, height of vegetation and the linear recovery has a different behavior depending of the seasons.

Keywords: *Medicago sativa* L., Behavior, Yield, WUE, Sustainability.

الخلاصة:

داخل الإطار العام للإختيار من خلال معايير الإنتاج، الإستدامة وكفاءة استعمال المياه، أجريت هذه التجربة علي ستة عشر صنف من الفصة المستدامة (*Medicago sativa* L.) تحت مناخ شبه جاف من مصادر مختلفة التي تم تجربتها في منطقة سهل الشلف السفلي عبر تجربتين بشروط اللاحيائية مختلفة، واحدة في نظام ممطر و الأخرى في نظام التبخر والنتج الأقصى. الخصائص المقاسة تتمحور خاصة حول معاملات الشكل، الإنتاج، الكفاءة و السكون-الإستدامة. المقارنة بين نتائج المردود، الكفاءة و الأداء المحصل عليها خلال السنة الرابعة من المتابعة و السنة الثالثة من الإنتاج، تبين تراجع معتبر جراء الجفاف طويل الأمد. بالنسبة للتجربتين، حركية النمو، لطول الإنبات و الغطاء الخطي لها تصرف مختلف حسب الفصول.

كلمات مفاتيح: الفصة، السلوك، المردودية، ك إم، الإستدامة

INTRODUCTION

Introduction

L'eau, élément fondamental au développement économique tous secteurs confondus, devient un facteur limitant pour l'avenir de la majorité des pays. En effet, les ressources en eaux existantes au niveau des pays méditerranéens, sont limitées et inégalement réparties dans la dimension spatio-temporelle (**Margat, 2006**).

En Algérie, devant une explosion démographique et une croissance économique, les besoins en eau des différents secteurs dépasseront les ressources disponibles. A lui seul, le secteur de l'agriculture utilise 55.3% de ces disponibilités (**Loucif Seiad, 2002**).

Pour la plupart des emblavements, l'Algérie reste tributaire de la pluviosité pour assurer sa principale production menée en pluvial. La sécheresse persistante, installée depuis ces trois dernières décennies, vient aggraver la situation.

Devant la pénurie de l'eau, les pays ne parlent plus de sa disponibilité pour le secteur agricole mais de la valorisation du mètre cube en limitant les pertes à plusieurs stades de son cycle. Un matériel végétal pérenne au niveau d'une parcelle peut limiter les pertes par évaporation et assurer une utilisation efficiente de l'eau pour une production optimale durable.

La luzerne (*Medicago sativa* L.), espèce fourragère pérenne avec une production en matière sèche qui peut atteindre 12 à 15 tonnes et un enracinement profond, est considérée comme une espèce adaptée à la sécheresse (**Lemaire, 2006**).

Sa pérennité lui confère la faculté d'utiliser l'eau pendant l'année entière, restaure la fertilité du sol et contribue à la durabilité des systèmes pluviaux (**Voltaire et Norton, 2006**).

La luzerne par son système végétatif qui couvre le sol, peut contribuer à la limitation des pertes par évaporation. C'est une plante protectrice des sols vulnérables à l'érosion éolienne et hydrique (**Abdelguerfi et Abdelguerfi-Laouar, 2002 ; Vanpeene-Bruhier et al., 2002**).

Pour toutes ses caractéristiques et essentiellement dans le but d'une sélection par les critères: productivité, pérennité et efficacité, seize cultivars de luzerne pérenne de différentes origines (Algérie, Australie, France, Italie, Maroc, Tunisie et USA) ont été mis en place dans le cadre du projet PERMED pour une durée de quatre années dans la région du Bas-cheliff (station INRAA-Relizane). Les essais sont conduits en deux régimes hydriques, l'un en pluvial et l'autre en irrigué à l'évapotranspiration maximale. Sous ces deux contraintes abiotiques opposées, les cultivars ont fait l'objet d'un suivi pour l'évaluation de la tolérance à la sécheresse, la variabilité de l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de la pérennité. Pour cela, nous avons étudié quatre types de paramètres pour valoriser les capacités des cultivars: le paramètre de forme à savoir la hauteur de végétation et le recouvrement linéaire, le paramètre de production défini par le rendement en matière fraîche et le rendement en matière sèche, le paramètre efficacité, le paramètre dormance-pérennité, la sénescence, le taux d'eau dans les organes souterrains et le nombre de plants par ligne.

La présente étude est réalisée pour la 4^{ème} année (campagne 2007-2008) de production et fait l'objet de comparaison avec la 3^{ème} année (campagne 2006-2007) pour le paramètre production, efficacité de l'utilisation de l'eau et pérennité.

Le présent travail est partagé en trois chapitres :

- Le premier chapitre, réservé à une synthèse bibliographique, étudie les caractéristiques du milieu physique.
- Le deuxième chapitre est consacré au matériel et méthodes utilisés.
- Le troisième chapitre est réservé aux résultats et discussions.

CHAPITRE I :
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Présentation du milieu physique

I.1.1. Aire d'étude

La station expérimentale INRAA Hmadna se situe dans la wilaya de Relizane et occupe une superficie de 77ha. Elle se trouve dans la région du Bas-cheliff qui est une dépression de la vallée du Cheliff. Elle est nommée Bas-cheliff de par sa situation dans la partie inférieure de la vallée de Oued Cheliff. Ses coordonnées sont $0^{\circ} 40'$ et $1^{\circ} 6' 8''$ de longitude Est et $34^{\circ} 3' 12''$ et $36^{\circ} 5' 57''$ de latitude Nord (**Fig.1**).



Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (Microsoft Encarta 2009)

I.1.2. Caractéristiques climatiques de la région

Nous disposons des données moyennes de températures et de pluies de la station INRAA-H'madna sur deux grandes périodes, l'une de 28 ans (1951/52 à 1978/79) et l'autre de 19 ans (1985/86 à 2003/2004) (**Tab.1**). En passant de la 1^{ère} période à la 2^{ème} période, le climat a basculé du climat semi-aride vers le climat aride. Ainsi sont enregistrées une diminution de la pluviométrie avec un taux d'environ 25% (92,84mm) et une augmentation de 6,28 % (1,14°C) de la température moyenne annuelle. La répartition de la pluie saisonnière est passée de la classe HPAE à HAPE et la période sèche de la courbe ombrothermique de Gaussen s'est étalée de 2 mois et demi.

Tableau 1 : Températures et pluies moyennes de 1951-79 et 1985-04

	Période 1951/1979		Période 1985/2004	
	Tm (°C)	P (mm)	Tm (°C)	P (mm)
Septembre	24.09	9.38	25.28	16.11
Octobre	19.37	44.00	20.68	31.26
Novembre	14.20	43.70	14.57	51.03
Décembre	10.98	58.71	11.65	29.77
Janvier	10.11	47.57	10.56	39.45
Février	11.20	50.46	11.69	32.58
Mars	12.69	40.20	14.48	27.92
Avril	15.81	46.20	16.66	29.12
Mai	19.70	29.53	21.20	21.53
Juin	23.61	9.02	25.78	5.15
Juillet	27.46	0.91	29.10	1.33
Août	28.69	1.31	29.94	2.89
TOTAL		380.99		288.15
MOYENNE	18.16		19.30	

Une étude faite à la station pour la période de 6 ans de 1998 à 2003 pour les trois premières saisons de l'année, a montré que la pluie journalière maximale moyenne représente 29.32% à 64.36% de la pluie moyenne mensuelle.

Une autre étude faite sur les valeurs des 58 jours de pluie journalière de la campagne 1998/99, a montré que 41,38 % des pluies sont comprises entre 1 et 5 mm, 18,96 % sont comprises entre 5 et 15 mm et seulement 5,17 % sont supérieures à 15mm (**Bellague, 1998**).

Une étude faite sur 13 campagnes (1993/94 à 2005/2006) révèle une température maximale absolue de 48,70 °C et une température minimale absolue de -4 °C. La température moyenne des maxima varie entre 16,34 °C et 38,11 °C. Tandis que la température moyenne des minima, varie entre 4,51 °C et 22,22 °C. La pluie moyenne annuelle de 282,19mm se trouve confrontée à une importante évapotranspiration de référence de 1399,69 mm, ce qui a engendré un déficit pluviométrique (Dp) de 1117,50 mm. En effet, sur toute la période étudiée, la courbe des ETo est au dessus de celle des pluies, à l'exception du mois de novembre. Ce déficit croît progressivement à partir du mois de décembre pour arriver à une valeur maximale au mois de juillet. Ensuite il régresse avec la même allure (**Fig.2**).

En général, les vents moyens mensuels ne varient pas beaucoup (entre 1,20 et 2,15 m/s) et la durée d'insolation varie de 3,32 à 9,01 heure. L'humidité relative moyenne de l'air fluctue entre 59,15% et 75,39%.

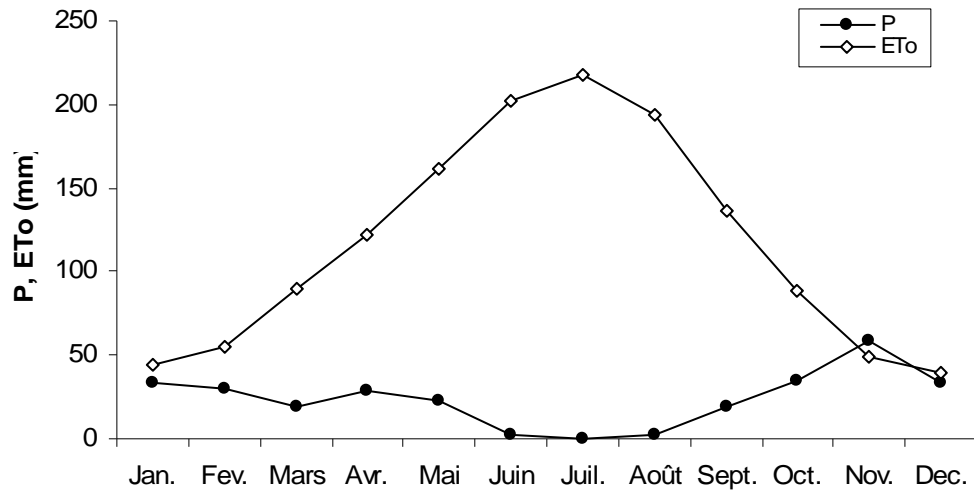


Figure 2 : Evolution mensuelle de la pluie et ETo (période 1993/94-2005/06)

La courbe ombrothermique de Gausson pour cette période, nous confirme la durée de la période sèche qui est d'environ 8 mois. Elle débute de la fin février jusqu'à la fin octobre (Fig. 3).

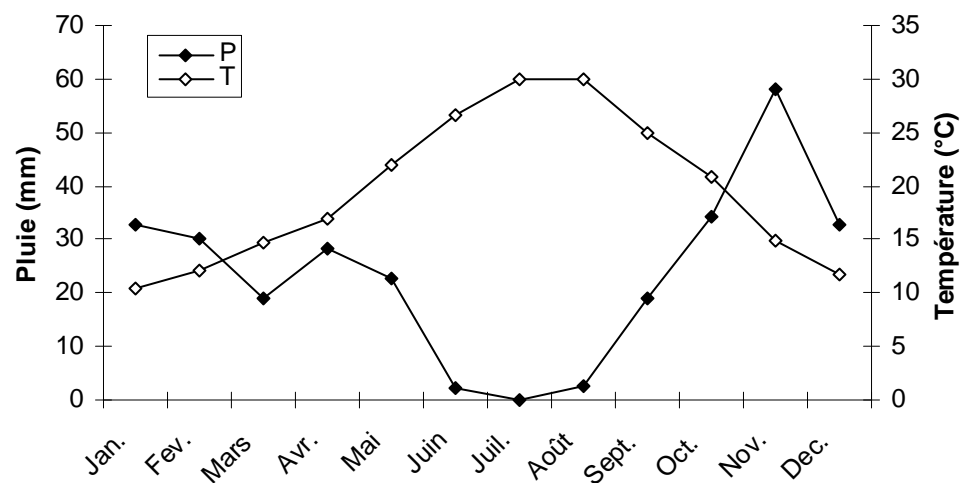


Figure 3 : Courbe ombrothermique de Gausson (période 1993/94-2005/06)

Le climat du Bas-cheliff est rude et contrasté avec des étés très chauds et des hivers très froids. Le Bas-cheliff est qualifié par « le four du tell » ou encore par « une portion du Sahara égarée dans le tell » (Yacono, 1955 ; Boulaine, 1957).

I.1.3. Ressources et qualités des eaux

Les principales ressources en eau superficielles disponibles pour l'irrigation du périmètre du Bas Cheliff sont constituées par les cours d'eau et les accumulations. Les composantes du réseau hydrographique qui alimente le bassin sont :

* **L'oued Cheliff** : c'est le cours d'eau principal de la région Nord-Ouest d'Algérie, il prend sa source au niveau du Djebel Amour près d'Aflou (wilaya de Laghouat) et traverse le périmètre du Bas-chéiff d'Est en Ouest jusqu'à Sidi Khetab à la confluence de Oued Mina et Oued Cheliff et se termine dans la mer par le côté Est de Mostaganem.

McDonald et al., 1990 ont fait une analyse de qualité des eaux à la station hydrométrique de Boukadir sur la période 1969-78 et ont trouvé que la salinité varie de 1,1 g/l en hiver à 1,4 g/l à la fin de l'été.

* **L'oued Rhiou** : cet Oued est l'un des principaux affluents de Cheliff, l'eau du bassin versant est régularisée par le barrage Gargar depuis 1988. Les données de la période 1971-1979 montrent que la qualité des eaux de ce principal affluent est comparable à celle de l'oued cheliff (**McDonald et al., 1990**). Pour les données extraites des dossiers de l'ANRH de 1987-88, et pour la conversion de la CE (dS/m) en salinité (somme des ions) en g/l, les formules proposées sont :

$$\begin{aligned} \text{SI (g/l)} &= 0,723 * \text{CE}_{25^{\circ}\text{C}} && (\text{McDonald et al., 1990}) \\ \text{SI (g/l)} &= 0,621 * \text{CE}_{25^{\circ}\text{C}} && (\text{ANRH}) \end{aligned}$$

* **L'oued Djidiouia** : il est situé sur la rive gauche de Oued Cheliff, objet d'un projet d'un nouveau barrage. La qualité des eaux de cet affluent, sur la période de 1976 à 1989, montre que la salinité est en moyenne de 1,25 g/l en hiver et de 2,31 g/l en été (**McDonald et al., 1990**)

* **L'oued Ouarizane** : il est situé sur la rive droite du Cheliff, et se trouve pratiquement à sec pendant la période estivale.

D'autres Oueds de moindre importance, drainent l'eau des monts sur la rive droite comme Oued Ghazzaz et Oued Tarhia.

Un échantillonnage a été fait au mois de mars de l'année 1990 sur quatorze points, dont cinq représentent des sites où un prélèvement d'eau pour l'irrigation a été observé. La conductivité électrique mesurée sur place, varie entre 3,46 dS/m et 8,19 dS/m. Pour la même période, la CE de l'eau du canal d'irrigation au niveau de la ville de H'madena, prend la valeur de 2,40 dS/m (**McDonald et al., 1990**)

Les principales accumulations d'eau dans la région du Bas Cheliff sont:

* **Merdja Sidi Abed** : aménagée au début des années trente, c'est une retenue d'une capacité de 56,5 hm³. En hiver, elle est remplie par gravité par dérivation des eaux de Oued Cheliff jusqu'à la capacité de 23 hm³, le reste est assuré par pompage. Actuellement, elle constitue la principale source d'eau qui alimente le périmètre. Les résultats de l'échantillonnage de **McDonald et al. (1990)** au mois de mars sur le centre de la rive sud de la Merdja donnent un pH égale à 8,31 et une conductivité électrique de 1,94 dS/m.

* **Barrage de Gargar** : il présente une capacité de 420 Hm³. L'objectif assigné à ce barrage est d'assurer l'alimentation en eau potable de la ville d'Oran et de Relizane, ainsi que l'irrigation du Bas-cheliff et de la Mina. D'après **McDonald et al. (1990)**, la CE de l'eau de ce barrage est de 1,73 dS/m (au niveau de Lahlef).

* **Sabkhat Ben Ziane** : c'est une faible dépression qui reçoit les eaux résiduaires, mais qui n'a pas d'exutoire vers un cours d'eau. A cause de la forte évaporation, l'eau est très salée, le sel résiduel est utilisé à des fins commerciales.

D'après (McDonald et al., 1990), les ressources en eaux souterraines dans le Bas Cheliff ne sont pas bien quantifiées. Le potentiel mobilisable pourrait être de l'ordre de $12 \text{ hm}^3 / \text{an}$.

Actuellement les eaux souterraines sont utilisées pour satisfaire les besoins en eau potable, domestique et industrielle et sont parfois exploitées pour l'irrigation. Ces dernières années où la région a connu une sécheresse persistante, ont vu la rénovation et l'extension du réseau d'irrigation existant.

L'analyse physico-chimique des échantillons d'eau de vingt-sept forages (existants dans le Bas-cheliff) a donné les valeurs moyennes de quelques caractéristiques de cette eau. (**Tab. 2**)

Tableau 2 : Composition chimique moyenne de vingt-sept forages dans le Bas-Chélif. Agence des Bassins hydrographiques, **Chlef-Zahrez (2002 in Douaoui, 2006)**

	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	NO3 (mg/l)	CE (dS/m)	SAR (meq/l)	pH
Moy.	208	149	782	15	1323	646	287	80	4	11	8.3
Min.	58	31	193	3	191	72	149	16	1	2	7.8
Max.	371	524	2898	61	3983	2640	529	350	8	26	8.7

Les valeurs de la conductivité électrique varient entre un minimum de 1dS/m un maximum de 8 dS/m, la valeur moyenne est de 4dS/m. D'après **Abdelgawad (2000)**, cette eau de qualité très mauvaise est située dans la classe C4-S2 (très saline, sodicité moyenne), elle ne convient pas aux sols lourds. Pour l'utiliser, il faut ajouter une dose pour le lessivage, choisir des cultures résistantes au sel et les mettre dans un sol bien drainé.

I.1.4. Caractéristiques du sol

Une étude faite (**Rata et Mekhaneg, 2002**) sur 72 échantillons de sol de l'horizon superficiel, représentatif du Bas-Cheliff, sur quelques caractéristiques physico-chimiques, a donné les résultats suivants:

* **La salinité**, représentée par la conductivité électrique de la pâte saturée ($CE_{EPS25^{\circ}C}$), en moyenne est égale à $(9,32 \pm 7,67)$ dS/m. Elle varie entre 0,20 et 28,74dS/m. Les 40,28% des échantillons sont non salins. Les 30,56% appartiennent à la classe des salins et 19,44% à la classe des très salins à extrêmement salins.

* **Le pH**, avec une moyenne de $7,93 \pm 0,31$, varie entre 7,39 et 8,70. Les 40,28% des échantillons sont compris dans la classe des légèrement alcalins (7,1-8) et les 59,72% comprises dans la classe des alcalins (8,1-9).

* **La matière organique**, en moyenne de $(1,63 \pm 0,71)\%$, varie entre 0% et 3,38%, dont 61,66% ont des valeurs comprises entre 1 et 2% (classe pauvre en MO), 27,78% des échantillons sont caractérisés par une MO moyenne (2-4%) et 11,11% sont caractérisés comme très pauvres en MO (<1%).

* **Le pourcentage de sodium échangeable (ESP)**, avec une moyenne de $(18,08 \pm 17,14)\%$, varie entre 1,98% et 70,59%, dont 15,28% varient entre 10-15% (ESP moyen), 29,17% sont supérieurs à 20% (ESP très fort) et 30,56% des ESP faibles (5-10%).

* **La texture** : l'analyse granulométrique des 72 échantillons montre que 61,11% ont une texture limoneux-argileuse fine à limoneux-sableuse et 38,89% et présentent une texture argileuse à argilo-limoneuse.

I.2. La luzerne

I.2.1. Origine de la luzerne

La luzerne est le fourrage le plus important dans le monde .En conditions favorables, c'est le fourrage de légumineuses le plus productif, et probablement le premier fourrage à être cultivé (Suttie, 2004). La plus vieille référence de la culture de la luzerne remonte à 1300 ans avant J.C. en Turquie (Genier et al., 1992). Elle a été cultivée en Iran en 700 av. J.-C., arrivant en Grèce 200 ans après. La luzerne a atteint la Chine au second siècle av. J.-C. Elle n'est arrivée au Nord de l'Europe et en Australie que durant les deux derniers siècles. Elle s'est répandue à travers l'Europe du Sud, l'Afrique du Nord et l'Asie, et fut introduite en Amérique par les Espagnols, et plus tard répandue aux Etats-Unis au milieu du dix-neuvième siècle (Bolton et al., 1972 in Khelifi, 2008).

Le nom américain « *Alfalfa* » est d'origine arabe qui signifie « meilleur fourrage ». Les Italiens continuent à l'appeler ainsi. Les Espagnols l'appelle parfois *mielga* (Delgado, 2006).

Le nom luzerne est apparu en France en 1600 après plusieurs appellations, « sainfoin » en 1550 et luyserne en 1581. Ces appellations sont à l'origine du provençal *luzerno*, du patois *laouzerdo* et du catalan *userdas* (Guyot et Gibassier, 1967).

I.2.2. Classification botanique

Sous l'appellation luzerne, on trouve l'espèce *Medicago sativa* L. avec deux sous-espèces : la luzerne commune (*Medicago sativa*) et la luzerne faucille (*Medicago falcata*). *Medicago media* sont des hybrides issus du croisement de ces deux sous-espèces.

Medicago sativa, provient des zones sèches des hauts plateaux iraniens. A l'inverse, *Medicago falcata* vient de la Sibérie, elle résiste au froid (Prosperi et al., 1993 ; Mauriès, 1994).

Medicago sativa L., est une légumineuse appartenant à la famille des Fabacées (Quezel et Santa, 1962). L'espèce est classée comme suit :

Embranchement	Spermaphytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Sous-classe	Dialypétales
Ordre	Rosales
Famille	Fabacées
Sous-famille	Papilionacées
Tribu	Trifoliées
Genre	<i>Medicago</i>
Espèce	<i>Medicago sativa</i> L.

Généralement les variétés de luzerne sont classées suivant leur indice de dormance en types :

Le type non dormant (méditerranéen) :

Il regroupe les variétés à repos végétatif peu marqué, elles sont sensibles au froid ; cultivés dans les régions à hiver doux. Ce type est le plus cultivé dans le monde, on les trouve dans tous les pays à climat aride.

Le type semi-dormant (intermédiaire) :

Il regroupe les variétés à repos végétatif plus ou moins marqué, elles sont moins sensibles au froid que les précédentes ; cultivés dans les régions à hiver peu froid à frais.

Le type dormant (nordique) :

Il regroupe les variétés à repos végétatif très marqué, elles sont résistantes au froid ; cultivées dans les régions à hiver froid et très froid, ce type est cultivé dans l'Europe du Nord et de l'Est, en France, au Canada et aux Etats-unis.

I.2.3. Description

La luzerne est une légumineuse (dicotylédone), elle est formée de six parties : le collet, les tiges, les feuilles généralement trifoliées, les fleurs en grappes (mauve à jaune), les gousses (de 3 spires ou plus) contenant des graines brun-jaunes à vert-gris réniformes (**Fig.4**) et la racine avec un pivot central et des racines secondaires (**Fig.5**). Elle est herbacée vivace de 30 à 70 cm de hauteur.

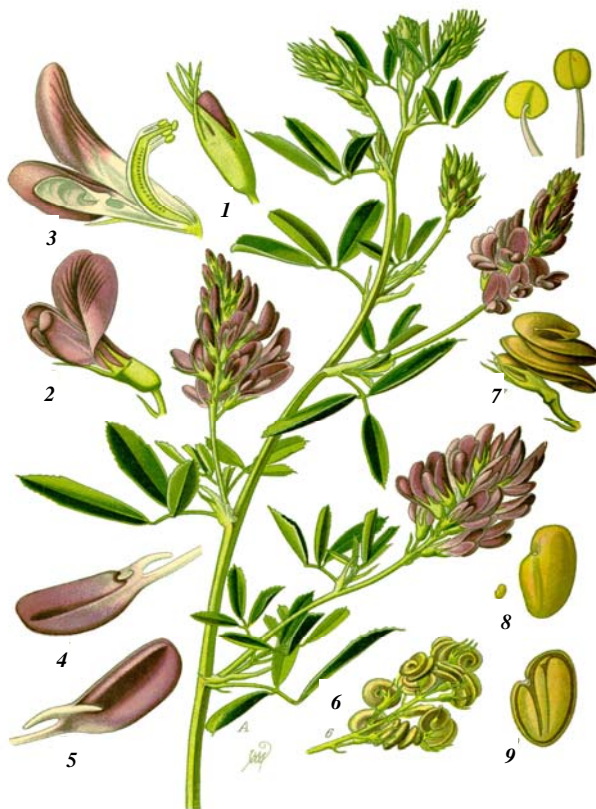


Figure 4 : Morphologie de la luzerne *Medicago sativa* L.
(Childers, 2008)

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1. Fleur | 7. Une gousse |
| 2. Fleur épanouie | 8. Une graine |
| 3. Fleur ouverte | 9. Coupe longitudinale d'une graine. |
| 4 et 5. Une pétale | |
| 6. Une inflorescence en stade fructification | |

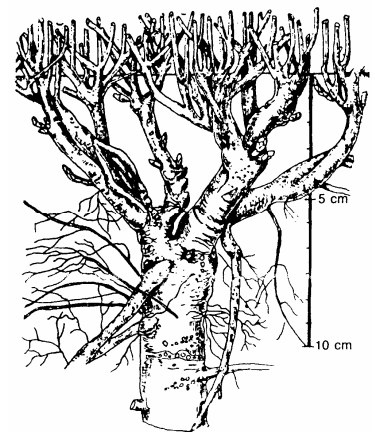


Figure 5 : Pivot et collet d'un pied de luzerne adulte (Mauriès, 1994)

Dans la figure suivante sont mentionnés les différents stades physiologiques de la luzerne (Fig.6).

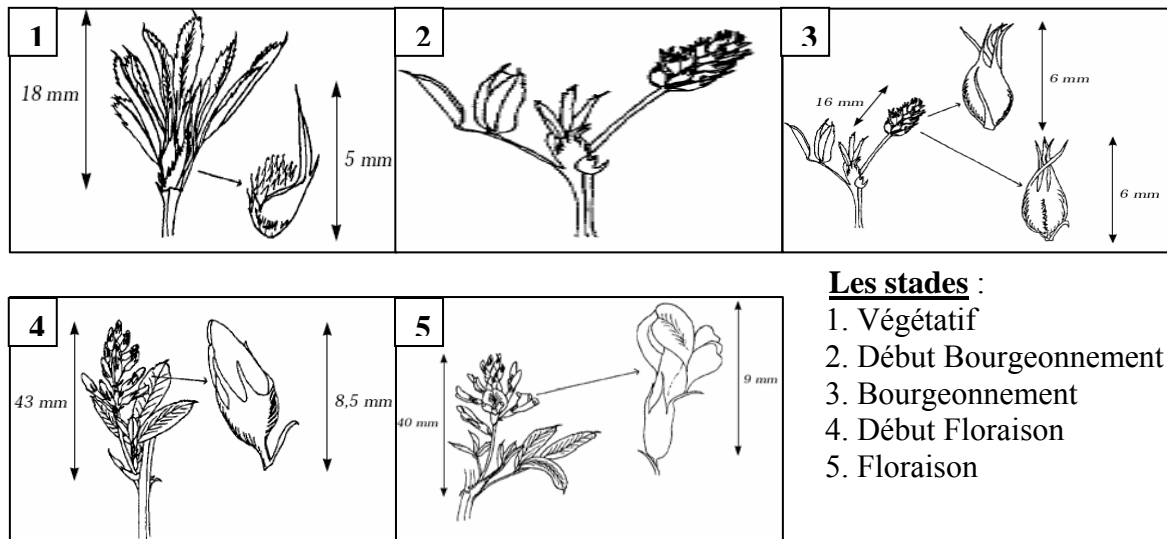


Figure 6 : Stades physiologiques de la luzerne, Mauriès (1994)

I.2.4. Intérêt de la luzerne

La luzerne est la légumineuse fixatrice d'azote atmosphérique la plus diffusée dans le monde. Elle est considérée comme culture couvre-sol (Vanpeene-Bruhier et al., 2002). Son système racinaire peut dépasser 1,5 mètres (Thiébeau et al., 2003). Ainsi elle a un intérêt :

- Pour son potentiel élevé de production de matière sèche 12 à 15 tonnes/ha (Genier et al., 1992);
- Epurateur des nitrates par son utilisation préférentielle de l'azote édaphique avant l'azote atmosphérique (Beaudoin et al., 1992 in Thiébeau et al., 2003);
- La luzerne rétrocède progressivement l'azote contenu dans sa biomasse détruite. Ainsi elle minimise la fertilisation azotée de la culture suivante (Justes et al., 2001 in Thiébeau et al., 2003);
- La luzerne nécessite très peu d'intrants chimiques. De ce fait elle contribue à la diversité de la faune et la flore. Ainsi la luzerne assure la durabilité des systèmes fourragers qui la comprennent ;
- Protection des sols vulnérables à l'érosion éolienne et hydrique pour éviter les pertes en sol ;
- Amélioration de la structure du sol par l'augmentation de l'activité microbienne suite à la fourniture de la matière organique qui résulte de la décomposition de la biomasse ;
- Amélioration de la perméabilité hydraulique des sols suite aux creusements des canaux par les racines denses de la luzerne. Ces canaux peuvent servir au transport de l'eau, ainsi évitent la compaction et l'engorgement du sol ;

I.2.5. Exigences de la culture

I.2.5.1. Exigences climatiques

La température : La vitesse de croissance de la luzerne est proportionnelle à la température jusqu'à environ 30°C, au-delà de ce seuil, elle chute rapidement pour s'annuler vers les températures de 40°C (**Livingstone 1916 in Guyot, 1999**). Cela veut dire que la luzerne résiste à des températures élevées (**Duthil, 1967**).

La lumière : La croissance et la production des végétaux dépendent de l'énergie solaire reçue dont l'utilisation est limitée par le froid de l'hiver caractérisé par les jours courts, ou la sécheresse de l'été caractérisée par les jours longs (**Lapeyronie, 1982**). Donc, le photopériodisme intervient dans les modifications morphologiques et dans la production de la matière sèche (**Hnatyszyn et Guais, 1988**).

I.2.5.2. Exigences hydriques

Les besoins en eau de la luzerne se situent entre 800 et 1600mm (**Doorenbos et Pruitt, 1975**). Cette quantité est fonction du climat et de la longueur du cycle de la végétation, de la levée de la dormance hivernale à l'entrée en dormance estivale.

I.2.5.3. Exigences édaphiques :

La luzerne préfère des sols profonds et bien drainés, avec un pH neutre à alcalin compris entre 6,5 et 8 (**Duthil, 1967**). Pour les sols acides, un amendement calcique est une précaution nécessaire (**Hnatyszyn et Guais, 1988**)

I.2.5.4. Exigences en éléments fertilisants

La luzerne est très exigeante en potasse et moins exigeante en phosphore. Pour produire une tonne de matière sèche, il lui faut 25kg de potasse (K_2O) et 12kg de phosphore (P_2O_5). Vu la symbiose existante entre luzerne et le *Rhizobium*, les apports en azote sont inutiles pour les plantes adultes (**Mauriès, 1994**).

I.2.6. Les principaux critères de choix de la luzerne

Le choix d'une luzerne est fonction du mode d'utilisation et des conditions agro-pédo-climatiques. Parmi les principaux critères de choix, on trouve :

La résistance à la verticilliose

La sensibilité à la verticilliose (dont l'agent est *Verticillium albo-atrum*) constitue un handicap pour la production de la luzerne par défoliation qui aboutit à la mort de la plante (**Genier et al., 1992**). La différence de production entre une luzerne sensible et une autre non sensible, peut atteindre 25% à 30% dès la 2^{ème} année (**Ghibeche, 2008**).

La résistance aux nématodes

Les nématodes des tiges (dont l'agent est *Ditulenchnus dipsaci*), vivent dans les méats intercellulaires et provoquent une désorganisation tissulaire qui aboutit au blocage de la croissance et à la mort de la plante (**Genier et al., 1992**).

La résistance à la verse

Une luzerne qui verse, perd jusqu'à 10% de sa production tant du point de vue quantité que qualité. En effet, un fourrage versé s'accompagne par des pertes de feuilles (organes riches en protéines).

La teneur en protéines

La luzerne déshydratée présente un intérêt particulier pour ses teneurs en matières azotées totales (MAT) supérieures à 20%.

En plus de ces critères de choix, quelques caractéristiques génétiques propres à chaque variété sont recherchées, à savoir :

La dormance automnale, la dormance estivale, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la résistance aux stress hydrique et/ou salin.

I.3. La pérennité

I.3.1. Dormance

La dormance est l'état de la plante pendant lequel les activités physiologiques associées à la croissance sont ralenties voir stoppées, mais de façon réversible. Une meilleure résistance au stress est associée au phénomène de dormance, les plantes étant moins riches en eau avec une activité respiratoire limitée. La dormance est l'un des moyens de survie (pérennité) pour les plantes lorsque les conditions du milieu extérieur sont très défavorables en raison d'un stress thermique (Chaleur, froid), stress salin (sol salé et/ou eau saline) et stress hydrique (sécheresse ou irrigation déficitaire).

Chez les légumineuses pérennes, le repos végétatif est fonction des conditions du milieu (intensité de la sécheresse et du froid). Cette faculté, se trouve réduite dans les conditions d'oasis et des régions humides (**Abdelguerfi et Abdelguerfi-Laouar, 2004**)

Toutes les variétés de luzerne sont classées avec un indice de dormance (ID). La dormance est notée de 1 à 12 (1 = dormance élevée ; 12 = dormance faible). Une plante qui a un indice faible, correspond à celle qui entre tôt en dormance automnale et qui démarre tard au printemps.

Dormance estivale

L'entrée en dormance estivale est la phase où nous observons l'absence de tissus verts suite à une sécheresse prolongée (**Silsbury, 1961**), la repousse est assurée avec les pluies automnales.

I.3.2. Stress

Un stress est toute contrainte au développement normale d'un être vivant. Pour les plantes, ce sont les contraintes environnementales qui sont à l'origine du bouleversement de la chaîne de croissance physiologique, morphologie et phénologique. Le stress peut provenir de deux sources, abiotique et/ou biotique. Parmi le stress abiotique, on trouve : le stress hydrique, le stress salin, le stress hydro-salin et le stress thermique.

I.3.2.1. Stress hydrique

I.3.2.1.1. Définition

La sécheresse peut être définie suivant son intensité et son objet. On parle d'une sécheresse sévère ou mortelle dans des conditions de culture conduite en pot où le détachement et la réhumidification du sol se fait très vite. On parle d'un manque d'eau dans le cas d'une sécheresse qui touche une culture conduite en plein champ où sa production se trouve limitée (**Amigues et al., 2006**).

Le stress hydrique correspond au niveau de disponibilité et d'accessibilité de la réserve en eau pour la plante. L'effet du stress hydrique provoque un bouleversement dans le fonctionnement normal de la plante. L'adaptation de la plante à une telle situation se fait à plusieurs niveaux et de plusieurs manières. Les trois formes d'adaptation à la sécheresse ou stress hydrique, sont définies par l'éviction, l'évitement et la tolérance (**Annerose et Cornaire, 1991**).

L'éviction est définie comme la capacité de la plante à réaliser son cycle complet de développement avant la manifestation d'importants déficits hydriques du sol.

L'évitement, est défini comme le maintien d'un niveau élevé du potentiel hydrique des tissus de la plante pendant des périodes sans pluies significatives par une croissance racinaire, absorption hydrique et réduction des pertes en eau.

La tolérance à la sécheresse, c'est la faculté qu'a une plante de maintenir l'intégrité de ses fonctions métaboliques par une endurance au déficit hydrique de ses tissus par le maintien de la turgescence (par les mécanismes d'accumulation des solutés dans les cellules déshydratées) et une tolérance à la déshydratation (en fonction de la capacité membranaire et cytoplasmique à résister à la dégradation et à la dénaturation) (**Annerose et Cornaire, 1991**).

L'espèce qui a un système racinaire pérenne très développé (exemple de luzerne), qui par éviction parvient à coloniser des sols peu favorables, perd son caractère de tolérance si elle est classée dans un milieu où les couches profondes ne sont pas colonisables (**Tardieu et al., 2006**).

Les végétaux ont la faculté de résister à des variations importantes de la teneur en eau de leurs tissus. Suivant le degré du stress hydrique, beaucoup de plantes peuvent supporter sans dommage apparent une perte de 30%. Cette valeur peut atteindre 70% pour la luzerne (**Morard, 1995 in Hireche-Adjal, 2006**).

Dans la phase d'interruption de l'alimentation hydrique, la plante trouve des difficultés à répondre à la demande climatique, la réserve en eau du sol au niveau du système racinaire diminue et la plante diminue sa transpiration.

Selon **Mekhlouf et al.**, cité par **Bensemmane et Bouzerzour (2006)**, sur blé le stress abiotique augmente de plus en plus après la saison hivernale.

I.3.2.1.2. Conséquences d'un stress hydrique

Tous les processus de la plante sont affectés par un déficit hydrique, ce dernier va entraîner des modifications physiologiques, morphologiques et phénologiques (**Hsiao, 1973 in Doré et al., 2006 ; Tardieu et Dreyer, 1997 in Kotchi, 2004**).

L'effet du stress hydrique affecte le métabolisme (modification biochimique) à court terme. Par la suite, les réponses à long terme, se manifestent sur la structure de la plante. (**Djebbar, 1991 in Mefti et al., 2006**).

Le stress hydrique agit sur :

La physiologie de la plante

Le stress hydrique agit sur la photosynthèse en augmentant la résistance stomatique qui affecte et verrouille la diffusion du CO₂ vers l'intérieur de la feuille ce qui induit une diminution de la photosynthèse. L'activité photosynthétique se trouve reculée et cause une perte d'organes végétatifs et reproducteurs qui affectent la production de biomasse et le rendement. (**Hanks et Rasmussen, 1982 in Hireche-Adjal, 2006 ; Passioura, 1994 in Doré et al., 2006**).

La réduction de l'activité synthétique causée par la fermeture des stomates, n'est pas un mécanisme adaptatif, mais une conséquence de la réduction des pertes en eau du couvert végétal. (**Doré et al., 2006**).

Un déficit hydrique accéléré provoque la sénescence de la surface photosynthétique en déclenchant précocement les mécanismes moléculaires de dégradation des protéines de la feuille (**Pic et al., 2002 in Doré et al., 2006**).

L'effet du stress hydrique ou thermique sur du blé, se manifeste par une accélération de la sénescence foliaire suivi de l'arrêt de la croissance du grain (**Bensemmane et Bouzerzour, 2006**).

En travaillant sur une légumineuse alimentaire (pois chiche), **Bacha et Ounane (2006)** trouvent qu'un stress hydrique affecte beaucoup plus la fixation de l'azote que l'assimilation particulière dans un sol pourvu en nitrates. Ils concluent que la nature de l'alimentation azotée peut influencer la résistance de la plante à la sécheresse.

La morphologie de la plante

La réponse du stress hydrique sur la structure et la morphologie de la plante se manifeste par une réduction de la surface foliaire, en limitant les pertes en eau par réduction de la surface d'échange et ceci par diminution du nombre et la taille des feuilles (**Doré et al., 2006**).

Fereres (1984) cité par **Hireche-Adjal (2006)**, annonce que la croissance de la surface foliaire en fonction d'un déficit hydrique modéré est considérée comme un mécanisme adaptatif qui intervient dans le transfert des assimilats qui favoriseraient la croissance du système racinaire qui par la suite améliore l'état hydrique de la plante.

Moursi et al (1979, in Hireche-Adjal, 2006), remarque qu'un tarissement des réserves hydriques du sol a causé une réduction relative des feuilles (nombre, surface et la teneur en eau), de la hauteur des plants et de la production en matière sèche.

Pour la luzerne, un stress hydrique réduit la croissance de la partie aérienne. La croissance des tiges est plus affectée que celle des feuilles. Le nombre de tiges par plant, l'élongation des tiges, le nombre d'entrenœuds par tige, la longueur des entrenœuds et des ramifications sont réduits (**Duru et Langlet, 1993 in Hireche-Adjal, 2006**).

Selon **Mauries (1998 in Hireche-Adjal, 2006)**, une luzerne soumise à un stress hydrique, voit la hauteur des tiges, le nombre, le poids des racines et celui de l'ensemble feuilles plus tiges diminuer. La production en matière sèche et le taux de croissance des feuilles diminuent également.

Lemaire (2006), conclut que la sécheresse (déficit hydrique) affecte principalement les processus du morphogénétisme des parties aériennes, la croissance des tiges et le développement de la surface foliaire.

La phénologie de la plante

Moïse (1976, in Hireche-Adjal, 2006), en travaillant sur la luzerne, constate que, sous un régime hydrique déficitaire, la floraison est plus précoce et la hauteur est plus faible qu'en condition humide.

Cette précocité peut atteindre l'ordre de quelques jours, ce qui a été trouvé par **Chaabena et al. (2004)** sur une population de luzerne pérenne Aoulef (qui porte le nom de la région où elle a été collectée) dans la région de Ouargla (Algérie) caractérisée par un climat saharien dont la précocité trouvée est de 15 jours après le semis.

La quantité nécessaire pour l'élaboration d'un kilogramme de matière sèche dépasse une tonne pour une alimentation hydrique insuffisante. A l'optimum, cette quantité atteint 600kg. En régime pluvial, la luzerne provoque un assèchement profond du sol (**Camille, 1980 in Hireche-Adjal, 2006**).

I.3.2.1.3. Détection du stress hydrique

Le diagnostic visuel du flétrissement du feuillage de la plante ne peut seul déceler l'existence ou non un stress hydrique. Le recours à des mesures directes et/ou indirectes sur la plante et le sol est nécessaire. Parmi ces mesures on cite :

Mesure sur la plante

L'état hydrique de la plante résulte de l'évolution, de l'absorption, de la transpiration et de la mise en réserve de l'eau dans la plante. Partant de ce principe, on peut mesurer le stress hydrique par le biais de plusieurs méthodes. A savoir la microphotométrie qui consiste en la mesure des micro variations de tout organe sensible au stress hydrique et la porométrie qui consiste à la mesure de la résistance stomatique en s/cm.

La méthode **humidimétrique**, est un moyen qui consiste à mesurer le taux d'humidité dans la partie aérienne et/ou souterraine de la plante. Parmi ces taux on distingue, le taux d'eau de la partie aérienne (feuille plus tige), la teneur en eau relative des feuilles, la teneur en eau de la partie supérieure du pivot.

La méthode **potentiométrique**, elle consiste à mesurer la force de rétention de l'eau contenue d'une feuille entièrement développée au sommet d'une tige.

La radiométrie infrarouge, consiste à la mesure de la température de la surface du couvert végétal sachant qu'elle est proportionnelle au degré du stress hydrique subi.

Mesure sur le sol

La connaissance de la variation de l'humidité du sol (méthode destructive ou non), peut nous aider à l'estimation de l'état du stress de la plante connaissant les valeurs seuils au-delà desquels la plante souffre d'un manque d'eau. La connaissance de la force de rétention de l'eau dans le sol par un tensiomètre, peut nous révéler quelle force de succion la plante doit exercer pour extraire ces besoins en eau du complexe sol.

Mesure indirecte

La mesure du niveau de stress hydrique peut se faire à travers des indices qui font intervenir la notion d'évapotranspiration. **Thevenet et Couvreur (1978, in Pindard, 2000)** proposent trois indices :

- Indice de l'état de sécheresse (ou stress hydrique) et qui est égal à la différence entre ETM et ETR (ETM-ETR).
- Indice du niveau de satisfaction des besoins de la culture qui est représenté par le rapport entre ETR et ETM (ETR/ETM).
- Indice de l'intensité du stress hydrique, c'est le rapport entre l'état de sécheresse et l'ETM. Il est calculé par la formule suivante : $(ETM-ETR)/ETM$ (ou $1-(ETR/ETM)$).

Les deux types d'évapotranspiration, peuvent être estimés à travers le bilan hydrique en utilisant la méthode neutronique.

I.3.2.1.4. Risque d'un stress hydrique

Le risque d'un stress hydrique (déficit ou excès d'eau) pendant la saison de croissance, peut être évalué en fonction des conditions pédoclimatiques de la culture, à savoir les précipitations (P), l'évapotranspiration (ET), le drainage(Dr) et la réserve utile (RU) du sol.

I.3.2.2. Stress salin

La salinité est la contrainte environnementale majeure qui réduit la surface des terres agricoles et la production végétale dans le monde entier (Aydi et al, 2006).

Dans les zones arides et semi-arides du bassin méditerranéen, l'action conjuguée de la salinité et la température est limitante pour une grande gamme de cultures (El-Boutahiri et al., 2008).

Une augmentation de la salinité dans les plantes se traduit par la déshydratation et la perte de turgescence. Un ajustement osmotique peut être réalisé par une accumulation des sels absorbés et de substances organiques au niveau des racines, des feuilles et les organes de reproduction qui permettent le rétablissement total ou partiel de la turgescence et la restauration du gradient du potentiel hydrique. Ainsi la plante restitue sa capacité d'absorber l'eau.

Mbarki et al. (2006), en travaillant sur le comportement de *Medicago sativa* dans un milieu en présence d'amendement organique dans des pots de 2,5 litres, irrigués avec de l'eau à des degrés différents de salinité (concentration initiale de l'eau, 3 et 6g/l). Après deux mois de culture, on remarque que le sodium contenu dans les parties aériennes de la plante est proportionnel à la dose de NaCl apporté. La croissance de la luzerne est inversement proportionnelle à l'accumulation du sodium (Na⁺) dans la partie foliaire.

La tolérance des végétaux au stress salin est un phénomène complexe qui conduit à un comportement (développement et morphologie) particulier avec des mécanismes physiologiques et biochimiques variés (Singloton, 1982 in Jebara et al., 2000).

Seklani et al. (1996), en travaillant sur l'effet des doses d'eau saline sur trois luzernes pérennes (Gabès, Hybride555 et Hunter Field), ont trouvé qu'après la deuxième coupe les cultivars se différencient par leur persistance (%). Au-delà d'une dose maximale de 10 g/l, tout les cultivars sans exception ont dépéris.

L'efficience d'utilisation de l'eau chez la luzerne est inversement proportionnelle à la salinité (eau saumâtre). Abdelgawad et al. (1996) en travaillant sur l'effet de l'eau saumâtre (5 niveaux de CE, 2-12 dS/m) avec 3 fractions de lessivage (0%, 15% et 30%) pendant 3 ans de 1992/93 à 94/95 à la station centrale arabe de Dir El-ZIR (Syrie), ont trouvé que l'efficience

moyenne de l'utilisation de l'eau est toujours inférieure à l'unité, elle varie avec le degré de salinité de l'eau d'irrigation et la fraction de lessivage (LF). L'efficacité (EUE) est de 0,21 à 0,94 KgMS/m³ pour une eau d'irrigation de salinité de 2 à 12dS/m et un LF nul. Elle est de 0,23 à 0,84 KgMS/m³ pour un LF de 15% et 0,14 à 0,71 KgMS/m³ pour un LF de 30%.

I.3.2.3. Stress hydro-salin

Le stress hydro-salin est l'effet jumelé du stress hydrique et stress salin. C'est l'une des contraintes majeures limitant considérablement la productivité végétale sur 40 % de la surface terrestre, surtout en région méditerranéenne (**FAO, 1988 in Jebara et al., 2000**).

Le stress hydro-salin a un effet néfaste sur le développement et le fonctionnement des nodosités c'est-à-dire sur la capacité fixatrice de l'association symbiotique (**Jebara et al., 2000**).

I.3.2.4. Stress thermique

La luzerne pousse dans des conditions climatiques diverses et supporte des températures extrêmes. La température accélère l'établissement de la surface foliaire dans une gamme allant de 10 à 28°C. Le taux d'apparition de nouvelles feuilles est proportionnel à la température jusqu'à 30°C puis décroît ensuite. La croissance des tiges diminue au dessous de 18°C et au-dessus de 30°C. La zone de température optimale pour l'activité symbiotique se situe entre 15 et 27°C. Le fonctionnement des nodosités se trouve dépressif à des températures supérieures à 30°C. Les températures très élevées (+ 40°C) peuvent réduire la croissance, le rendement et la pérennité.

I.3.2.5. Effet de l'âge sur le rendement

La sensibilité de la luzerne aux maladies et aux chutes de rendement devient importante en fonction de l'âge, en effet d'après **Mauriès (1994)**, en travaillant sur des luzernes et leurs associations, remarque qu'elles atteignent leurs rendements maximaux en troisième année de production. Au-delà de trois années, le rendement a tendance à diminuer.

I.3.3. Efficacité de l'utilisation de l'eau

I.3.3.1. Définition

L'efficacité d'utilisation de l'eau pour la production végétale (EUE) est définie comme étant le rapport entre la production et l'eau consommée (**Chamayou, 1984 ; CIRAD-GRET, 2002**). Pour un agronome, l'EUE est le rapport entre la production de matière sèche c'est-à-dire le rendement et la consommation en eau (ETR ou ETM)

$$EUE(KgMS / m^3) = \frac{\text{rendement en matière sèche}}{\text{eau consommée}} \quad (1)$$

Elle peut se calculer à plusieurs échelles de temps (**Doré et al., 2006**) et de niveaux d'analyse (stomate, plante). La technique de discrimination isotopique du carbone est de plus en plus utilisée par les physiologistes (**Farquhar et Richards, 1984**). Cette notion traduit l'efficacité des feuilles à échanger l'eau contre le gaz carbonique, c'est à dire le rapport entre la photosynthèse et la transpiration. Elle varie avec les conditions environnementales et induit une variabilité génétique importante. L'efficacité varie d'une part avec les conditions climatiques, d'autre part avec l'espèce. Son évaluation directe par la discrimination de l'isotope lourd du carbone (¹³C) par rapport à son isotope léger (¹²C) se mesure facilement avec un spectromètre de masse (**Guehl et al., 1993 ; Maillard et al., 1995 ; Amigues et al., 2006**). La discrimination isotopique traduit la part relative de l'eau pour l'activité photosynthétique (**Doré et al., 2006**).

I.3.3.2. Méthode d'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau

D'après **Bamouh (1998)**, l'amélioration de l'EUE peut se faire par :

a) Le choix de cultures adaptées à la sécheresse

Le choix des cultures a pour but de superposer la saison de croissance et la saison pluvieuse, il permet de profiter de la disponibilité en eau pour la transpiration et d'échapper au stress hydrique pendant la période reproductive. L'utilisation de variétés plus ou moins précoces permet une augmentation et une stabilisation des rendements dans les zones semi-arides.

Les caractères génotypiques peuvent contribuer à l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Parmi ces caractères, on trouve la résistance à la sécheresse par : la sensibilité à la photopériode, la plasticité dans le développement, le système racinaire bien développé et profond et l'ajustement osmotique. Pour les cultures pérennes il est préférable de choisir celle qui ont une faible dormance hivernale et une dormance estivale élevée c'est-à-dire une précoce entrée en dormance et un redémarrage qui coïncide avec le début des pluies.

b) Diminuer la part de l'évaporation dans l'ETR

En zone aride et semi-aride, la part de l'évaporation du sol est souvent supérieure à 50%. Cette eau non productive est une perte non négligeable qui se manifeste en début de cycle où le sol est faiblement couvert par la culture et où le sol est généralement humide en surface (**Bamouh, 1998**). Seule la quantité transpirée génère une production.

La réduction de l'évaporation peut se faire par le mulching, densité de peuplement couvrant rapidement le sol, et par l'utilisation de génotypes ayant une vigueur importante au départ et ayant un important rapport feuille-tige (cas de la luzerne) et/ou un indice foliaire qui maximise l'interception de la radiation.

Dans le cas d'un peuplement dense, l'évapotranspiration est équivalente à une transpiration, l'évaporation étant insignifiante (**Lelièvre et al., 2008**).

c) L'ajustement des besoins en eau des cultures par rapport à l'offre climatique

Les besoins en eau (ETM) des cultures sont fonction de la demande climatique (ETo) en relation avec le coefficient cultural Kc. Ce dernier est fonction de l'âge de la culture, avant et après la fauche pour les cultures pérennes (exemple de la luzerne), suivant les stades phénologiques pour la majorité des cultures annuelles. Cette technique joue sur le bilan hydrique, en rationalisant la disponibilité de l'eau pour les cultures.

Le contrôle des mauvaises herbes est un moins pour augmenter la disponibilité de l'eau pour les cultures, c'est-à-dire diminuer la concurrence à la source d'eau.

I.3.3.3. Mesure de la consommation en eau (ET)

La consommation en eau est calculée par la formule du bilan hydrique simplifié :

$$P + I + \Delta S - ET = 0 \quad (2)$$

Dans laquelle,

- $\Delta S = S1 - S2$, variation du stock hydrique du sol (mm),
- S1 : stock hydrique initial estimé à partir de mesure de profils hydriques par la sonde à neutrons après une coupe (mm), elle correspond à la teneur en eau à l'instant T1
- S2 : stock hydrique final avant la coupe (mm), elle correspond à la teneur en eau à l'instant T2.
- P (mm) est la pluviométrie durant Δt ,
- I (mm) représente les apports éventuels par irrigation durant Δt .

I.3.3.3.1. Méthode de calcul de la teneur en eau

Les méthodes de mesure de la teneur en eau dans un profil de sol, différent par leurs principes. On peut trouver :

I.3.3.3.2. Méthode gravimétrique

Elle consiste à prélever un échantillon de sol et le peser avant et après la mise à l'étuve (100-105°C) durant 24 heures pour en déduire la masse de l'eau et de la terre sèche. C'est la méthode de référence pour l'estimation de la teneur en eau (**Parcevaux et Huber, 2007**).

I.3.3.3.3. Méthode par réflectométrie dans le domaine temporel (TDR)

Les sondes TDR permettent de mesurer l'humidité volumique du sol en place. La détermination de cette teneur en eau, passe par la détermination de la constante diélectrique du sol (**Parcevaux et Huber, 2007 ; Laurent, 2006**). Connaissant la constante diélectrique relative (ϵ_r) et par la relation (**Topp et al, 1980**), on en déduit la teneur en eau volumique :

$$\theta = a + b \epsilon_r + c \epsilon_r^2 + d \epsilon_r^3 \quad (3)$$

a, b, c et d : coefficient de régression

ϵ_r : Le rapport entre le potentiel dans le vide et le potentiel dans un matériau diélectrique (sol)

I.3.3.3.4. Méthode neutronique

Le suivi spatio-temporel de l'humidité (teneur en eau) du sol par les méthodes destructives à savoir la méthode gravimétrique présente plusieurs inconvénients :

- Après chaque prélèvement et répétition, le sol est perturbé et une petite parcelle sera endommagée ;
- Si la profondeur est respectée, l'échantillon du sol n'est pas le même et il correspond à un autre point ;
- La perte de temps pendant l'échantillonnage sur terrain (répétitions, profondeur) et au laboratoire par le transit de l'échantillon à l'étuve pendant 24 heures pour séchage ;
- La coupure imprévisible du courant électrique pendant les 24 heures de mise en séchage qui peut fausser la teneur en eau de l'échantillon du sol ;

Donc le recours à des méthodes rapides non destructives comme la sonde à neutron est jugée utile.

I.3.3.3.4.1. Description et principe de fonctionnement de la sonde à neutron

Elle est constituée de deux parties, la première est un cylindre contenant une source radioactive émettrice de neutrons rapides (d'une énergie moyenne de 2 MeV), un détecteur de neutrons lents (énergie inférieure à 0,025 eV) et un préamplificateur. La deuxième partie est constituée d'un système électronique de comptage du signal provenant du préamplificateur. Ce système est formé par un amplificateur, une source de haute tension, un compteur d'impulsions (chaque impulsion correspond à un neutron lent) pour convertir, une horloge, un dispositif d'alimentation par batterie rechargeable et un microprocesseur qui convertit les comptages bruts en coups par minute (cpm).

La sonde fonctionne suivant le principe de ralentissement des neutrons. Une fois les atomes rapides de charge nulle émis par la source radioactive, ils seront ralentis par choc élastique en contact avec les atomes d'hydrogène et certains composants du sol. Une fois que l'état énergétique des neutrons avoisine celle des atomes du milieu (neutron lent), ils seront détectés par le détecteur BF₃ (trifluorure de bore).

La dispersion par collision est la plus importante interaction que subie le neutron avec son milieu (**Ruelle et Rieul, 2003**).

Pour que le neutron s'affaiblisse, il lui faut 18 collisions avec l'atome d'hydrogène (^1H), 25 collisions pour l'hydrogène bivalent (^2H) et 115 collisions pour l'atome du carbone (^{12}C) (**Bacchi et al., 2000**).

I.3.3.3.4.2. Les tubes d'accès

Le tube d'accès de la sonde est constitué en matériau transparent aux neutrons. Pour cela, l'aluminium est le meilleur matériau en plus de sa résistance à la corrosion. Le polyéthylène ou d'autres plastiques peuvent être utilisés, mais le taux de comptage est élevé à cause de leurs fortes teneurs en hydrogène (**Bacchi et al., 2000**).

Les tubes obturés de leur base, sont installés dans des trous à diamètre légèrement petit que celui des premiers (diamètre externe) pour assurer un contact intime sol-tube. Le tube est enfoncé à une profondeur de travail, majoré de 10 à 20cm.

I.3.3.3.4.3. Etalonnage de la sonde

L'étalonnage consiste à établir pour un système sonde-tube-sol, la relation entre l'humidité volumique du sol et la lecture de l'appareil (cpm).

Cette relation est établie en utilisant un échantillon de sol prélevé avec la méthode gravimétrique en correspondance avec le nombre de comptage de la sonde à neutron (**Chamayou, 1984 ; Bacchi et al., 2000**). Le comptage relevé est transformé en comptage relatif (CR) pour éliminer la dérive de l'électronique due aux effets de la température et d'autres problèmes qui peuvent affecter la sonde. Pour cela, on plonge un tube étanche à la base dans un récipient d'au moins de 60 cm de diamètre et 1 mètre de hauteur, plein d'eau (**Bacchi et al., 2000**). Le comptage (Cs) doit être constant pour un long intervalle de temps et les valeurs ne doivent pas dépasser la limite de : $Cs \pm \sqrt{Cs}$

Une fois le jeu de données (teneur en eau, comptage) possibles obtenu, la relation d'étalonnage est réalisée par une corrélation simple et la courbe d'étalonnage prend la forme de :

$$\theta_v = a + b * CR \quad (4)$$

θ_v : Humidité volumique ($\theta_v = d_a * \theta_m$)

θ_m : Humidité massique

CR : Comptage relatif

A, b : coefficient d'ajustement

L'étalonnage de la sonde à neutron peut se faire de plusieurs manières :

L'étalonnage au laboratoire :

Des sols de densités apparentes, teneur en eau connue, placées dans des fûts de 80 à 120 cm de diamètre et de 100 à 150 cm de hauteur. Un tube d'accès de la sonde est placé au milieu du fût. Une fois le comptage réalisé, la courbe d'étalonnage est établie.

L'étalonnage sur terrain :

Il consiste à installer des tubes directement sur le terrain, de relever des comptages dans différentes conditions d'humidité et de recueillir immédiatement après et aux mêmes côtés des échantillons au alentour des tubes ou dans le trou même. La teneur en eau est obtenue par la méthode gravimétrique.

Etalonnage rapide sur terrain :

Cette méthode consiste à mesurer avec la sonde le comptage avant et après d'un sol humecté d'une lame d'eau connue.

La perte en eau est déduite par :

$$b = \frac{S_f - S_i}{\left[\sum_0^z CR_f * \Delta Z - \sum_0^z CR_i * \Delta Z \right]} \quad (5)$$

S_f : Stock d'eau final

S_i : Stock d'eau initial

CR_f et CR_i : Comptage relatif final et initial

$(S_f - S_i)$: Correspond à la lame d'eau appliquée sur le sol

L'ordonnée à l'origine s'obtient par : $a = \theta_v - b * CR$

θ_v , déterminé par gravimétrie sur un échantillon de sol (profondeur de 35cm) avec un comptage correspondant.

I.3.3.3.4.4. Méthode de détermination du stock d'eau :

Le stock d'eau est la quantité d'eau stockée dans un profil de sol de profondeur Z, est obtenu par :

$$S = \int_0^Z \theta(z) dz \quad (6)$$

Pour cela, deux méthodes analytiques peuvent être utilisées, méthode des trapèzes ou méthode de Simpson.

a. Méthode des trapèzes :

La méthode consiste à tracer le profil en lignes brisées, calculer la quantité d'eau contenue dans chaque tranche de sol (Z_i, Z_{i+1}) d'épaisseur ΔZ . La surface du trapèze est calculée pour :

$$\left(\frac{\theta_i + \theta_{i+1}}{2} \right) * \Delta Z \quad (7)$$

Pour tout le profil, on somme toutes les surfaces des trapèzes de même ΔZ et la formule générale devient :

$$S = \sum_{i=0}^{n-1} (\theta_i + \theta_{i+1}) * \frac{\Delta Z}{2} = \left(\frac{\theta_0}{2} + \theta_1 + \dots + \theta_i + \theta_{n-1} + \frac{\theta_n}{2} \right) * \frac{\Delta Z}{2} \quad (8)$$

Avec : $\theta_0 \cong \theta_1$, on aura :

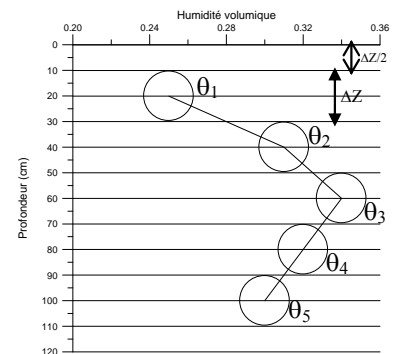


Figure 7: Exemple de profil hydrique

Méthode de Simpson :

Cette méthode consiste à interpoler le profil par des paraboles ajustées, segment après segment sur trois points. La formule pour cette méthode est décrite par (Carnahan et al., 1969 in Bacchi et al., 2000) :

$$S = \int_0^Z \theta(Z) dZ = \left[\frac{1}{3} \theta_0 + \frac{4}{3} \theta_1 + \frac{2}{3} \theta_2 + \frac{4}{3} \theta_3 + \dots + \frac{2}{3} \theta_i + \frac{4}{3} \theta_{i+1} + \frac{2}{3} \theta_{2n-2} + \frac{4}{3} \theta_{2n-1} + \frac{1}{3} \theta_{2n} \right] * \Delta Z \quad (9)$$

Avec : $\theta_0 \cong \theta_1$, on aura :

$$S = \left[\frac{5}{3} \theta_1 + \frac{2}{3} \theta_2 + \frac{4}{3} \theta_3 + \dots + \frac{2}{3} \theta_i + \frac{4}{3} \theta_{i+1} + \frac{2}{3} \theta_{2n-2} + \frac{4}{3} \theta_{2n-1} + \frac{1}{3} \theta_{2n} \right] * \Delta Z \quad (10)$$

CHAPITRE II :
MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES**II.1. Matériel végétal**

Les cultivars utilisés dans le projet PERMED sont au nombre de 16. Ils ont des provenances et caractéristiques différentes dont la dormance notée de 1 à 12, 1 très dormant et 12 non dormant.

*** Les cultivars provenant de l'Italie****Ecotipo siciliano :**

Originaire de la Sicile, c'est une population locale dont l'indice de dormance (ID) est estimé à 6.

Prosementi :

Il tire son nom de la compagnie qui l'a amélioré (Production Sementi, Bologna) à partir d'un germoplasme local. Sélectionné en 1973, son indice de dormance est estimé à 6 (Semi dormant). Il a une très bonne adaptation aux conditions pédoclimatiques du nord et centre de l'Italie. Il est très résistant au froid et à la sécheresse.

Mamuntanas : C'est un cultivar italien originaire de Sardaigne sélectionné en 1982

*** Les cultivars provenant de la France****Melissa :**

C'est un cultivar sélectionné par l'INRA Montpellier (France) et enregistré dans la liste française et européenne des variétés comme un cultivar de type méditerranéen, possédant une dormance estimée à 6,5. Il est adapté aux régions chaudes de la plus part des pays ouest méditerranéens.

Magali :

C'est un cultivar sélectionné par l'INRA Montpellier (France) et enregistré dans la liste française des variétés. Il est issu du croisement de deux cultivars de luzerne, l'un de type dormant (Flamande), l'autre de type non dormant (Provence). Son Indice de dormance est situé entre 5,5 et 6,0. Il est largement adapté au climat méditerranéen subhumide, aussi bien en pluvial qu'en irrigué.

Coussouls :

C'est un cultivar sélectionné par l'INRA Montpellier (France) et enregistré dans la liste française des variétés. Amélioré à partir d'un matériel de type Provence originaire de la vallée du Rhône, il représente le type méditerranéen de luzerne classique pour le sud de la France (climat subhumide) où il peut être cultivé aussi bien en pluvial qu'en irrigué. L'indice de dormance est compris entre 5,0 et 5,5.

*** Cultivars provenant du Maroc****Erfoud 1 :**

Issu d'une population locale originaire du Sud Est du Maroc de l'Oasis de la vallée Ziz, il est tolérant au sel au stade de germination et élongation. De plus, il est très productif dans les conditions de stress hydro-salin. Il a un indice de dormance estimée à 6.

Demnat :

Issu d'une population locale originaire des montagnes d'Atlas du Maroc, il est actif en hiver, l'indice de dormance est estimé à 9. Il est très productif dans les véritables conditions de ferme et aussi durant la sécheresse estivale.

Rich2 :

Issu d'une population locale originaire du Sud Est du Maroc de l'Oasis de la vallée de Ziz, il a été amélioré à l'INRA Maroc. Il est actif en hiver avec un indice de dormance de 8. Il est très adapté aux conditions pédoclimatiques des oasis (stress hydro-salin).

*** Cultivar provenant de l'Algérie****Tamantit :**

Il est issu d'une population d'Oasis cultivée dans le village de Tamantit situé à environ 10km au Sud de la ville d'Adrar (Sud-Ouest de l'Algérie). Il donne une luzernière fauchée de façon très fréquente. Par contre au nord, il s'adapte mal, il s'est montré sensible à différents ravageurs et agents pathogènes.

*** Cultivars provenant de la Tunisie**

Africaine : Originaire du Maroc et de la Tunisie

Gabès 2355:

Pour le Projet PERMED, c'est un cultivar référence pour tout type oasisien. En Tunisie, Gabès est le nom de luzerne oasisien, originaire de Gabès dans le sud. C'est un cultivar de type oasisien relativement résistant au sel, avec un taux de dormance probable entre 8 et 10 (**Khelifi, 2008**).

*** Cultivars provenant de l'Australie****Sardi 10 :**

Commercialisé sous le nom Sardi Ten, c'est un cultivar hautement actif en hiver, l'indice de dormance automnale est de 10. Il tire son nom de l'institut de la recherche et développement du sud de l'Australie (South Australia Research and Development Institute) qui l'a sélectionné, en ajoutant le chiffre 10 (indice de dormance).

Siriver :

Cultivar très actif (estimation de la dormance automnale : 9+) ; créé en 1980 en Australie. Les plants parents ont été sélectionnés juste pour leur résistance aux pucerons, donc cette variété est très résistante aux pucerons.

*** Cultivars provenant de l'USA****Ameristand 801s :**

C'est un cultivar synthétique issu de 250 parents, sélectionné par sélection récurrente (après 10 cycles) pour augmenter la germination et la production fourragère dans les conditions de stress salin (sol et eau); la dernière sélection a été effectuée sur des essais pour la résistance au sel en Arizona et Californie. Il est issue 100% du cultivar Salado. La dormance est de 8.

ABT 805 :

Très récemment nommé Bulldog 805 ; c'est un cultivar synthétique issue de 90 parents. Il a une faible dormance (estimation de dormance automnale de 8) ; sélectionné pour la tolérance au pâturage en comparaison au cultivar Florida 77 qui est utilisé comme foin. ABT 805, peut être récolté pour faire du foin.

II.2. Conditions expérimentales

II.2.1. Localisation

Notre expérimentation s'est déroulée à la station de l'Institut National de Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) située à 3 km à vol d'oiseau de la partie Nord-Ouest de la ville de H'madna. Elle se trouve dans la plaine du Bas-Chellif du Nord-Ouest de l'Algérie, d'une surface de 40 000 ha. Elle se trouve à 35 km à vol d'oiseau de la méditerranée. Par route (RN4), elle se situe à 270 km d'Alger, à environ 70 km de la ville de Chlef et 30 km de la ville de Relizane (partie Est).

Elle est localisée géographiquement par la latitude $35^{\circ}54'$ (Nord) et la longitude $00^{\circ}54'$ (Est) à une altitude de 48 mètres par rapport au niveau de la mer (**Fig.8**)



Figure 8 : Localisation du site d'expérimentation (google_earth, 2005)

II.2.2. Les conditions climatiques des campagnes d'étude

Les données climatiques disponibles au niveau de la station ont servi comme base pour la caractérisation du climat des deux campagnes d'étude (2006-2007 et 2007-2008). Les paramètres climatiques pris en compte sont : Les valeurs mensuelles figurant dans le tableau 3 et 4.

- Les températures (moyennes et absolues) en °C ;
- L'humidité moyenne en % ;
- La vitesse du vent à 2m du sol en m/s ;
- La durée d'insolation en heure ;
- L'évapotranspiration de référence (Penman-Monteith) en mm ;
- Autres paramètres (Gelée et brouillard).

Tableau 3 : Données climatiques mensuelles de la campagne 2006-2007 (Station H'madna)

Mois	Txabs	Tnabs	Tmx	Tmn	Tm	Hm (%)	V (m/s)	I (h)	P(mm)	ETo(mm)
Sep.	41.48	9.43	33.16	17.54	25.35	51.08	1.69	7.23	0.70	123.30
Oct.	41.85	8.52	31.51	14.18	22.85	52.37	1.38	7.40	1.80	92.30
Nov.	31.67	1.56	24.82	9.32	17.07	55.45	1.22	5.32	0.30	53.30
Dec.	24.81	1.61	17.26	7.65	12.46	74.86	1.45	2.38	78.10	34.90
Jan.	22.18	-1.60	17.53	2.64	10.09	73.20	0.85	4.92	47.00	30.20
Fev.	24.84	2.58	18.88	7.84	13.36	83.18	1.76	4.95	24.50	41.40
Mars	27.10	-2.51	20.46	4.37	12.42	69.09	1.61	7.22	57.60	74.60
Avril	27.23	3.17	21.43	9.86	15.65	73.36	1.63	4.69	107.90	80.80
Mai	39.18	6.35	29.25	10.68	19.97	51.66	1.75	10.24	18.60	150.20
Juin	39.30	6.90	34.18	15.96	25.07	55.28	2.02	11.40	0.00	178.40
Juil.	44.13	15.42	40.26	19.75	30.01	51.20	1.68	11.70	0.30	201.70
Août	44.92	16.48	38.90	20.61	29.76	48.35	1.87	9.95	0.00	186.20
Total									336.80	1247.40
Max.	44.92				30.01	83.18	2.02	11.70		
Min.		-2.51			10.09	48.35	0.85	2.38		
Moy.			27.30	11.70	19.50	61.59	1.58	7.28		

Tableau 4 : Données climatiques mensuelles de la campagne 2007-2008 (Station H'madna)

Mois	Txabs	Tnabs	Tmx	Tmn	Tm	Hm (%)	V (m/s)	I (h)	P(mm)	ETo (mm)
Sep.	38.79	-3.30	30.20	14.28	22.24	64.95	1.89	7.11	34.40	112.50
Oct.	32.84	7.01	26.94	12.93	19.93	78.46	1.33	6.69	47.40	70.50
Nov.	25.81	-2.33	20.60	5.55	13.08	68.37	0.90	5.15	32.30	39.10
Dec.	22.15	-4.30	17.32	3.34	10.33	73.51	0.78	3.55	5.90	26.70
Jan.	22.28	-3.17	18.28	3.10	10.69	72.34	0.97	5.30	17.60	33.80
Fev.	25.76	-1.21	21.24	5.91	13.57	63.67	1.92	6.44	14.90	62.60
Mars	31.01	-2.80	22.26	5.59	13.92	56.94	2.08	7.19	14.00	92.70
Avril	35.21	1.89	27.57	8.78	18.17	44.35	1.84	9.01	11.60	128.60
Mai	36.15	7.05	27.97	12.94	20.45	58.62	2.60	7.06	31.70	142.40
Juin	44.92	9.15	35.31	16.45	25.88	47.53	2.17	11.80	12.10	196.30
Juil.	42.95	13.68	39.05	20.59	29.82	42.12	1.81	10.51	7.90	204.50
Août	44.11	16.05	39.78	20.98	30.38	51.46	2.13	11.04	0.20	198.90
Total									230.00	1308.60
Max.	44.92				30.38	78.46	2.60	11.80		
Min.		-4.30			10.33	42.12	0.78	3.55		
Moy.			27.21	10.87	19.04	60.19	1.70	7.57		

Notre climat s'est caractérisé par une gelée de 12 jours (étalée sur 3 mois) débutant le mois de janvier, et de 16 jours (étalée sur 5 mois) débutant le mois de novembre respectivement pour la 1^{ère} et la 2^{ème} campagne.

Pour la campagne 2006/07, la pluie enregistrée (336.80mm) est supérieure à la moyenne de 13 ans (282,19mm). L'évapotranspiration (1247,40mm : 21,57% en automne, 8,53% en hiver, 24,50% au printemps et 45,40% à l'été), la température maximale absolue (44,92°C) et la température minimale absolue (-2,51°C) sont inférieures à celles de la période 1993/94-2004/05.

Pour la campagne 2007/08, la pluie 230,00 mm (49,61% en automne, 16,70% à l'hiver, 24,90% au printemps et 8,78% à l'été), ETo (1308,60mm : 16,97% en automne, 9,41% en hiver, 27,79% au printemps et 45,83% à l'été), Txabs (44,92°C), Tm (10,87) sont inférieures aux valeurs de la période de 13 ans.

Pour la température moyenne journalière de la campagne 2006/07, nous remarquons que 7,68% des valeurs sont $\leq 10^{\circ}\text{C}$, 84,36% sont comprises entre 10°C et 30°C et 7,96% sont supérieures à 30°C sans toucher le seuil de 35°C . Les valeurs $\leq 10^{\circ}\text{C}$, dont 82,34% sont concentrées pendant la saison hivernale. Les valeurs supérieures à 30°C , sont affectées à la saison estivale. Par contre les valeurs comprises entre 10°C et 30°C , sont réparties presque équitablement entre les saisons avec des pourcentages qui varient entre 20% et 30%.

Concernant la campagne 2007/08, nous remarquons que 10,66% des valeurs de la température moyenne journalière sont inférieures à 10°C (dont 33,33% automne, 58,97% en l'hiver, 0% au printemps et 7.70% en été). Les 78,96% des valeurs de la température sont comprises entre 10°C et 30°C (dont 26,99% en automne, 23.53% à l'hiver, 31,84 au printemps et 17,65 à l'été). La saison estivale englobe toutes les valeurs de températures journalières moyennes supérieures à 30°C sans atteindre le seuil de 35°C .

Les ETo mensuelles de la campagne 2006/07, sont toujours supérieures à celles de la période 1993/94-2005/06 sauf pour le mois d'octobre et novembre. Par contre, pour la campagne 2007/08, elles sont supérieures à la moyenne pour les mois de février-mars-avril et supérieures pour les autres mois (Fig.9)

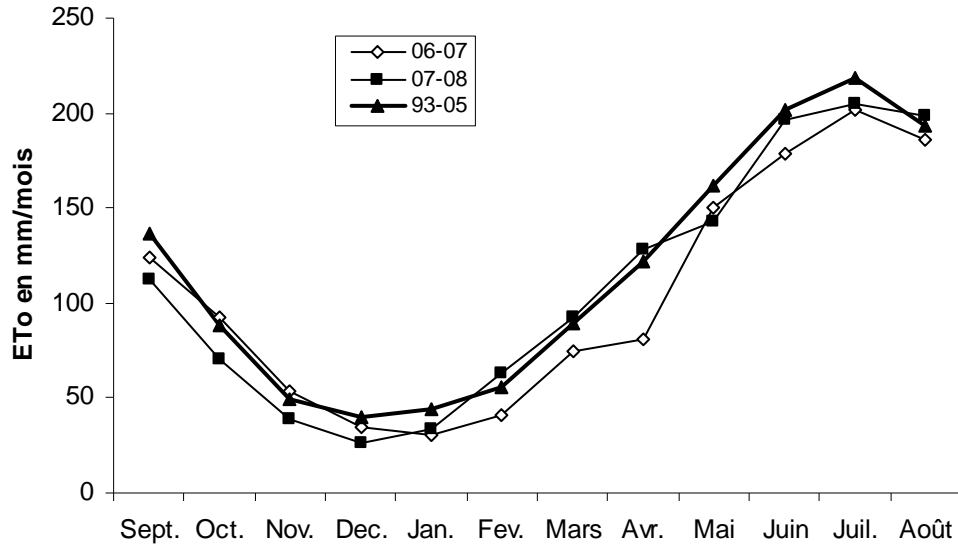


Figure 9 : Evolution mensuelle de l'ETo des deux campagnes (2006/07 et 2007/08) par rapport à la moyenne de la période 1993/94-2005/06.

Pour la répartition décadaire de la pluie (mm) et l'ETo (mm/décade) pour la campagne 2007/08, c'est seulement pour trois décades (3^{ème} décade d'octobre, 3^{ème} décade de novembre et 1^{er} décade de janvier) que nous enregistrons un gain de pluie c'est-à-dire que la P>ETo. (Fig.9)

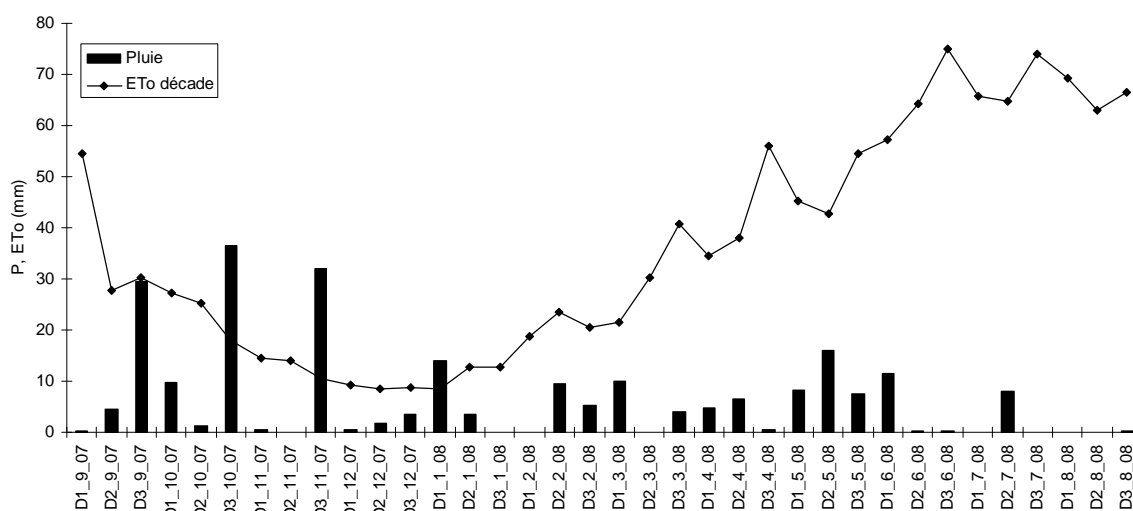


Figure 10 : Répartition décadaire des pluies et ETo, campagne 2007/08

II.2.3. Caractéristiques du sol

Les analyses des échantillons de sol de l'horizon 0-35cm sur les quatre blocs pour les deux essais sont réalisées et nous révèlent d'après les valeurs moyennes (**Tab.5**), que la texture est argilo-limoneuse, le pH est neutre à alcalin et d'après la classification de **RICHARD (1954)** que notre sol est salé avec une valeur moyenne de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée comprise entre 5,13 dS/m et 6,89dS/m.

Tableau 5 : Quelques caractéristiques physico-chimiques du sol de l'horizon 0-35cm*

	ESSAI IRRIGUE	ESSAI PLUVIAL
	Moyenne des blocs	Moyenne des blocs
Granulométrie		
Argile %	43,5 ± 0,58	43,5 ± 3,11
Limon Fin %	24 ± 0,82	24,75 ± 0,96
Limon grossier %	9,5 ± 1,29	9,75 ± 1,71
Sable fin %	12,5 ± 0,58	13 ± 1,63
Sable grossier %	7,75 ± 1,50	6 ± 0,82
pH	7,72 ± 0,08	7,76 ± 0,08
CE extrait pâte saturée dS/m à 25°C	6,89 ± 1,56	5,13 ± 1,52
Complexe absorbant		
Ca en mé/100g	28,34 ± 1,18	27,04 ± 1,12
Mg en mé/100g	6,17 ± 0,34	5,95 ± 0,37
Na en mé/100g	2,51 ± 0,87	2,18 ± 0,46
K en mé/100g	1,46 ± 0,12	1,23 ± 0,06
T en mé/100g	22,16 ± 1,35	22,43 ± 2,06
Carbone en %	10,35 ± 0,33	9,5 ± 0,50
Phosphore Assimilable P2O5 en ppm	89,88 ± 2,68	77,79 ± 4,55

* Analyses des échantillons de la première année d'expérimentation 2004-2005 (projet PERMED)

La densité apparente est obtenue par la méthode des anneaux, après creusement du profil de sol à 1,40 m. Les résultats des mesures sont comme suit : (Tab. 6)

Tableau 6 : Densité apparente en fonction de la profondeur

Profond. (cm)	da
0-20	1.52
20-40	1.62
40-60	1.44
60-80	1.49
80-100	1.60
100-120	1.60
120-140	1.60

II.3. Protocole expérimental

II.3.1. Dispositif expérimental

Vu l'existence d'un gradient de salinité Sud-Nord, et un seul facteur à étudier, le dispositif expérimental adopté pour les deux essais (Pluvial et ETM) est un dispositif en bloc aléatoire complet (ITGC-ITCF, 1987). Les deux essais sont disposés côte à côte espacés d'environ 2,5m. Chaque essai est constitué de quatre blocs espacés de 0,60m, chaque bloc comporte seize parcelles élémentaires de 2,5x2 m² espacées de 40cm, chacune d'elle est constituée de 10 rangs. Les six rangs du milieu sur une longueur de 2m (soit une superficie de 2,4m²), servent à l'estimation de la matière végétale produite.

II.3.2. Conduite de l'essai

II.3.2.1. Préparation du lit de semence

Pour l'année de mise en culture, le précédent cultural est une céréale. Les travaux réalisés pour la préparation du lit de semence sont :

- Labour 25-30 cmmois septembre
- Disquage, hersagemois d'octobre
- Nivellement et confection des parcelles élémentaires.....mois d'octobre

II.3.2.2. Le semis

Le semis est réalisé à la main avec une dose de 25 kg/ha, pour les deux essais dans la même journée du 17/10/2004, chaque parcelle élémentaire comporte un cultivar. Afin d'homogénéiser la dose de semi, la quantité apportée par parcelle élémentaire est répartie sur 10 petits sachets, chacun d'eux est semé sur une ligne à une profondeur de 1 à 2cm sur les dix existants.

Une luzerne commerciale (Moapa) a été utilisée comme bordure (sur deux lignes) et comme séparateur entre les parcelles élémentaires (une seule ligne) et les blocs (deux lignes).

Pour l'estimation du stock d'eau du sol par la méthode neutronique, un tube d'accès en PVC est installé jusqu'à une profondeur de 1,40m au milieu de chaque parcelle élémentaire pour l'essai conduit en pluvial. Pour l'essai en conduit en ETM, au milieu de chaque bloc, un tube d'accès est installé à la même profondeur que celui de l'essai en pluvial.

II.3.2.3. La fertilisation

Au début de la 2^{ème} et 3^{ème} campagne, la fertilisation est apportée par un épandage de P₂O₅ et K₂O avec une dose de 75 Kg/ha pour chacun des engrais.

II.3.2.4. Le désherbage

Le désherbage manuel est fréquemment utilisé afin d'éviter la concurrence des mauvaises herbes sur l'eau disponible à la culture de la luzerne et ne pas favoriser le milieu propice à l'apparition des maladies.

II.3.2.5. L'irrigation

L'irrigation de l'essai conduit à l'ETM est assurée par aspersion, les asperseurs ont un débit de 8mm/h avec une portée et angle de balayage réglable. Les besoins en eau de la luzerne définie par l'évapotranspiration maximale (ETM), sont estimés par la formule qui fait intervenir l'évapotranspiration de référence (ETo) et le coefficient culture (Kc), par la relation suivante :

$$ETM = Kc \times ETo \text{ avec } Kc = 0.8 \quad (11)$$

L'évapotranspiration de référence est calculée par la formule de Penman-Monteith par les données moyennes sur 13 ans (**Tab. 7**). Le coefficient Kc, de 0.8 représente une valeur un peu inférieure à la moyenne sur l'ensemble de la saison végétative en milieu sec et avec un vent léger à modéré (**Doorenbos et Pruitt, 1975**). C'est une valeur minimum pour ne pas provoquer un drainage (**Lelièvre, 2006**).

Les besoins en eau sont apportés hebdomadairement, une moitié au début de la semaine par un dimanche et l'autre moitié à la fin par un mercredi. Le déclenchement de l'irrigation se fait en fonction de la pluie tombée, si $P \geq ETM$ on irrigue pas, si $P < ETM$, on apporte la différence c'est-à-dire $ETM - P$, si $P = 0$ on apporte la totalité de l'ETM.. Les irrigations sont arrêtées à la fin du mois de juin pour provoquer l'entrée en dormance des cultivars.

Tableau 7 : Paramètres climatiques et ETo, moyennes sur 13 ans (1993/94 à 2005/2006)

Mois	Tmx (°C)	Tmn (°C)	Tm (°C)	Hr %	V (m/s)	I (heure)	ETo (mm/mois)
Sept.	32.50	17.25	24.99	62.88	1.55	9.01	136.50
Oct.	27.94	13.83	20.89	65.48	1.20	6.88	88.04
Nov.	20.48	9.30	14.87	67.73	1.19	4.06	48.90
Dec.	17.39	6.08	11.73	74.45	1.39	3.32	39.68
Jan.	16.34	4.51	10.44	75.39	1.25	4.90	44.64
Fev.	19.11	5.47	12.03	73.12	1.36	6.53	55.44
Mars	22.36	7.22	14.76	67.06	1.38	6.66	89.59
Avr.	24.74	9.26	17.00	64.57	1.71	8.13	121.50
Mai	29.47	14.29	21.88	62.61	1.83	8.95	161.51
Juin	34.63	18.79	26.64	59.15	2.15	10.87	201.90
Juil.	37.72	22.22	29.90	59.53	1.94	11.26	218.24
Août	38.11	21.71	29.92	62.28	1.71	10.33	193.75
Total							1399.69

II.3.2.6. La fauche

Le déclenchement de la fauche (à 5cm du sol) pour l'obtention du rendement en tonne/ha (en matière sèche après passage à l'étuve à 80° pendant 48 heures) est effectué dès que 75% des plants des parcelles élémentaires atteignent 30-35cm de hauteur pour la saison hivernale ou à l'apparition des nouvelles repousses à la base de la plante, et les 50% de floraison de 75% des parcelles pour la saison printanière.

II.3.3. Les paramètres notés et mesurés

II.3.3.1. La hauteur de végétation (cm)

Le volume de végétation est fonction de la hauteur de ce dernier, qui est un bon indicateur du rendement. La hauteur des plants est utilisée comme indice de déclenchement de la fauche ou du pâturage.

La majorité ou la totalité des travaux sur le comportement morphologique de la luzerne utilise le paramètre hauteur des plants pour une caractérisation et comparaison entre les variétés ou cultivars (**Hamadache et Boussadi, 1991; Chaabena, 2001 ; Delgado, 2006**). La vitesse de croissance des tiges (hauteur de végétation) est un élément clef pour le niveau de production fourragère (**Durand, 1987**)

La hauteur du plant est effectuée juste avant la fauche, en mesurant la hauteur de la base du plant jusqu'à l'extrémité de la sortie des dernières feuilles. Elle est mesurée 18 fois par parcelle élémentaire sur les six lignes du milieu (à raison de 3 mesures par ligne). Pour le suivi de la croissance de la plante, la hauteur est mesurée chaque semaine trois fois par parcelle élémentaire.

II.3.3.2. Le recouvrement linéaire (%)

C'est le taux de recouvrement sur le long des 10 lignes de la parcelle élémentaire, chaque ligne représente 10% du recouvrement total. Il est estimé visuellement après chaque coupe. **Khelifi (2008)**, cite l'utilisation de **Voltaire (1995)** du caractère recouvrement linéaire pour le suivi de la mortalité des plants (graminées fourragères) soumis à un stress abiotique.

II.3.3.3. Le rendement en matière fraîche (tMF/ha)

La finalité de toute pratique agricole c'est le rendement qui est un caractère principal directement affecté par les contraintes environnementales. Ce caractère est estimé, en pesant la production végétale récoltée après fauche de la surface des six lignes du milieu de la parcelle sur une longueur de 2m (2,4m²), le résultat obtenu est converti en tMF/ha.

II.3.3.4. Le rendement en matière sèche (tMS/ha)

Ce caractère est très utile, il intervient dans l'estimation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau par la plante. Le rendement en matière sèche est obtenu par la formule suivante :

$$\text{Rdt (tMS/h)} = \text{MS\%} * \text{Rdt (tMF/ha)} \quad (12)$$

Rdt (tMF/ha) : Rendement en matière fraîche

MS% : Taux de matière sèche

Le taux de matière sèche est obtenu on faisant passer 200g (P1) de matière fraîche à l'étuve pendant 48 heures à 80°C. A la sortie on obtient un poids P2 de l'échantillon. La MS% est calculée par :

$$\text{MS\%} = 100 * \text{P2} / \text{P1} \quad (13)$$

II.3.3.5. La sénescence d'été (%)

C'est un caractère qui est estimé visuellement au début, à la moitié et à la fin de la saison estivale. Elle correspond au pourcentage du couvert resté vert par rapport à la surface couverte. Il peut nous renseigner sur la vitesse d'entrée en dormance estivale.

II.3.3.6. Le ratio en matière sèche

Etudié dans le même but que la sénescence, son obtention se fait par quantification. La méthode se résume sur la collection de 2 tiges de chaque coin et du milieu de la parcelle élémentaire (en total 10 tiges). On sépare les tissus sénescents (TS) des tissus verts (TV), après passage à l'étuve pendant 48 heures à 80°C on les pèse. Le ratio est obtenu par :

$$\text{Ratio} = \text{TS} / (\text{TS} + \text{TV}) \quad (14)$$

II.3.3.7. La teneur en eau dans les organes survivants : TEOS (%)

La survie et la pérennité de la luzerne, sont en relation étroite avec le comportement de la partie racinaire où il y a stockage des réserves utiles au démarrage de la plante. Pour cela, la teneur en eau de la couronne basale supportant les bourgeons est réalisée (PF). Après passage à l'étude pendant 48 à 80°C, on obtient un poids PS et TEOS (%) est obtenu par :

$$\text{TEOS} (\%) = (1 - \text{PS}/\text{PF}) * 100 \quad (15)$$

II.3.3.8. L'efficacité de l'utilisation de l'eau (Kg MS/m³)

Le calcul du paramètre efficacité de l'utilisation de l'eau (efficacité agronomique c'est-à-dire rendement par rapport à une consommation) est calculé pour chaque coupe et pour tout le cycle de la plante. Pour cela nous avons utilisé les rendements obtenus et la consommation en eau correspondante. Cette dernière, est estimée par la méthode neutronique à travers le bilan hydrique simplifié et le paramètre teneur en eau du sol est calculé par la méthode des trapèzes en a supposant $\theta_0 \cong \theta_1$.

II.3.3.9. Pérennité

La pérennité peut être définie par le terme $Trec\%$, c'est un taux de régression du recouvrement linéaire qui est le rapport entre la différence du recouvrement de deux années successives et le recouvrement initial. Il est calculé par la formule suivante :

$$Trec\% = \frac{(\text{Rec}(i-1) - \text{Rec}(i))}{\text{Rec}(i-1)} * 100 \quad (16)$$

Avec : $\text{Rec}(i-1)$, recouvrement linéaire de l'année d'ordre $i-1$ (3^{ème} année de production)
 $\text{Rec}(i)$, recouvrement linéaire de l'année d'ordre i (4^{ème} année de production)

II.4. Les analyses statistiques

Les résultats obtenus ont fait l'objet de :

- Une analyse de la variance avec le test d'ANOVA à un seul critère, pour évaluer la signification de l'effet au seuil $P < 0,05$ par rapport à la plus petite différence significative avec les tests de Newman-Keuls et Fisher LSD. Pour tous les paramètres étudiés,
- Une analyse en composante principale (ACP) pour la corrélation des différents paramètres.
- Relations entre les paramètres de forme et le degré-jour cumulé

Les différentes analyses sont faites par le logiciel XLSTAT et le logiciel SPAD.

CHAPITRE III :
RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. Analyse du comportement des cultivars

L'étude du comportement et des paramètres de production est réalisée sur deux essais, un en pluvial et l'autre en irrigué. Nous avons effectué cinq coupes pour l'essai en pluvial (début de février, mi-avril, mi-mai, début juin et en juillet) et six coupes pour l'essai en irrigué (fin-janvier, fin-mars, début-mai, début-juin, fin-juin et mi-juillet). Le tableau suivant donne les dates des coupes pour les deux essais.

Tableau 8 : Dates des coupes pour les deux essais (pluvial et irrigué)

	Essai en pluvial	Essai en irrigué
Coupe1	03/02/2008	28/01/2008
Coupe2	16/04/2008	23/03/2008
Coupe3	12/05/2008	04/05/2008
Coupe4	08/06/2008	01/06/2008
Coupe5	15/07/2008	23/06/2008
Coupe6		20/07/2008

Les paramètres mesurés sont classés en 4 groupes :

- Paramètres de forme
- Paramètres de production
- Paramètre d'efficience
- Paramètres de dormance-pérennité

Les résultats obtenus pour chaque coupe, saison et cycle, ont fait l'objet d'une étude de l'analyse de la variance.

III.1.1. Paramètres de forme

Les paramètres de forme pris en considération sont : la hauteur de végétation (Hv en cm) et le recouvrement linéaire (RecL en %).

III.1.1.1. Hauteur de végétation (Hv)

III.1.1.1.1. Essai en pluvial

III.1.1.1.1.1. Par coupe

Coupe 1

Toutes les hauteurs ont des valeurs inférieures à 17 cm. La moyenne générale de l'essai est de $12,79 \pm 3,30$ cm. L'analyse de la variance nous a permis de mettre en évidence une différence très hautement significative et le test du PPDS à 5% avec une valeur de 7,07 cm a fait ressortir sept groupes homogènes dont deux biens distincts, les autres se chevauchent. Le premier groupe (A) contient le cultivar Sardi10 qui a la hauteur la plus élevée d'une valeur de 16,99 cm par contre le dernier groupe (G) compte le cultivar Magali qui a la valeur la plus faible (7,99 cm) (**Annexe I: Tab.1**)

Coupe 2

La moyenne générale de tous les cultivars est de 13,00 cm. Les hauteurs ne dépassent pas 20 cm, seul 37,50% des cultivars dépassent la moyenne générale. L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative et le test PPDS à 5% (12,25 cm) permet d'avoir cinq groupes. Le premier groupe (A) contient seulement le cultivar le plus développé (Erfoud1) et le dernier groupe (E) contient le cultivar le moins développé (Magali) avec 7,75 cm de hauteur (**Annexe I: Tab.6**).

Coupe 3

La moyenne générale de l'essai est de $20,38 \pm 3,75$ cm. L'analyse de la variance avec le test de Newman-Keuls ne montre pas de différence significative. Le test du PPDS à 5% de 6,13 cm a fait ressortir quatre groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient le cultivar Gabes-2355 avec une valeur maximale de 23,76 cm par contre le dernier groupe (D) compte le cultivar Coussouls avec la valeur la plus faible (16,86 cm) (**Annexe I: Tab.11**).

Coupe 4

La moyenne générale de l'essai est de $14,55 \pm 3,00$ cm. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% de 6,08 cm a fait ressortir quatre groupes homogènes. Le premier groupe (A) représente le cultivar Erfoud1 avec une valeur maximale de 17,61 cm par contre le dernier groupe (D) compte le cultivar Magali avec la valeur la plus faible (11,57 cm) (**Annexe I: Tab.16**).

Coupe 5

La moyenne générale des cultivars est $17,89 \pm 2,41$ cm. Les hauteurs ne dépassent pas les 21 cm et 68,75% des cultivars sont supérieurs à la moyenne générale. L'analyse de la variance ne montre pas de différence et le test PPDS à 5% (4,84 cm) permet d'avoir trois groupes. Le premier groupe (A) contient seulement le cultivar le plus développé (Gabes-2355) et le dernier groupe (C) contient les cultivars les moins développés, avec des valeurs en ordre décroissant (Mamuntanas, Prosementi, Magali, Coussouls et Tamantit) (**Annexe I: Tab.21**).

Les hauteurs de végétation par cultivar et par coupes avec les groupes homogènes sont représentées dans le tableau n°9.

III.1.1.1.2. Par saison**Saison hivernale**

La variation des hauteurs des cultivars est la même que la première coupe, puisque c'est la seule coupe réalisée pour la saison hivernale

Saison printanière

La moyenne générale des cultivars est de $16,69 \pm 3,82$ cm. Les hauteurs ne dépassent pas 20,12 cm et 50% des cultivars sont supérieurs à la moyenne générale. L'analyse de la variance montre une différence hautement significative et le test PPDS à 5% (8,44 cm) permet d'avoir cinq groupes. Le premier groupe (A) contient les cultivars les plus développés (Sardi10 et Erfoud1) et le dernier groupe (D) contient le cultivar le moins développé (Magali) avec 12,77 cm de hauteur (**Annexe I: Tab.26**).

Saison estivale

Le développement en hauteur des cultivars n'est pas marqué pour cette saison. En effet, toutes les hauteurs ont des valeurs inférieures à 19 cm. La moyenne générale des cultivars est de $16,22 \pm 2,47$ cm. L'analyse de la variance avec le test de Newman-Keuls ne révèle pas une différence significative et le test du PPDS à 5% avec une valeur de 5,18 cm a fait ressortir cinq groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient le cultivar Erfoud1 qui a la hauteur la plus élevée d'une valeur de 18,64 cm par contre le dernier groupe (E) compte le cultivar Magali qui prend la valeur la plus faible (14,22 cm) (**Annexe I: Tab.31**).

Le tableau n°9, donne les valeurs des hauteurs de végétation par cultivar et pour chaque saison ainsi que les groupes homogènes.

III.1.1.1.1.3. Par cycle

La moyenne générale de l'essai est de $15,72 \pm 2,74$ cm. Pour la totalité des cultivars, la hauteur du plant ne dépasse pas les 20cm avec 50% des cultivars supérieurs à la moyenne générale (Tab.9). L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative et le test PPDS à 5% (6,04cm) permet d'avoir cinq groupes. Le premier groupe (A) contient les cultivars les plus développés (Erfoud1 et Sardi 10) avec les valeurs respectives de 18,26cm et 18,08cm. Le groupe (E) contient le cultivar le moins développé (Magali) avec 12,39cm de hauteur (**Annexe I: Tab.36**).

III.1.1.1.2. Essai en irrigué

III.1.1.1.2.1. Par coupe

Coupe 1

La moyenne générale des cultivars est de $18,16 \pm 5,31$ cm. L'analyse de la variance avec le test de newman-Keuls révèle une différence très hautement significative et le test du PPDS à 5% avec une valeur de 13,45cm a fait ressortir cinq groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient les cultivars (Sardi 10, Ameristand 801s et Melissa) avec des valeurs comprises dans la fourchette $23,24 \div 24,13$ cm. Par contre le dernier groupe (E) compte les cultivars Magali et Prosementi avec des valeurs respectives de 11,72cm et 11,65cm (**Annexe II: Tab.1**).

Coupe 2

La moyenne générale des cultivars est de $24,82 \pm 4,29$ cm. L'analyse de la variance avec le test de newman-Keuls révèle une différence hautement significative et le test du PPDS à 5% avec une valeur de 7,99cm a fait ressortir six groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient les cultivars (Melissa et Ameristand 801s) avec des valeurs respectives de 29,46cm et 29,24cm. Par contre le dernier groupe (F) compte le cultivar Rich2 avec 18,92cm de hauteur (**Annexe II: Tab.6**).

Coupe 3

La moyenne générale de l'essai est de $30,57 \pm 4,21$ cm. L'analyse de la variance et le test du PPDS à 5% d'une valeur de 7,83cm a fait ressortir sept groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient le cultivar Ameristand 801s le plus développé en hauteur avec 36,11cm. Par contre le dernier groupe (G) compte le cultivar Gabes-2355 avec 26,01cm de hauteur (**Annexe II: Tab.11**).

Coupe 4

La moyenne générale de l'essai est de $31,90 \pm 5,93$ cm. L'analyse de la variance et le test du PPDS à 5% d'une valeur de 10,47cm a fait ressortir cinq groupes homogènes. Le premier groupe (A) représente le cultivar Demnat de 38,33cm de hauteur. Par contre le dernier groupe (E) compte le cultivar Rich2 avec une hauteur de 25,58cm (**Annexe II: Tab.16**).

Coupe 5

La moyenne générale de l'essai est de $27,39 \pm 3,96$ cm. L'analyse de la variance et le test du PPDS à 5% d'une valeur de 7,12cm fait ressortir cinq groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient le cultivar Demnat le plus développé avec 31,50cm. Par contre le dernier groupe (E) compte le cultivar Rich2 avec une hauteur de 22,28cm (**Annexe II: Tab.21**).

Coupe 6

La moyenne générale de l'essai est de $20,08 \pm 2,69$ cm. L'analyse de la variance et le test du PPDS à 5% d'une valeur de 5,48cm a fait ressortir cinq groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient le cultivar Demnat le plus développé avec 23,99cm. Par contre le dernier groupe (E) compte le cultivar Rich2 avec 18,17cm de hauteur (**Annexe II: Tab.26**).

Le tableau n°10, donne les valeurs des hauteurs de végétation par cultivar et pour chaque coupe avec les groupes homogènes.

III.1.1.1.2.2. Par saison**Saison hivernale**

La variation des hauteurs des cultivars est la même que la première coupe, puisque c'est la seule coupe réalisée pour la saison hivernale

Saison printanière

La moyenne générale des cultivars est de 27,70cm. L'analyse de la variance et le test de newman-Keuls révèle une différence très hautement significative. Avec le test du PPDS à 5% avec une valeur de 7,39cm fait ressortir six groupes homogènes : le premier groupe (A) contient le cultivar Ameristand 801s d'une valeur de 32,67cm et le dernier groupe (F) englobe le cultivar Rich2 avec une valeur de 23,06cm (**Annexe II: Tab.31**).

Saison estivale

La moyenne générale des cultivars est de $26,46 \pm 3,58$ cm. L'analyse de la variance avec le test de newman-Keuls révèle une différence significative. Le test du PPDS à 5% avec une valeur de 6,48cm a fait ressortir cinq groupes homogènes, le premier groupe (A) représente le cultivar Demnat d'une valeur de 31,27cm et le dernier groupe (E) englobe le cultivar Rich2 avec une valeur de 23,20cm (**Annexe II: Tab.36**).

Le tableau n°10, donne les valeurs des hauteurs de végétation par cultivar et pour chaque saison ainsi que les groupes homogènes

III.1.1.1.2.3. Par cycle

La moyenne générale de l'essai est de $25,49 \pm 3,21$ cm. La hauteur ne dépasse pas les 30cm et 37,5% des cultivars dépassent la moyenne générale (Tab.10). L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative et le test PPDS à 5% (6,61cm) permet d'avoir cinq groupes. Le premier groupe (A) contient les cultivars le plus développé (Ameristand 801s et Demnat) avec les valeurs respectivement de 29,48cm et 29,41cm. Le groupe (E) contient le cultivar le moins développé (Rich2) avec 21,21cm de hauteur (**Annexe II: Tab.41**).

.

III.1.1.2. Recouvrement linéaire (RecL)

III.1.1.2.1. Essai en pluvial

III.1.1.2.1.1. Par coupe

Coupe1

Le recouvrement linéaire pour la première coupe prend une valeur moyenne générale de $26.063 \pm 12.77\%$. L'analyse de la variance nous révèle une différence non significative entre les moyennes des cultivars. Le classement de ces derniers par la méthode du PPDS à 5% avec la valeur de 23,49%, nous donne quatre groupes homogènes dont deux se chevauchent fortement. Le premier groupe (A) contient le cultivar Ecotipo siciliano, correspondant au recouvrement maximal obtenu avec une valeur de 37,5%. Tamantit est le cultivar le moins couvrant (16,25%), il forme le groupe (D). 37,5% des cultivars prennent des valeurs de recouvrement supérieures à 30%, 18,8% des cultivars ont des valeurs de recouvrement inférieures à 20%, tandis que plus de la moitié (56,5%) des cultivars prend des valeurs bornées entre 20% et 30% (**Annexe I: Tab.2**).

Coupe2

Pour cette 2^{ème} coupe, le recouvrement linéaire moyen de l'essai est de $16.56 \pm 7.48\%$ et les valeurs des cultivars fluctuent entre un maximum de 26% (Mamuntanas) et un minimum de 12% (Gabes-2355). Il n'y a pas une différence significative entre les cultivars. Avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de 13.02%, les moyennes des cultivars forment quatre groupes dont deux biens distincts. Le pourcentage de 68.75% des cultivars ont des valeurs inférieures à 20% de recouvrement (**Annexe I: Tab.7**).

Coupe3

Le recouvrement linéaire pour cette coupe prend une valeur moyenne générale de $15.53 \pm 17.11\%$. L'analyse de la variance nous révèle une différence non significative entre les moyennes des cultivars. Le classement de ces derniers par la méthode du PPDS à 5% avec la valeur de 12,20%, nous donne quatre groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient le cultivar Mamuntanas, correspondant au recouvrement maximal obtenu avec une valeur de 25,5%. Le groupe (D), englobe les cultivars les moins couvrants (Tamantit et Demnat) avec une valeur de 9,75% (**Annexe I: Tab.12**).

Coupe4

L'analyse de la variance nous révèle une différence non significative entre les moyennes des cultivars. Le classement de ces derniers avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de 14,18%, nous donne trois groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient le cultivar Ecotipo siciliano, correspondant au recouvrement maximal obtenu avec une valeur de 35,00%. Le groupe (C), englobe les cultivars les moins couvrants (Demnat, Siriver et Tamantit) avec les valeurs respectives de 18,75%, 18,75% et 17,50%. La moyenne générale de l'essai est de 24,73% (**Annexe I: Tab.17**).

Coupe5

Pour cette dernière coupe, le recouvrement linéaire moyenne de l'essai est de $13.97 \pm 6.66\%$ et les valeurs des cultivars fluctuent entre un maximum de 18,75% (Mamuntanas, Ecotipo siciliano, Melissa et Erfoud1) et un minimum de 8,50% pour le cultivar Tamantit. Il n'y a pas de différence significative entre les cultivars. Avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de 9,49%, les moyennes des cultivars forment deux groupes homogènes (**Annexe I: Tab.22**).

Le tableau n°11, donne les valeurs des recouvrements par cultivar et pour chaque coupe avec les groupes homogènes

III.1.1.2.1.2. Par saison

Saison hivernale

La variation des recouvrements des cultivars est la même que la première coupe, puisque c'est la seule coupe réalisée pour la saison hivernale

Saison printanière

Pour cette saison printanière, le recouvrement linéaire moyen de l'essai est de $16.05 \pm 7.11\%$ et les valeurs des cultivars fluctuent dans la fourchette $11,13 \div 25,75\%$. Le cultivar Mamuntanas est le plus couvrant, par contre Gabes-2355 est le moins couvrant. L'analyse de la variance avec le test de PPDS à 5% d'une valeur de 12,28% nous révèle l'existence de quatre groupes homogènes (**Annexe I: Tab.27**).

Saison estivale

Le recouvrement linéaire pour la saison estivale prend une moyenne générale de $19,35 \pm 7,22\%$. L'analyse de la variance ne révèle pas une différence significative entre les moyennes des cultivars. Le classement de ces derniers par la méthode du PPDS À 5% avec la valeur de 11,15%, nous donne quatre groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient le cultivar Ecotipo siciliano, correspondant au recouvrement maximal obtenu avec une valeur de 26,88%. Le cultivar Tamantit, le moins couvrant (13,00%) forme le groupe (D) (**Annexe I: Tab.32**).

Le tableau n°11, donne les valeurs de recouvrement par cultivar et pour chaque saison ainsi que les groupes homogènes

III.1.1.2.1.3. Par cycle

Pour cette 4^{ème} année de production, le recouvrement linéaire moyen de l'essai est de $19,37 \pm 7,87\%$ et les valeurs des cultivars fluctuent entre un maximum de 27,40% (Mamuntanas) et un minimum de 12,90% (Tamantit). Il n'y a pas de différence significative entre les cultivars. Avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de 13,08%, les moyennes des cultivars forment cinq groupes. 56,25% des cultivars ont des valeurs inférieures à 20% de recouvrement (**Annexe I: Tab.37**).

.

III.1.1.2.2. Essai en irrigué**III.1.1.2.2.1. Par coupe****Coupe1**

Le recouvrement linéaire pour la saison estivale prend une moyenne générale de $46,89 \pm 20,14\%$. L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative entre les moyennes des cultivars. Le classement de ces derniers par la méthode du PPDS à 5% avec la valeur de 41,39%, nous donne six groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient le cultivar Ameristand 801s, correspondant au recouvrement maximal obtenu avec une valeur de 66,75%. Le cultivar Prosementi, le moins couvrant (19,50%) forme le groupe (F) (**Annexe II: Tab.2**).

Coupe 2

Le recouvrement linéaire pour la saison estivale prend une moyenne générale de $48,38 \pm 18,77\%$. L'analyse de la variance ne révèle pas une différence hautement significative entre les moyennes des cultivars. Le classement de ces derniers par la méthode du PPDS à 5% avec la valeur de 35,33%, nous donne cinq groupes homogènes. Le premier groupe (A) contient le cultivar Demnat, correspondant au recouvrement maximal obtenu avec une valeur de 66,75%. Le cultivar Magali, le moins couvrant (21,75%) forme le groupe (E) (**Annexe II: Tab.7**).

Coupe3

Le recouvrement linéaire pour la saison estivale prend une moyenne générale de $47,72 \pm 18,06\%$. L'analyse de la variance ne révèle pas une différence significative entre les moyennes des cultivars. Le classement de ces derniers par la méthode du PPDS à 5% avec la valeur de 28,86%, nous donne quatre groupes homogènes. Les cultivars Melissa, Ameristand 801s et Ecotipo siciliano sont les plus couvrants avec des valeurs comprises entre 61,75% et 62,50%. Le cultivar Magali est le moins couvrant avec une valeur de 28,75% (**Annexe II: Tab.12**).

Coupe 4

Le recouvrement linéaire pour la saison estivale prend une moyenne générale de $49,83 \pm 18,97\%$. L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative entre les moyennes des cultivars. Le classement de ces derniers par la méthode du PPDS à 5% avec la valeur de 33,96%, nous donne cinq groupes homogènes. Les cultivars Ameristand 801s et Demnat sont les plus couvrants avec des valeurs de 68% et 67,50%. Le cultivar Magali est le moins couvrant avec 26,25% de recouvrement (**Annexe II: Tab.17**).

Coupe5

Le recouvrement linéaire pour la saison estivale prend une moyenne générale de $56,06 \pm 16,35\%$. L'analyse de la variance révèle une différence non significative entre les moyennes des cultivars. Le classement de ces derniers par la méthode du PPDS À 5% avec la valeur de 26,38%, nous donne quatre groupes homogènes. Le cultivar Ameristand 801s le plus couvrant avec une valeur de 69,75%. Les cultivars Magali et Rich 2 sont les moins couvrants avec 40,00% et 38,75% de recouvrement (**Annexe II: Tab.22**).

Coupe6

Le recouvrement linéaire pour la saison estivale prend une moyenne générale de $49,61 \pm 15,59\%$. L'analyse de la variance révèle une différence significative entre les moyennes des cultivars. Le classement de ces derniers par la méthode du PPDS à 5% avec la valeur de 27,55%, nous donne quatre groupes homogènes. Le cultivar Ameristand 801s le plus couvrant avec une valeur de 65,00%. Les cultivars Magali est le moins couvrant avec une valeur de 35,00% (**Annexe II: Tab.27**).

Le tableau n°12, donne les valeurs de recouvrement par cultivar et pour chaque coupe avec les groupes homogènes

III.1.1.2.2.2. Par saison**Saison hivernale**

La variation des recouvrements des cultivars est la même que la première coupe, puisque c'est la seule coupe réalisée pour la saison hivernale

Saison printanière

Le recouvrement linéaire pour la saison estivale prend une moyenne générale de $48,05 \pm 17,86\%$. L'analyse de la variance révèle une différence non significative et le test du PPDS à 5% d'une valeur de 31,46%, nous donne quatre groupes homogènes. Les valeurs du recouvrement varient entre 25,25% (Magali) et 63,63% (Demnat) (**Annexe II: Tab.32**).

Saison estivale

Le recouvrement linéaire pour la saison estivale prend une moyenne générale de 51,83%. L'analyse de la variance révèle une différence significative et le test du PPDS À 5% d'une valeur de 27,95, nous donne cinq groupes homogènes. Les valeurs du recouvrement varient entre 33,75% (Magali) et 63,63% (Ameristand 801s) (**Annexe II: Tab.37**)

Le tableau n°12, donne les valeurs de recouvrement par cultivar et pour chaque saison ainsi que les groupes homogènes

III.1.1.2.2.3. Par cycle

Pour cette 4^{ème} année de production, le recouvrement linéaire moyen de l'essai est de 49,75% et les valeurs des cultivars fluctuent entre un maximum de 65,88% (Ameristand 801s) et un minimum de 29,29% (Magali). Il y a une différence hautement significative entre les cultivars. Avec le test du PPDS À 5% d'une valeur de 30,17%, les moyennes des cultivars forment cinq groupes (**Annexe II: Tab.42**).

Pour l'essai en pluvial, on remarque que :

Pour cette dernière année de production (2007-2008), la hauteur moyenne par coupe, évolue de la 1^{ère} coupe à la troisième et de la 4^{ème} à la 5^{ème} coupe. Par contre le recouvrement régresse dans les mêmes proportions (**Fig. 11**).

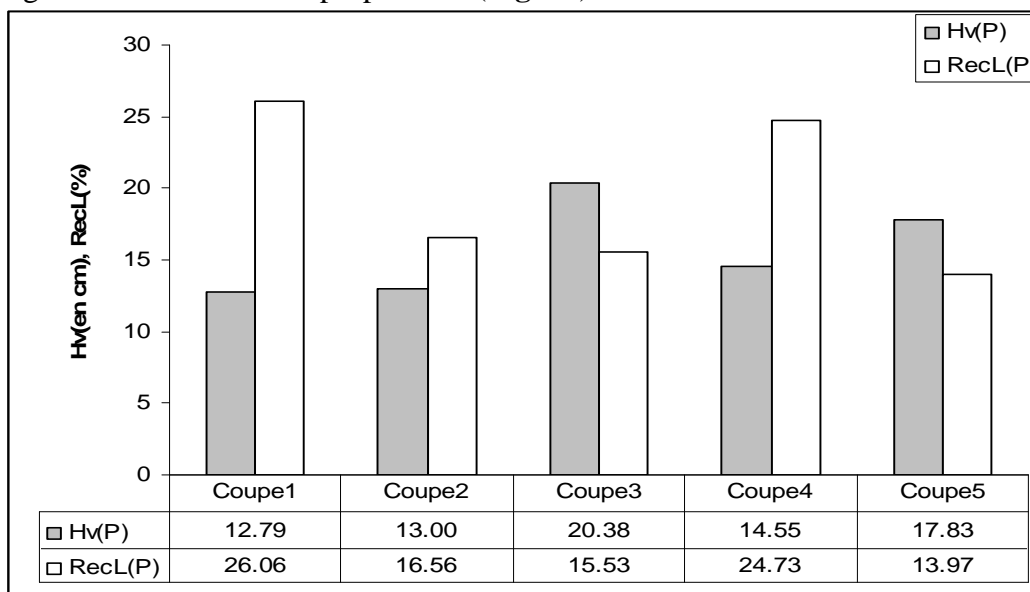


Figure 11 : Variation de la Hv moyenne et RecL moyenne par coupe (Essai pluvial)

De la saison hivernale à la saison printanière, nous observons une progression de la hauteur de végétation moyenne saisonnière et une régression du recouvrement linéaire moyen saisonnier, pour qu'ils viennent se stabiliser sensiblement à la saison estivale (**Fig. 12**).

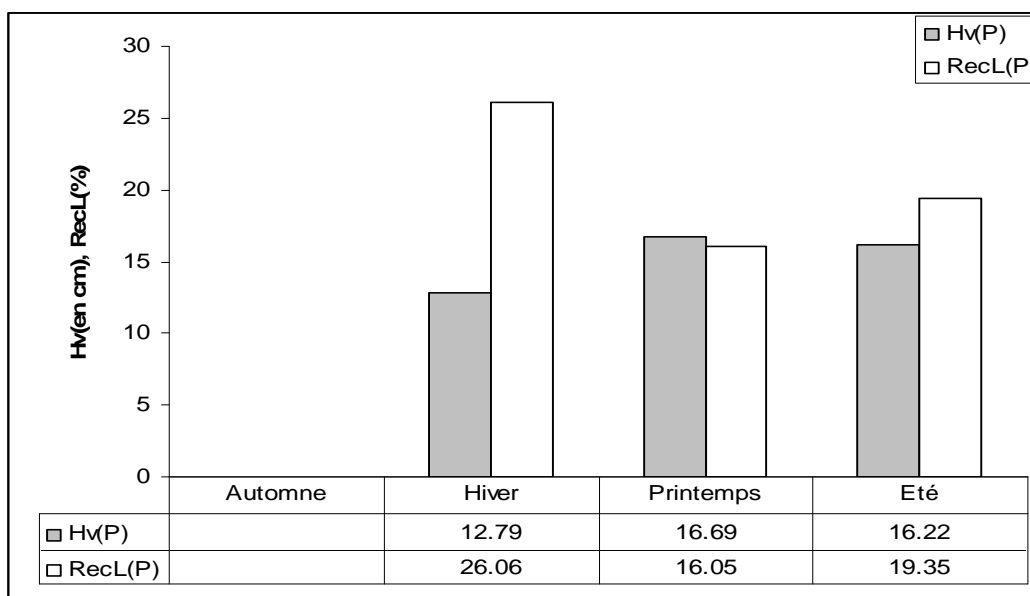


Figure 12 : Variation saisonnière de la Hv et RecL (Essai pluvial)

Pour l'essai en irrigué, on remarque que :

La hauteur de végétation croît de la 1^{ère} coupe à la 4^{ème} coupe pour régresser vers la dernière coupe. Le recouvrement linéaire croît pour atteindre sa valeur maximale de 56.06% à la 5^{ème} coupe (**Fig. 13**).

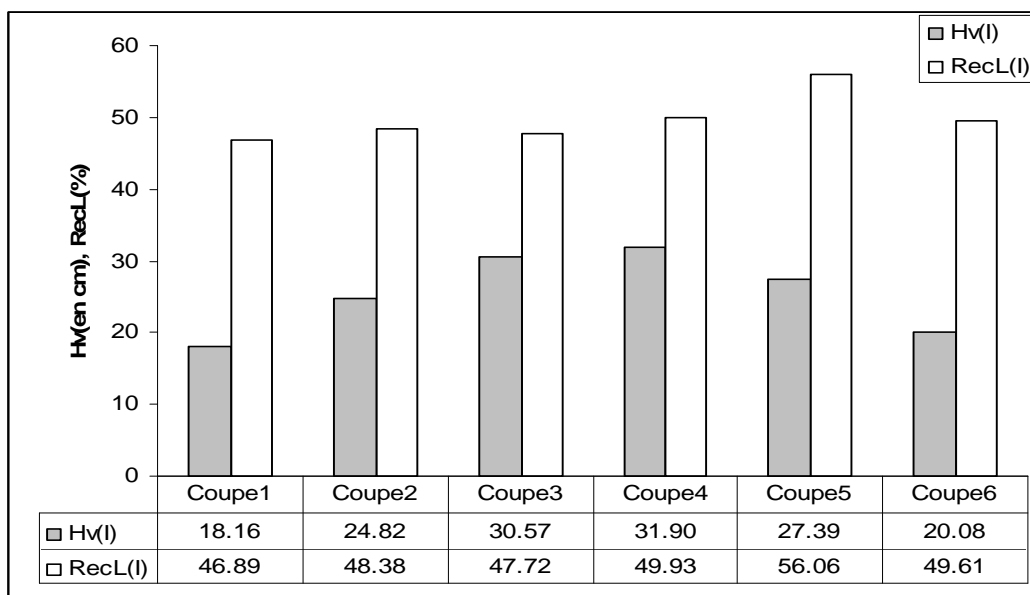


Figure 13 : Variation de la Hv moyenne et RecL moyenne par coupe (Essai irrigué)

Généralement, le recouvrement linéaire moyen de l'essai varie de 46.89% pour la saison hivernale à 51.83% pour la saison estivale. Par contre, la valeur de Hv diminue de la saison printanière à la saison estivale (Fig. 14).

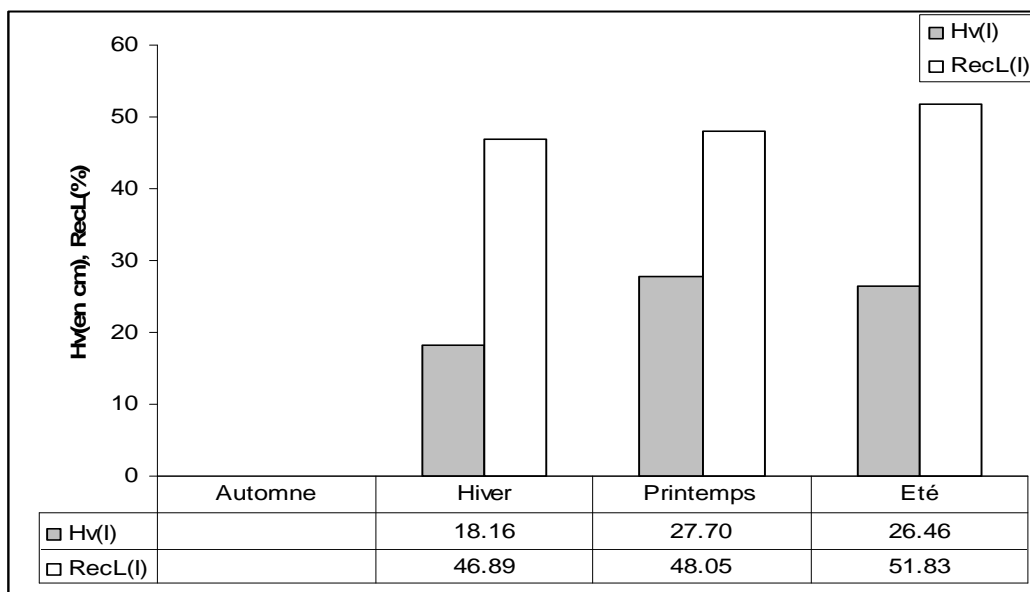


Figure 14 : Variation saisonnière de la Hv et RecL (Essai irrigué)

Concernant les valeurs moyennes des cultivars, on constate qu'il y a une régression de l'essai en irrigué à l'essai en pluvial d'une valeur moyenne de 38.11% pour la Hv et de 59.46% pour le RecL. La régression maximale de la Hv et RecL est respectivement de 46.57% et 78.50% pour le cultivar Demnat. Par contre, la valeur minimale de 29.05% et 40.58% revient au cultivar Rich2 (Fig. 15 et Fig. 16).

Pour tout le cycle, la Hv moyenne de l'essai en pluvial a diminué de la valeur de 37.39cm pour la 3^{ème} année à la valeur de 15.72cm pour la 4^{ème} année. Il en est de même pour le

recouvrement linéaire. En effet, la valeur moyenne de la 3^{ème} année est passée de 37.43% à 19.37% pour la 4^{ème} année.

Concernant l'essai en irrigué, la Hv est passée de 35.53cm pour la 1^{ère} année à 25.49cm pour la 2^{ème} année. Le recouvrement linéaire moyen de 60.18% pour la 1^{ère} année, prend une valeur de 49.75% pour la 4^{ème} année.

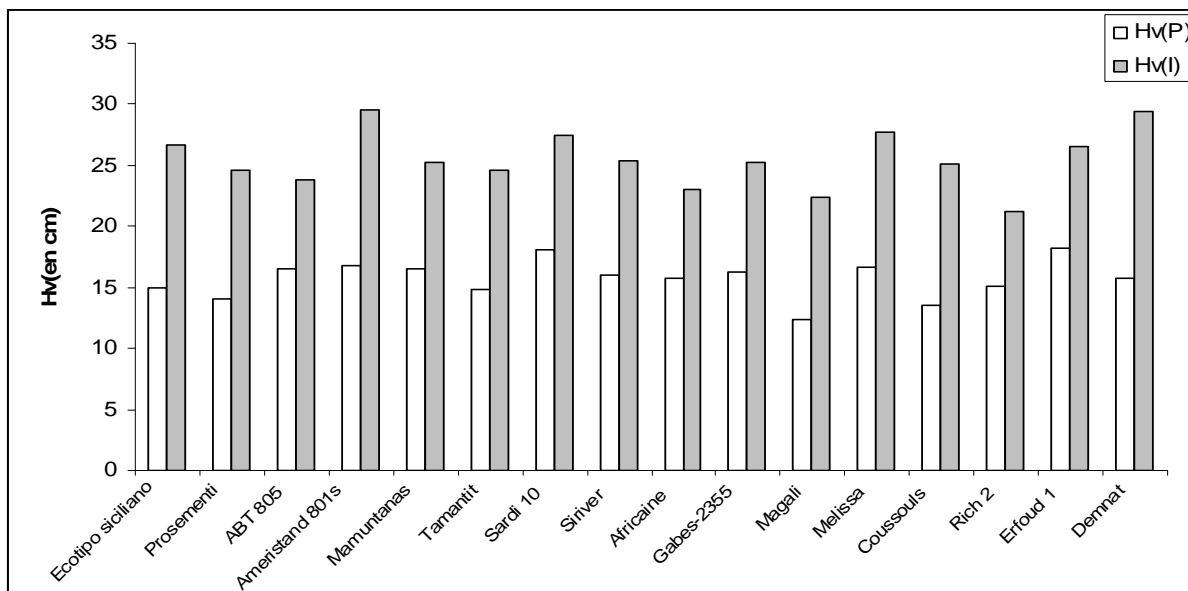


Fig. 15 : Variation de la Hv par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)

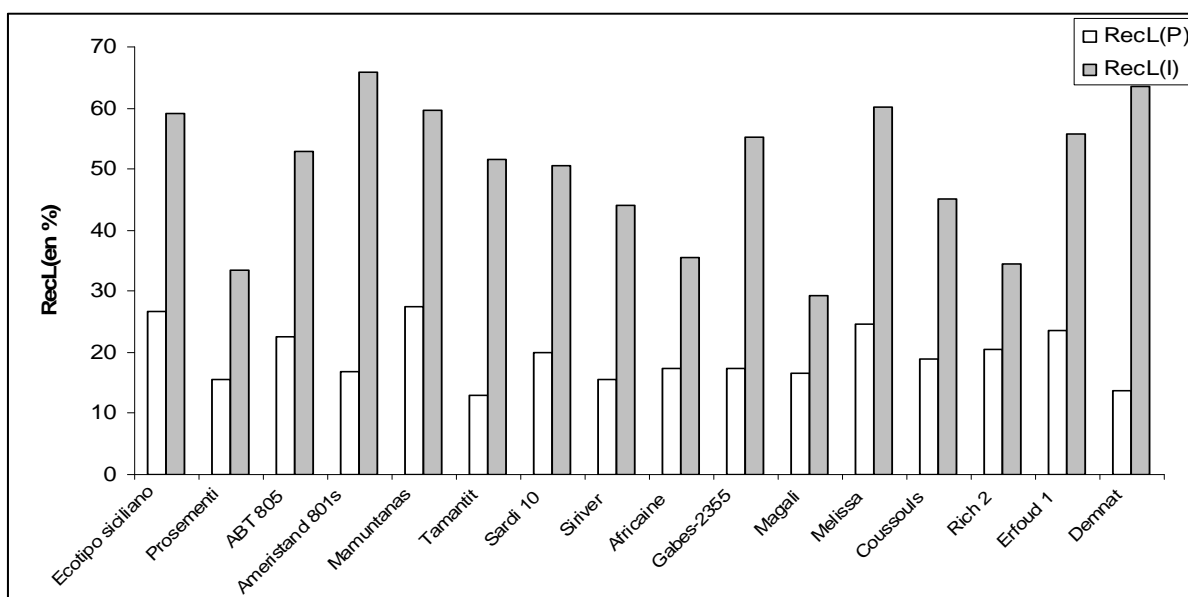


Fig. 16 : Variation de la RecL par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)

III.1.2. Paramètres de production

Les paramètres pris en considération sont : le rendement en matière fraîche et le rendement en matière sèche.

III.1.2.1. Rendement en matière fraîche (RdtMF)

III.1.2.1.1. Essai en pluvial

III.1.2.1.1.1. Par coupe

Coupe1

Avec une moyenne générale de l'essai de $0,52 \pm 0,37 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$, les valeurs du rendement en matière sèche varient entre un maximum de $1,01 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Sardi10) et un minimum de $0,11 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Magali). L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative, avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,80 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ fait ressortir huit groupes homogènes (**Annexe I: Tab.3**)

Coupe2

Cette coupe donne un rendement moyen général en matière fraîche de $0,41 \pm 0,32 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ inférieur à celui de la 1^{ère} coupe et la totalité des rendements obtenus n'atteint pas l'unité. Le cultivar le plus productif est Mamuntanas avec $0,80 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ et Magali est le cultivar le moins productif ($0,17 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$). L'analyse de la variance ne montre pas une différence significative. Avec le test du PPDS à 5%, ($0,60 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$) nous avons obtenu quatre groupes homogènes, dont le premier contient seulement le cultivar Mamuntanas et le dernier groupe contient les six cultivars les moins productifs (Tamantit, Gabes-2355, Ecotipo siciliano, Demnat, Prosementi et Magali) avec des valeurs inférieures $0,30 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (**Annexe I: Tab.8**).

Coupe3

Avec une moyenne générale de l'essai de $0,44 \pm 0,26 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$, les valeurs du rendement en matière sèche varient entre un maximum de $0,70 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Sardi10) et un minimum de $0,17 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Magali). L'analyse de la variance avec le test de newman-keuls révèle une différence non significative entre les cultivars. Avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,80 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ fait ressortir huit groupes homogènes (**Annexe I: Tab.13**).

Coupe4

Avec une moyenne générale de l'essai de $0,37 \pm 0,24 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$, les valeurs du rendement en matière fraîche varient entre un maximum de $0,57 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Melissa) et un minimum de $0,20 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Magali). L'analyse de la variance avec le test de newman-keuls ne révèle pas de différence significative mais avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,80 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ fait ressortir trois groupes homogènes (**Annexe I: Tab.18**).

Coupe5

Avec une moyenne générale de l'essai de $0,35 \pm 0,28 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$, les valeurs du rendement en matière sèche varient entre un maximum de $0,64 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Erfoud1) et un minimum de $0,16 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Magali). L'analyse de la variance avec le test de newman-Keuls ne révèle pas de différence significative, avec le test du PPDS À 5% d'une valeur de $0,57 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ fait ressortir quatre groupes homogènes (**Annexe I: Tab.23**).

Le tableau n°13, donne les valeurs de rendement par cultivar et pour chaque coupe avec les groupes homogènes

III.1.2.1.1.2. Par saison

Saison hivernale

La variation est la même que la première coupe, puisque c'est la seule coupe réalisée pour la saison hivernale

Saison printanière

Cette saison donne un rendement moyen général en matière fraîche de $0,84 \pm 0,54$ tMF*ha⁻¹. Le cultivar le plus productif est Mamuntanas avec $1,42$ tMF*ha⁻¹ et les cultivars les moins productifs (Demnat, Prosementi et Magali) prennent les valeurs respectives de $0,53$ tMF*ha⁻¹, $0,51$ tMF*ha⁻¹ et $0,31$ tMF*ha⁻¹. L'analyse de la variance et le test du PPDS à 5%, ($1,05$ tMF*ha⁻¹) nous révèle l'existence de cinq groupes homogènes (**Annexe I: Tab.28**).

Saison estivale

Avec une moyenne générale de l'essai de $0,73 \pm 0,50$ tMF*ha⁻¹, les valeurs du rendement en matière fraîche varient entre un maximum de $1,19$ tMF*ha⁻¹ (Melissa) et un minimum de $0,37$ tMF*ha⁻¹ (Magali). L'analyse de la variance révèle une différence non significative, avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,95$ tMF*ha⁻¹ fait ressortir trois groupes homogènes (**Annexe I: Tab.33**).

Le tableau n°13, donne les valeurs de rendement par cultivar et pour chaque saison ainsi que les groupes homogènes

III.1.2.1.1.3. Par cycle

Cette coupe donne un rendement moyen général en matière fraîche de $2,10 \pm 1,33$ tMF*ha⁻¹. La totalité des rendements ne dépasse pas 4 tMF*ha⁻¹. Le cultivar le plus productif est Sardi 10 avec $3,45$ tMF*ha⁻¹, le cultivar Magali est le moins productif ($0,82$ tMF*ha⁻¹). L'analyse de la variance ne montre pas une différence significative. Avec le test du PPDS À 5%, ($2,64$ tMF*ha⁻¹) nous avons obtenu quatre groupes homogènes, dont le premier contient seulement le cultivar Sardi10 et le dernier groupe contient les six cultivars les moins productifs (Ecotipo siciliano, Demnat, Coussouls, Prosementi et Magali) avec des valeurs comprises entre $0,82$ tMF*ha⁻¹ et $1,51$ tMF*ha⁻¹ (**Annexe I: Tab.38**).

III.1.2.1.2. Essai en irrigué**III.1.1.1.2.1. Par coupe****Coupe1**

Avec une moyenne générale de l'essai de $3,13 \pm 1,58 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$, les valeurs du rendement en matière fraîche varient entre un maximum de $4,72 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Gabes-2355) et un minimum de $0,76 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Prosementi). L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative, avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $3,72 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ fait ressortir sept groupes homogènes (**Annexe II, Tab.3**).

Coupe2

Avec une moyenne générale de l'essai de $4,28 \pm 1,49 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$, les valeurs du rendement en matière fraîche varient entre un maximum de $5,67 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Ameristand 801s) et un minimum de $2,23 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Magali). L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative, avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $2,79 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ fait ressortir six groupes homogènes (**Annexe II, Tab.8**).

Coupe3

Avec une moyenne générale de l'essai de $4,76 \pm 2,04 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$, les valeurs du rendement en matière fraîche varient entre un maximum de $7,12 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Ameristand 801s) et un minimum de $2,84 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Magali). L'analyse de la variance ne révèle pas de différence significative, avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $3,33 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ fait ressortir quatre groupes homogènes (**Annexe II, Tab.13**).

Coupe4

Avec une moyenne générale de l'essai de $5,53 \pm 2,33 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$, les valeurs du rendement en matière fraîche varient entre un maximum de $8,58 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Ecotipo siciliano) et un minimum de $3,19 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Magali). L'analyse de la variance ne révèle pas de différence significative, avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $3,80 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ fait ressortir quatre groupes homogènes (**Annexe II, Tab.18**).

Coupe5

Avec une moyenne générale de l'essai de $2,29 \pm 1,14 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$, les valeurs du rendement en matière fraîche varient entre un maximum de $3,37 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Demnat) et un minimum de $0,98 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Rich2). L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative, avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $2,12 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ fait ressortir cinq groupes homogènes (**Annexe II, Tab.23**).

Coupe6

Avec une moyenne générale de l'essai de $0,93 \pm 0,47 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$, les valeurs du rendement en matière fraîche varient entre un maximum de $1,52 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Demnat) et un minimum de $0,48 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Siriver). L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative, avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,91 \text{ tMF} \cdot \text{ha}^{-1}$ fait ressortir six groupes homogènes (**Annexe II, Tab.28**).

Le tableau n°14, donne les valeurs de rendement par cultivar et pour chaque coupe avec les groupes homogènes

III.1.1.1.2.2. Par saison

Saison hivernale

La variation est la même que la première coupe, puisque c'est la seule coupe réalisée pour la saison hivernale

Saison printanière

Le rendement en matière fraîche prend une moyenne générale de $9,05 \pm 3,20$ tMF*ha⁻¹, avec un maximum de 12,79 tMF*ha⁻¹ (Ameristand 801s) et un minimum de 5,07 tMF*ha⁻¹ (Magali). L'analyse de la variance révèle une différence significative avec sept groupes homogènes (**Annexe II, Tab.33**).

Saison estivale

Le rendement en matière fraîche prend une moyenne générale de $8,74 \pm 3,53$ tMF*ha⁻¹, avec un maximum de 12,90 tMF*ha⁻¹ (Ecotipo siciliano) et un minimum de 4,94 tMF*ha⁻¹ (Rich2). L'analyse de la variance avec le test de newman-Keuls révèle une différence non significative avec trois groupes homogènes (**Annexe II, Tab.38**).

Le tableau n°14, donne les valeurs des rendements par cultivar et pour chaque saison ainsi que les groupes homogènes

III.1.1.1.2.3. Par cycle

Cette coupe donne un rendement moyen général en matière fraîche de $20,96 \pm 7,13$ tMF*ha⁻¹. Les cultivars les plus productifs (Ameristand 801s, Ecotipo siciliano, Erfoud1, Sardi10, Melissa et Demnat) ont des valeurs comprises dans la fourchette $23,89 \div 27,23$ tMF*ha⁻¹, le cultivar Magali est le moins productif ($11,29$ tMF*ha⁻¹). L'analyse de la variance montre une différence significative. Avec le test du PPDS à 5%, ($12,90$ tMF*ha⁻¹) nous avons obtenu quatre groupes homogènes (**Annexe II, Tab.43**).

III.1.2.2. Rendement en matière sèche (RdtMS)

III.1.2.2.1. Essai en pluvial

III.1.2.2.1.1. Par coupe

Coupe1

Le rendement en matière sèche pour cette coupe hivernale (3/02/2008) est très faible et ne dépasse pas l'unité. La moyenne générale des cultivars prend une valeur de $0,20 \pm 0,13$ tMS*ha⁻¹, avec une valeur maximale de $0,38$ tMS*ha⁻¹ pour le cultivar Sardi10 et une valeur minimale de $0,06$ tMS*ha⁻¹ pour le cultivar Magali. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,28$ nous a permis d'avoir sept groupes homogènes dont deux sont bien distincts et les autres se chevauchent. Pour l'essai, le taux de matière sèche est en moyenne égale à 38,46% (**Annexe I: Tab.4**).

Coupe2

Le rendement prend une valeur moyenne générale de 0.15 tMS*ha^{-1} avec un maximum de $0.292 \text{ tMS*ha}^{-1}$ (Mamuntanas) et un minimum de 0.06 tMS*ha^{-1} (Magali). L'analyse de la variance et le test du PPDS à 5% de 0.21 tMS*ha^{-1} fait ressortir quatre groupes dont le premier contient le cultivar le plus productif et le dernier groupe contient les cultivars qui ont les rendements les plus faibles avec des valeurs comprises dans la fourchette $0.06 \div 0.09 \text{ tMS*ha}^{-1}$ (**Annexe I: Tab.9**).

Coupe3

Le rendement en matière sèche pour cette coupe prend une moyenne générale de $0,16 \pm 0,08 \text{ tMS*ha}^{-1}$, avec une valeur maximale de $0,25 \text{ tMS*ha}^{-1}$ pour le cultivar Sardi10 et une valeur minimale de $0,07 \text{ tMS*ha}^{-1}$ pour le cultivar Magali. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,15$ nous a permis d'avoir cinq groupes homogènes dont deux sont bien distincts et les autres se chevauchent. Le groupe (A) correspond au cultivar le plus rentable et le groupe (E) comporte le cultivar le moins rentable (**Annexe I: Tab.14**).

Coupe4

La moyenne générale du rendement en matière sèche pour cette coupe prend une valeur de $0,13 \pm 0,08 \text{ tMS*ha}^{-1}$, avec une valeur maximale de $0,20 \text{ tMS*ha}^{-1}$ pour le cultivar Melissa et Mamuntanas et une valeur minimale de $0,08 \text{ tMS*ha}^{-1}$ pour le cultivar Magali. L'analyse de la variance avec le test du PPDS À 5% d'une valeur de $0,14 \text{ tMS*ha}^{-1}$ nous a permis d'avoir trois groupes homogènes (**Annexe I: Tab.19**).

Coupe5

Pour cette dernière coupe, le rendement en matière sèche prend une valeur moyenne de $0,14 \pm 0,10 \text{ tMS*ha}^{-1}$ et d'un taux de matière sèche de $40,17\%$. Le cultivar Erfoud1, reste le plus productif avec une valeur de $0,24 \text{ tMS*ha}^{-1}$. Par contre, les cultivars Coussouls et Magali sont les moins productifs avec des valeurs respectives de $0,07$ et $0,11 \text{ tMS*ha}^{-1}$. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,21$ nous a permis d'avoir quatre groupes homogènes. Et d'un taux de matière sèche égale à $40,17\%$ (**Annexe I: Tab.24**).

Le tableau n°15, donne les valeurs de rendement par cultivar et pour chaque saison ainsi que les groupes homogènes

III.1.2.2.1.2. Par saison**Saison hivernale**

La variation est la même que la première coupe, puisque c'est la seule coupe réalisée pour la saison hivernale

Saison printanière

Le rendement en matière sèche prend une valeur moyenne générale de l'essai de $0.30 \pm 0,17 \text{ tMS*ha}^{-1}$ avec un maximum de 0.52 tMS*ha^{-1} (Mamuntanas) et un minimum de 0.13 tMS*ha^{-1} (Magali). L'analyse de la variance et le test du PPDS à 5% de $0,35 \text{ tMS*ha}^{-1}$ fait ressortir six groupes homogènes. Le taux de matière sèche est de $37,30\%$ (**Annexe I: Tab.29**).

Saison estivale

Le rendement en matière sèche pour cette saison estivale, prend une moyenne générale de $0,27 \pm 0,18 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$, avec une valeur maximale de $0,43 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Melissa et une valeur minimale de $0,14 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Magali. L'analyse de la variance (non significative) avec le test du PPDS À 5% d'une valeur de 0,34% a permis d'avoir quatre groupes homogènes. Le groupe (A) englobe les cultivars les plus efficaces (Melissa et Erfoud1) avec une valeur moyenne de $0,43 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$. Par contre le groupe (D) comporte seulement le cultivar Magali. Le taux de matière sèche est de 38,36% (**Annexe I: Tab.34**).

Le tableau n°15, donne les valeurs de rendement par cultivar et pour chaque saison ainsi que les groupes homogènes

III.1.2.2.1.3. Par cycle

La valeur moyenne générale de l'essai de $0,77 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ avec un taux de matière sèche de 38,59%, un maximum de $1,26 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Sardi10) et un minimum de $0,33 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Magali). L'analyse de la variance et le test du PPDS À 5% de $0,91 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ a fait ressortir cinq groupes dont le premier contient le cultivar le plus productif et le dernier groupe contient les cultivars qui ont les rendements les plus faibles avec des valeurs comprises dans la fourchette $0,33 \div 0,63 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$. Les quatre cultivars (Sardi10, Mamuntanas, Erdfoud1 et Melissa) sont les plus productifs avec une moyenne de $1,21 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (**Annexe I: Tab.39**).

Pour la même année de production et dans une région sub-humide, le rendement en matière sèche pour l'essai en pluvial, varie entre 2,93 à 8,0 t/ha respectivement pour le cultivar Tamantit et Mamuntanas (**Ghibeche, 2008**).

III.1.2.2.2. Essai en irrigué

III.1.2.2.2.1. Par coupe

Coupe 1

Le rendement en matière sèche prend une moyenne générale de $0,88 \pm 0,43 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$, avec une valeur maximale de $1,34 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Ameristand 801s et une valeur minimale de $0,35 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Prosementi. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,34 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ a permis d'avoir sept groupes homogènes. Le taux de matière sèche moyen est de 28,83%. (**Annexe II: Tab.4**)

Coupe2

Le rendement en matière sèche prend une moyenne générale de $1,32 \pm 0,42 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$, avec une valeur maximale de $1,69 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Ameristand 801s et une valeur minimale de $0,70 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Magali. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,83 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ a permis d'avoir cinq groupes homogènes. Le taux de matière sèche moyen est de 31,23% (**AnnexeII: Tab.9**).

Coupe3

Le rendement en matière sèche prend une moyenne générale de $1,62 \pm 0,67 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$, avec une valeur maximale de $2,36 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Ameristand 801s et une valeur minimale de $0,98 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Magali. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $1,7 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ a permis d'avoir cinq groupes homogènes. Le taux de matière sèche moyen est de 34,35% (**Annexe II: Tab.14**).

Coupe4

Le rendement en matière sèche prend une moyenne générale de $1,61 \pm 0,64 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$, avec une valeur maximale de $2,43 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Ecotipo siciliano et une valeur minimale de $1,02 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Magali. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $1,01 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ a permis d'avoir quatre groupes homogènes. Le taux de matière sèche moyen est de 29,45% (**Annexe II: Tab.19**).

Coupe5

Le rendement en matière sèche prend une moyenne générale de $0,86 \pm 0,42 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$, avec une valeur maximale de $1,31 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Tamantit et Demnat, la valeur minimale de $0,40 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ est affecté au cultivar Magali. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,76 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ a permis d'avoir cinq groupes homogènes. Le taux de matière sèche moyen est de 38,51% (**Annexe II: Tab.24**).

Coupe6

Le rendement en matière sèche prend une moyenne générale de $0,37 \pm 0,19 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$, avec une valeur maximale de $0,59 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Demnat, la valeur minimale de $0,40 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ est affecté au cultivar Rich2. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,36 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ a permis d'avoir sept groupes homogènes. Le taux de matière sèche moyen est de 40,27% (**Annexe II: Tab.29**).

Le tableau n°16, donne les valeurs de rendement par cultivars et pour chaque coupe avec les groupes homogènes

III.1.2.2.2. Par saison**Saison hivernale**

La variation est la même que la première coupe, puisque c'est la seule coupe réalisée pour la saison hivernale

Saison printanière

Le rendement en matière sèche prend une moyenne générale de $2,94 \pm 0,97 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$, avec un maximum de $4,05 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Ameristand 801s) et un minimum de $1,68 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Magali). Le taux de matière sèche moyen est de 32,79%. L'analyse de la variance révèle une différence hautement significative avec six groupes homogènes par le test du PPDS à 5% d'une valeur de $1,77 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (**Annexe II: Tab.34**).

Saison estivale

Le rendement en matière sèche prend une moyenne générale de $2,84 \pm 1,08 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$, avec un maximum de $3,97 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Ecotipo siciliano) et un minimum de $1,67 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Rich2). Le taux de matière sèche moyen est de 36,08%. L'analyse de la variance révèle une différence non significative avec quatre groupes homogènes par le test du PPDS à 5% d'une valeur de $1,77 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (**Annexe II: Tab.39**).

Le tableau n°16, donne les valeurs de rendement par cultivar et pour chaque saison ainsi que les groupes homogènes

III.1.2.2.2.3. Par cycle

La valeur moyenne générale de l'essai de $6,66 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ avec un taux de matière sèche de 33,77%. Le rendement est borné entre un maximum de $8,59 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Ameristand 801s) et un minimum de $3,82 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Magali). L'analyse de la variance et le test du PPDS à 5% de $3,92 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ a fait ressortir cinq groupes (**Annexe II: Tab.44**).

Pour la même année de production et dans une région sub-humide, le rendement en matière sèche pour l'essai en irrigué varie entre $7,47 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Tamantit) et $16,23 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ pour le cultivar Ecotipo siciliano (**Ghibeche, 2008**).

En général, pour l'essai en pluvial, le rendement en matière fraîche et en matière sèche décroît de la 1^{ère} coupe à la 5^{ème} coupe (Fig. 17). En effet, le pourcentage moyen du rendement par coupe par rapport au rendement du cycle, représente respectivement, 25,63% pour la 1^{ère} coupe, 19,68% pour la 2^{ème} et la 3^{ème} coupe, et 17,46% pour la 4^{ème} et 5^{ème} coupe.

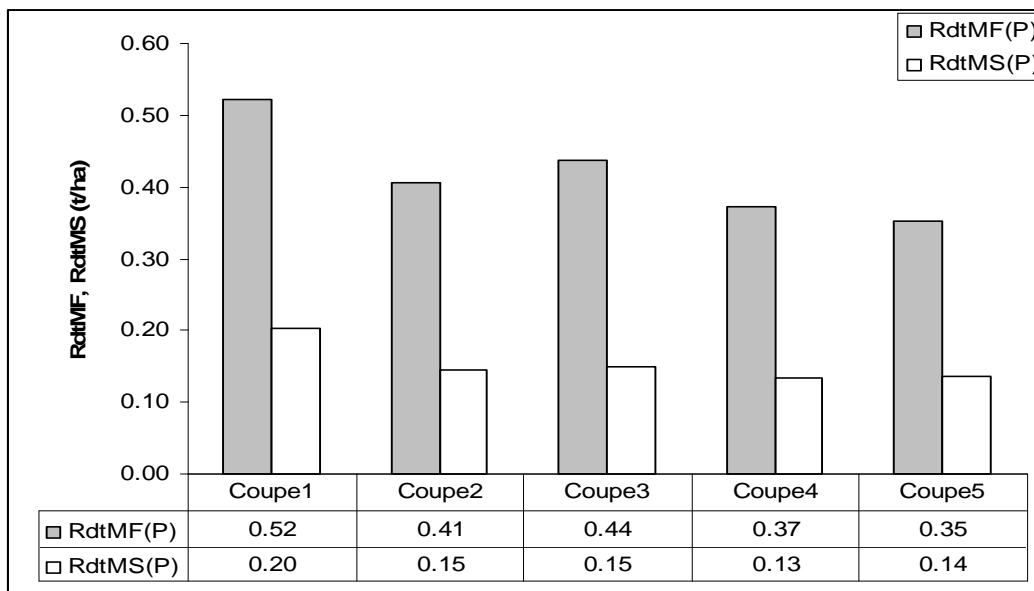


Figure 17: Variation du rendement par coupe (essai en pluvial)

Le rendement pour l'essai en pluvial, progresse de l'hiver au printemps pour rechuter à la saison estivale (Fig. 18). La production hivernale, représente 25,63% du total. Par contre, la production maximale est enregistrée dans la saison printanière avec un pourcentage de 40,25%. Quant à la saison estivale, elle représente 34,94% du rendement total.

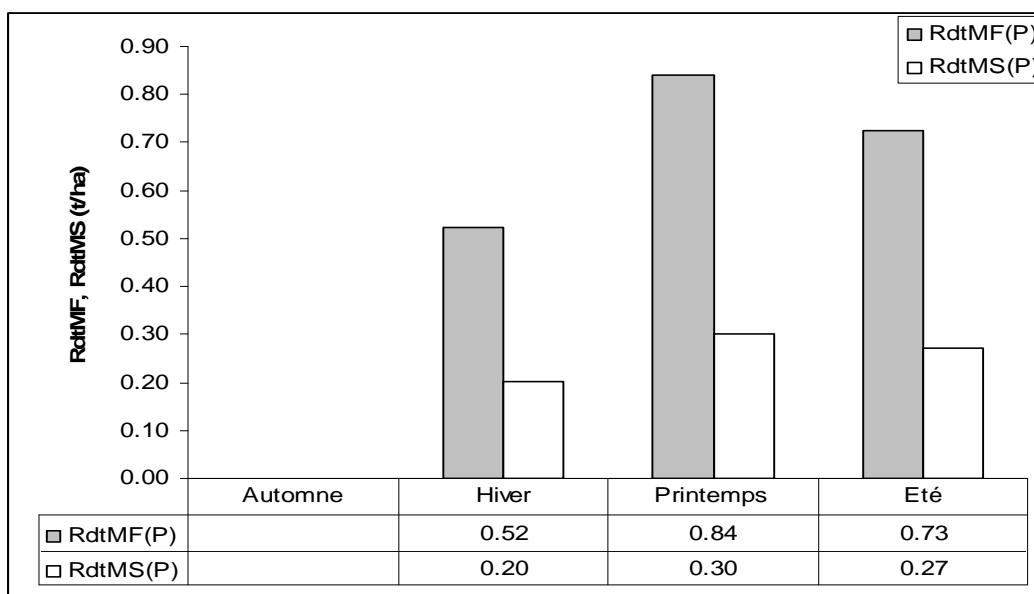


Figure 18 : Variation saisonnière du rendement en matière fraîche et sèche (essai en pluvial)

Pour l'essai en irrigué, le RdtMF prend une valeur maximale de 5.53 t*ha⁻¹ à la 4^{ème} coupe et une minimale à la 6^{ème} coupe. Il progresse de la 1^{ère} coupe à 4^{ème} coupe puis il régresse (Fig.19).

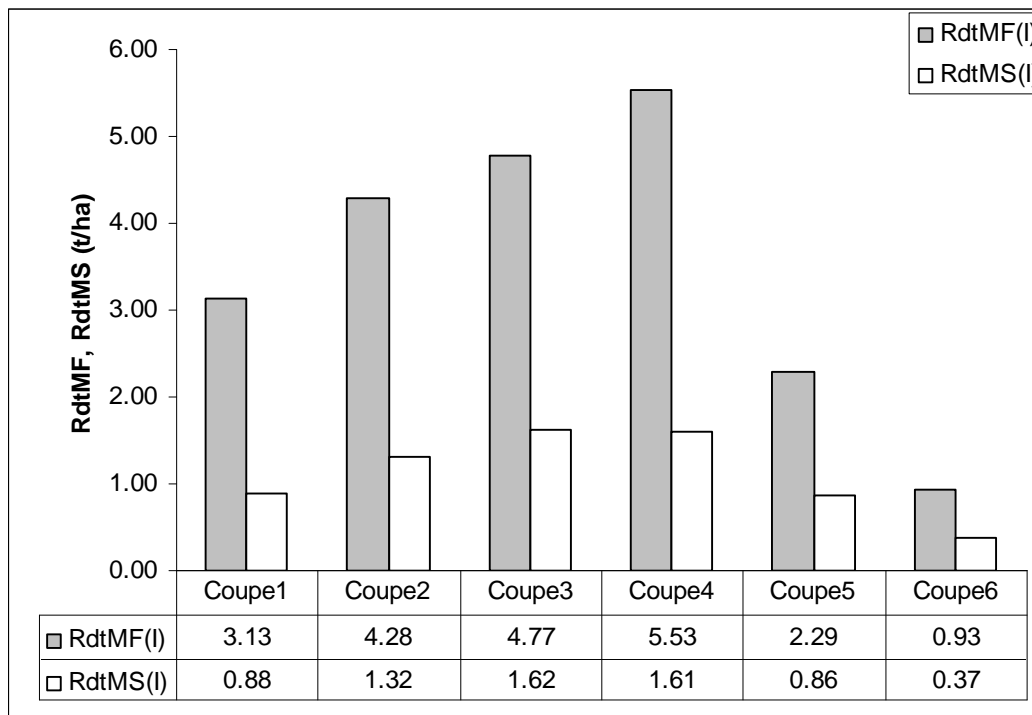


Figure 19 : Variation du rendement par coupe (Essai en irrigué)

Les rendements saisonniers (matière fraîche et matière sèche) suivent la même allure. Ils évoluent de la saison hivernale à la saison printanière. Puis ils se stabilisent plus ou moins à la saison estivale.

En général, le rendement hivernal représente en moyenne 14.12% du rendement total. Les rendements printanier et estival, représentent respectivement 43.68% et 42.20% (Fig. 20).

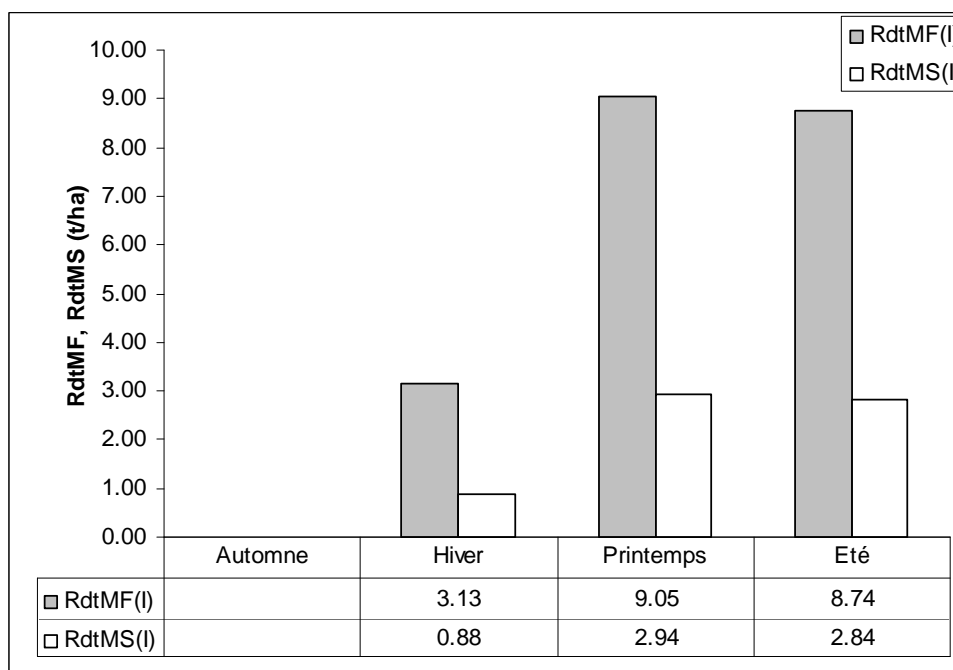


Figure 20: Variation saisonnière du rendement en matière fraîche et sèche (Essai irrigué)

Pour le rendement en matière fraîche, nous constatons des valeurs incomparables entre l'essai en irrigué et l'essai en pluvial. En effet, la réduction correspondante est comprise entre un minimum de 85,99% pour le cultivar Ecotipo siciliano et un maximum de 94,40% pour le cultivar Sardi10 (**Fig. 21**). La même remarque est faite pour le rendement en matière sèche, avec des valeurs de réduction de 83,48% pour le cultivar Rich2 et 92,97% pour les cultivars Ecotipo siciliano et Demnat (**Fig. 22**).

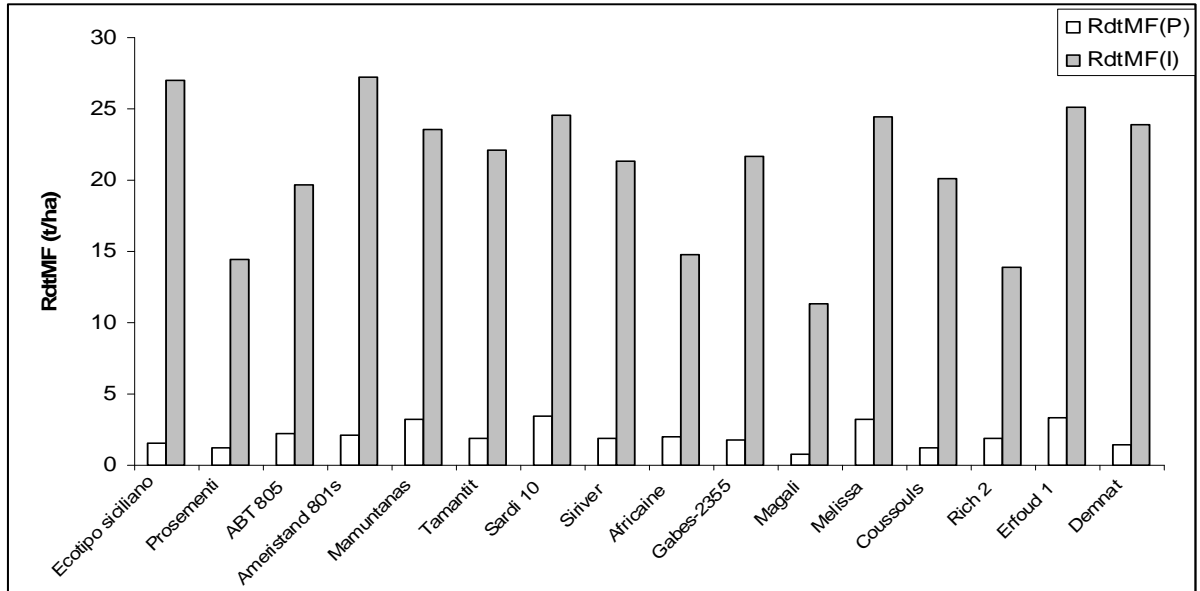


Figure 21: Variation du rendement en matière fraîche (RdtMF) des deux essais.

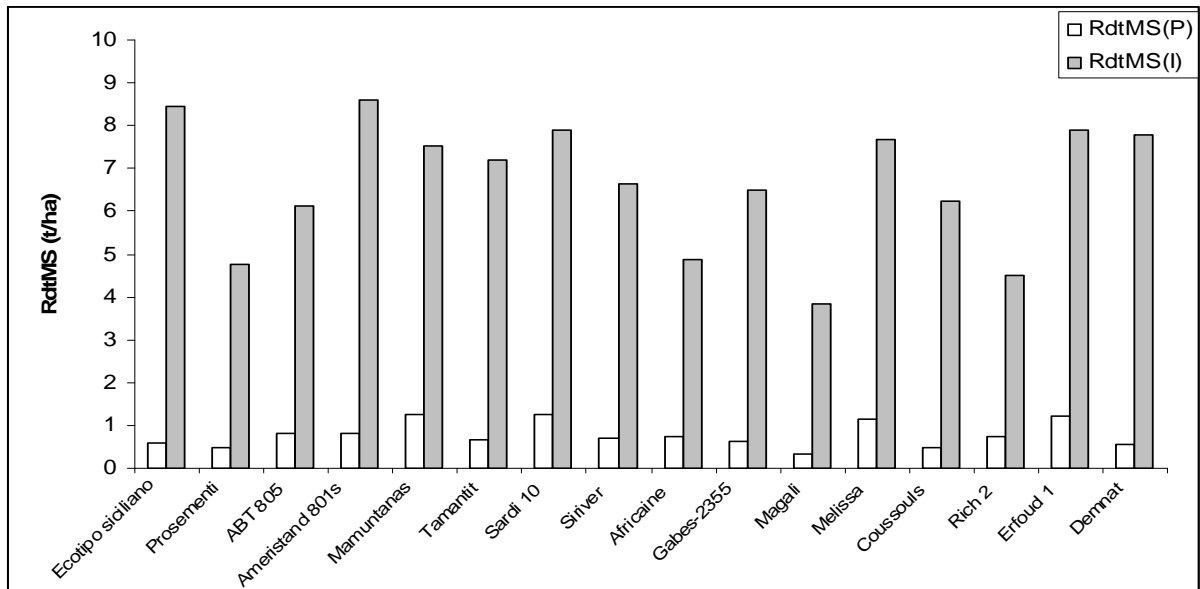


Figure 22 : Variation du rendement en matière sèche (RdtMS) des deux essais.

III.1.3. Paramètre efficence de l'utilisation de l'eau (EUE)

L'efficence de l'utilisation de l'eau est le rapport entre le rendement et la consommation en eau. Cette dernière est estimée par le biais du bilan hydrique qui utilise le profil hydrique mesuré par la sonde à neutron préalablement étalonnée. La méthode d'étalonnage utilisée est celle de la méthode de terrain et les équations d'étalonnage obtenues sont les suivantes :

Tableau 17: Equations d'étalonnage de la sonde à neutron CPN 503

Horizon (cm)	Equation d'étalonnage	Coefficient de détermination
0-20	$= 0,087 * CR + 0,268$	0,041
20-40	$= 0,818 * CR - 0,104$	0,519
40-60	$= 0,854 * CR - 0,162$	0,622
60-80	$= 0,708 * CR - 0,080$	0,577
80-100	$= 0,839 * CR - 0,114$	0,749
100-120	$= 0,644 * CR - 0,012$	0,699

L'analyse des droites de régression de l'humidité volumique en fonction du comptage relatif pour les six horizons du profil de sol de notre parcelle d'essai (Tab. 17), nous révèle pour le premier horizon (0-20cm) qu'il n'y a pas de corrélation ($R^2=0.041$) puisque la sonde à neutron utilisé CPN 503 est une sonde de profondeur. Le rayon de la sphère d'influence de cette sonde dans un sol très sec peut atteindre les 20cm ou plus, pour cette raison nous avons pris la teneur en eau de l'horizon 0-20cm égale à la moitié de celle de l'horizon 20-40cm (Bacchi et al., 2000).

Pour les autres horizons, nous avons pris une seule droite de régression pour tout le profil car les pentes des droites de régressions sont peu différentes. Le même constat est fait par Bouthiba (1996) en travaillant avec le même type de sonde à neutron (CPN 503 hydroprobe) sur une tranche de sol de 90cm de profondeur.

Notre équation d'étalonnage du profil de sol est établie en incluant tout les comptages neutroniques de tous les horizons en excluant l'horizon 0-20cm. La droite s'écrit :

$$\text{Humidité volumique (Hv)} = 0.786 * \text{CR} - 0.106 \quad (R^2=0.760)$$

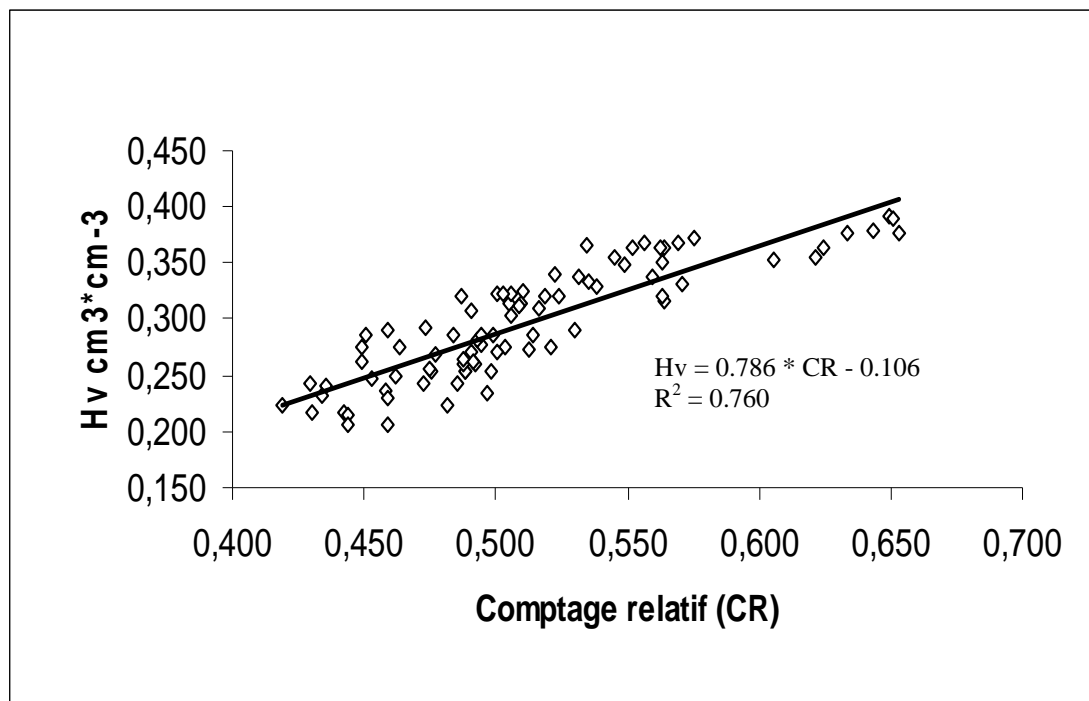


Figure 23 : Droite d'étalonnage de la sonde à neutron pour tout le profil

III.1.3.1. Essai en pluvial**III.1.3.1.1. Par coupe****Coupe1**

L'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) pour cette coupe hivernale est plus faible, ceci est conséquent du faible rendement en matière sèche obtenu. En effet l'EUE ne dépasse pas la valeur de l'unité et la moyenne générale de l'essai est de $0,32 \pm 0,27 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% fait ressortir six groupes homogènes, le groupe (A) contient les cultivars les plus efficaces (Ameristand 801s et Sardi 10) avec des valeurs respectives de $0,58 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ et $0,55 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Le groupe homogène (F) contient le cultivar le moins efficace avec une valeur de $0,08 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (**Annexe I: Tab.5**).

Coupe2

L'efficacité de l'utilisation de l'eau pour cette coupe reste plus faible et les valeurs enregistrées ne dépassent pas la valeur maximale de $0,67 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (Mamuntanas). L'EUE le plus faible ($0,12 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$) est celui du cultivar Magali

L'analyse de la variance ne révèle pas de différence significative. Le test du PPDS à 50% ($0,44 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$) a fait ressortir cinq groupes homogènes. La moyenne générale de l'essai est de $0,30 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (**Annexe I: Tab.10**).

Coupe3

L'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) pour cette coupe est importante. La moyenne générale de l'essai est de $1,10 \pm 0,67 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% a fait ressortir cinq groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar le plus efficace (Ameristand 801s) avec une valeur de $1,99 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Le groupe homogène (E) contient le cultivar le moins efficace avec une valeur de $0,56 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (**Annexe I: Tab.15**).

Coupe4

L'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) pour cette coupe ne dépasse pas l'unité et la moyenne générale de l'essai est de $0,45 \pm 0,34 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% a fait ressortir trois groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar le plus efficace (Mamuntanas) avec une valeur de $0,78 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Le groupe homogène (C) contient le cultivar le moins efficace avec (Demnat) une valeur de $0,08 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (**Annexe I: Tab.20**).

Coupe5

L'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) pour cette dernière coupe estivale prend une moyenne générale de l'essai de $0,77 \pm 0,67 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% a fait ressortir quatre groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar le plus efficace (Sardi 10) avec une valeur de $1,89 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Le groupe homogène (D) contient les cultivars les moins efficaces (Mamuntans, Siriver, Rich2, Ameristand 801s, Gabes-2355, ABT 805, Magali, Prosementi et Coussouls) avec une valeur moyenne de $0,50 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (**Annexe I: Tab.25**).

Le tableau n°18, donne les valeurs de l'efficacité par cultivar et pour chaque coupe avec les groupes homogènes

III.1.3.1.2. Par saison**Saison hivernale**

La variation est la même que la première coupe, puisque c'est la seule coupe réalisée pour la saison hivernale

Saison printanière

L'efficacité de l'utilisation de l'eau pour cette saison printanière prend une valeur moyenne générale de $0,45 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ et les valeurs enregistrées ne dépassent pas l'unité. La valeur maximale de $0,84 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ est affectée au cultivar Mamuntanas. Par contre le cultivar le moins efficace est Magali ($0,19 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$). L'analyse de variance révèle une différence significative et le test du PPDS à 50% ($0,54 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$) a fait ressortir quatre groupes homogènes. La moyenne générale de l'essai est de $0,45 \pm 0,29 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (**Annexe I: Tab.35**).

Saison estivale

L'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) prend une moyenne générale de $0,52 \pm 0,42 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% a fait ressortir quatre groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar le plus efficace (Sardi 10) avec une valeur de $1,06 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Par contre le groupe (D) contient le cultivar le moins efficace avec une valeur de $0,29 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (**Annexe I: Tab.40**).

Le tableau n°18, donne les valeurs de l'efficacité par cultivar et pour chaque saison ainsi que les groupes homogènes.

III.1.3.1.3. Par cycle

L'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) pour tout le cycle prend comme valeur moyenne générale de l'essai $0,39 \pm 0,25 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $1,30 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ a fait ressortir cinq groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar le plus efficace (Sardi 10) avec une valeur de $0,69 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Le groupe homogène (E) englobe trois cultivars (Gabes-2355, Prosementi et Magali) les moins efficaces avec des valeurs comprises dans la fourchette $0,17 \div 0,25 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (**Annexe I: Tab.45**).

Pour la même année de production et dans une région sub-humide, l'efficacité de l'utilisation de l'eau varie entre $0,85 \text{ KgMS}/\text{m}^3$ pour le cultivar Tamantit et $2,35 \text{ KgMS}/\text{m}^3$ pour le cultivar Ecotipo siciliano (**Ghibeche, 2008**).

III.1.3.2. Essai en Irrigué**III.1.3.2.1. Par coupe****Coupe1**

L'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE) prend une moyenne générale de $0,40 \pm 0,20$ KgMS*m⁻³. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% a fait ressortir sept groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar le plus efficient (Ameristand 801s) avec une valeur de $0,61$ KgMS*m⁻³. Par contre le groupe (G) contient le cultivar le moins efficient avec une valeur de $0,11$ KgMS*m⁻³ (**Annexe II : Tab.5**).

Coupe2

L'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE) prend une moyenne générale de $0,88 \pm 0,28$ KgMS*m⁻³. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% ($0,55$ KgMS*m⁻³) fait ressortir cinq groupes homogènes, le groupe (A) contient les cultivars les plus efficientes (Ameristand 801s, Mamuntanas, Ecotipi siciliano et Melissa) avec des valeurs comprises entre $1,13$ KgMS*m⁻³ et $1,11$ KgMS*m⁻³. Par contre le groupe (E) contient Magali le moins efficient avec une valeur de $0,47$ KgMS*m⁻³ (**Annexe II : Tab.10**).

Coupe3

L'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE) prend une moyenne générale de $0,94 \pm 0,39$ KgMS*m⁻³. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% ($0,62$ KgMS*m⁻³) fait ressortir quatre groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar le plus efficient Ameristand 801s avec $1,37$ KgMS*m⁻³. Par contre le groupe (D) contient Magali le moins efficient avec $0,57$ KgMS*m⁻³ (**Annexe II : Tab.15**).

Coupe4

L'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE) prend une moyenne générale de $0,95 \pm 0,38$ KgMS*m⁻³. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% ($0,59$ KgMS*m⁻³) fait ressortir quatre groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar le plus efficient Ecotipo siciliano avec $1,43$ KgMS*m⁻³. Par contre le groupe (D) contient Magali le moins efficient avec $0,60$ KgMS*m⁻³ (**Annexe II : Tab.20**).

Coupe 5

L'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE) prend une moyenne générale de $0,62 \pm 0,30$ KgMS*m⁻³. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% ($0,55$ KgMS*m⁻³) fait ressortir cinq groupes homogènes, le groupe (A) contient les cultivars les plus efficientes Tamantit et Demnat avec $0,94$ KgMS*m⁻³. Par contre le groupe (E) contient Rich2 le moins efficient avec $0,29$ KgMS*m⁻³ (**Annexe II : Tab.25**).

Coupe6

L'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE) prend une moyenne générale de $0,37 \pm 0,19$ KgMS*m⁻³. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% ($0,36$ KgMS*m⁻³) fait ressortir sept groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar le plus efficient Demnat avec $0,94$ KgMS*m⁻³. Par contre le groupe (G) contient Rich2 le moins efficient avec $0,1$ KgMS*m⁻³ (**Annexe II : Tab.30**).

Le tableau n°19, donne les valeurs de l'efficience par cultivar et pour chaque coupe avec les groupes homogènes.

III.1.3.2.2. Par saison

Saison hivernale

La variation est la même que la première coupe, puisque c'est la seule coupe réalisée pour la saison hivernale.

Saison printanière

La moyenne générale est de $0,91 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse de la variance et le test de newman-Keuls montre une différence hautement significative. Avec le test du PPDS à 5% de $0,55 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ a fait ressortir six groupes homogènes. Les valeurs moyennes varient entre un maximum de $1,26 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (Ameristand 801s) et un minimum de $0,52 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ pour Magali (**Annexe II : Tab.35**).

Saison estivale

La moyenne générale est de $0,65 \pm 0,25 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse de la variance et le test de newman-Keuls montre une différence non significative. Avec le test du PPDS à 5% de $0,41 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ a fait ressortir quatre groupes homogènes. Les valeurs moyennes varient entre un maximum de $0,91 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (Ecotipo siciliano) et un minimum de $0,38 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ pour Rich2 (**Annexe II : Tab.40**).

Le tableau n°19, donne les valeurs de l'efficacité par cultivar et pour chaque saison ainsi que les groupes homogènes.

III.1.3.2.3. Par cycle

L'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) pour tout le cycle prend une valeur moyenne générale de l'essai est de $0,68 \pm 0,22 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,40 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ a fait ressortir cinq groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar les plus efficaces (Ameristand 801s, Ecotipo siciliano, Sardi10 Erfoud1, Melissa et Demnat) avec des valeurs comprises entre $0,79 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ et $0,88 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Le groupe homogène (E) contient le cultivar le moins efficace d'une valeur de $0,39 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (**Annexe II, Tab.45**).

Pour la même année de production et dans une région sub-humide, l'efficacité de l'utilisation de l'eau varie entre $1,51 \text{ KgMS}/\text{m}^3$ pour le cultivar Tamantit et $2,97 \text{ KgMS}/\text{m}^3$ pour le cultivar Ecotipo siciliano (**Ghibeche, 2008**).

Pour l'essai en irrigué, l'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE) progresse de la 1^{ère} coupe à la 4^{ème} coupe pour rechuter à la 6^{ème} coupe. Par contre pour l'essai en pluvial, l'EUE évolue de la 1^{ère} coupe à la 3^{ème} coupe de même que les deux autres coupes.

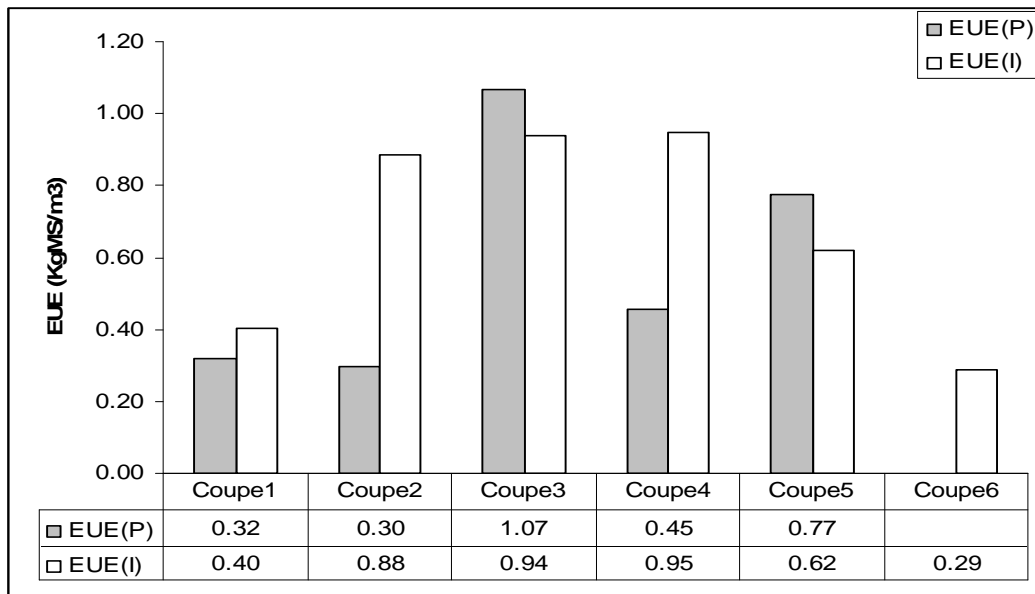


Figure 24 : Variation de l'EUE par coupe pour l'essai en pluvial et l'essai en irrigué.

Sans dépasser l'unité, l'EUE pour l'essai en pluvial progresse de la saison hivernale à la saison estivale et elle est maximale à la saison printanière pour l'essai en irrigué.

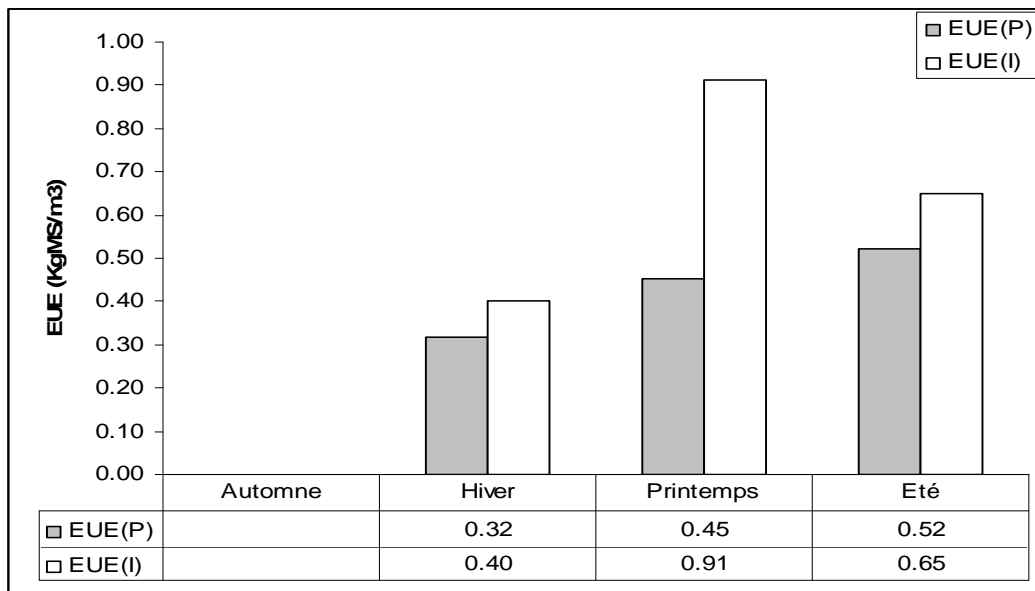


Figure 25: Variation saisonnière de l'EUE pour l'essai en irrigué et l'essai en pluvial

L'efficience de l'utilisation de l'eau pour l'essai en irrigué est toujours supérieure à celle de l'essai en pluvial sans dépasser l'unité (Fig. 26).

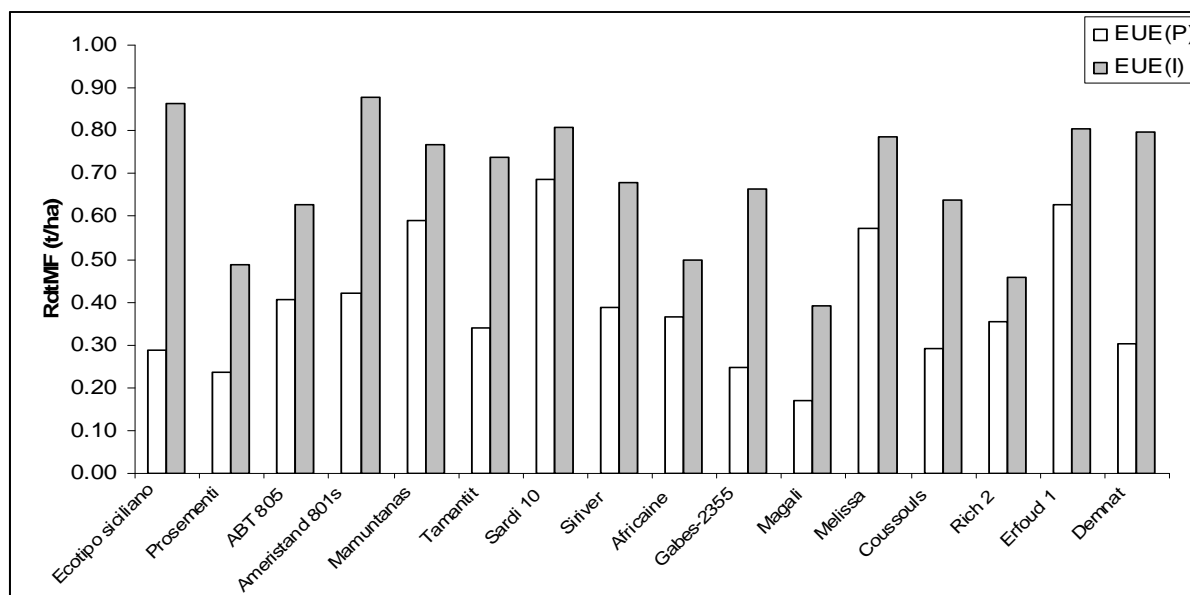


Figure 26 : Variation de l'EUE par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)

III.1.4. Paramètres dormance-pérennité

Les paramètres pris en considération sont : La sénescence, le ratio, le TEOS et le NPL.

III.1.4.1. Paramètre de sénescence (SEN)

III.1.4.1.1. Essai en pluvial

La sénescence (SEN) prend comme valeur moyenne générale de l'essai $38,68 \pm 7,22\%$ (Tab. 21). L'analyse de la variance et le test de newman-Keuls montre une différence très hautement significative. Avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de 15,66% a fait ressortir six groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar Tamantit avec une SEN plus importante de 46,83%. Le groupe homogène (F) contient le cultivar Gabès-2355 qui a la SEN la plus faible 26,25% (**Annexe II, Tab.46**)

III.1.4.1.2. Essai en irrigué

La sénescence (SEN) prend une valeur moyenne générale de l'essai de $47,88 \pm 1,98\%$ (Tab. 20). L'analyse de la variance et le test de newman-Keuls ne montre pas de différence significative. Avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de 2,74% a fait ressortir deux groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar (Ecotipo siciliano) qui a la SEN plus importante de 49,50%. Le groupe homogène (B) contient le cultivar (Rich2) qui a la SEN la plus faible 46,58% (**Annexe I: Tab.41**).

La figure n°27, montre que la sénescence pour l'essai en pluvial et pour tous les cultivars est toujours inférieure à celle de l'essai en irrigué.

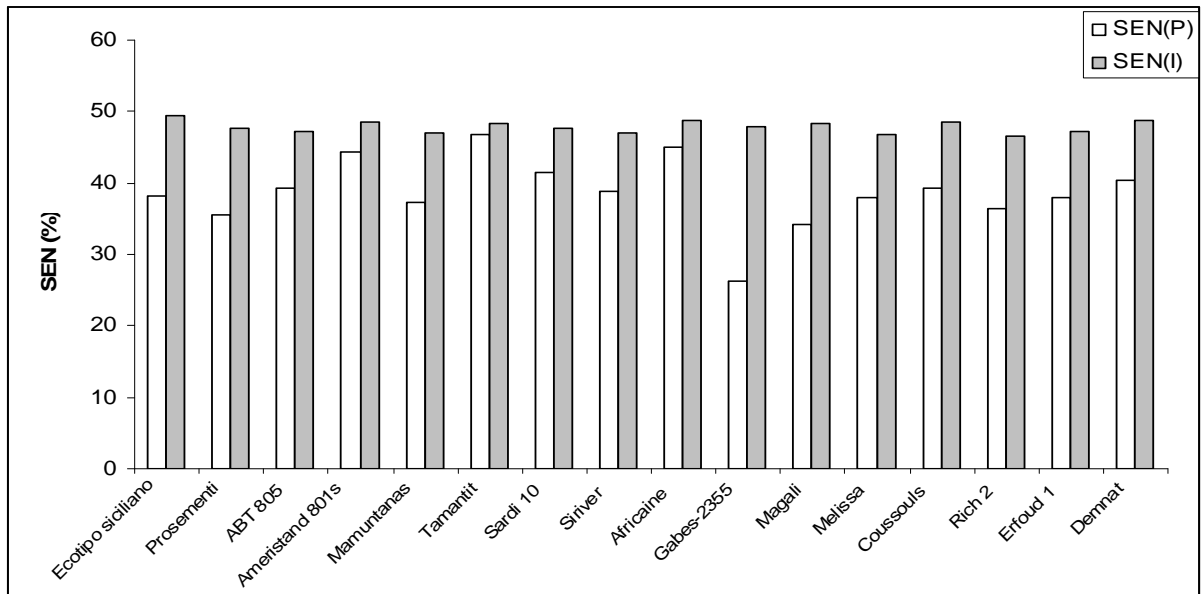


Figure 27: Variation de la sénescence par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)

III.1.4.2. Paramètre ratio (Ratio)

III.1.4.2.1. Essai en pluvial

Le Ratio prend une valeur moyenne de $0,27 \pm 0,05$ (Tab. 20). L'analyse de la variance avec le test de Newman-Keuls et du PPDS à 5%, n'ont pas montré de différences entre les cultivars. Le Ratio varie entre 0,30 et 0,24 (**Annexe I : Tab.42**).

III.1.4.2.2. Essai en irrigué

Les valeurs du ratio des cultivars varient entre un maximum de 0,441 (Rich2) et un minimum de 0,23 (Magali). La valeur moyenne de l'essai est de $0,32 \pm 0,10$ (Tab. 21). L'analyse de la variance ne montre pas de différence entre les valeurs des cultivars. Avec le test du PPDS à 5% (0,166), trois groupes homogènes apparaissent. Le groupe (A) contient le cultivar Rich2. Par contre le groupe (C), contient des cultivars qui ont des ratios inférieurs à 0,245 (**Annexe II, Tab.47**).

L'écart entre les valeurs du ratio des deux essais est toujours existant, mais il est important pour les cultivars : Africaine, Gabès-2355, Rich2 et Erfoud1 (**Fig. 28**).

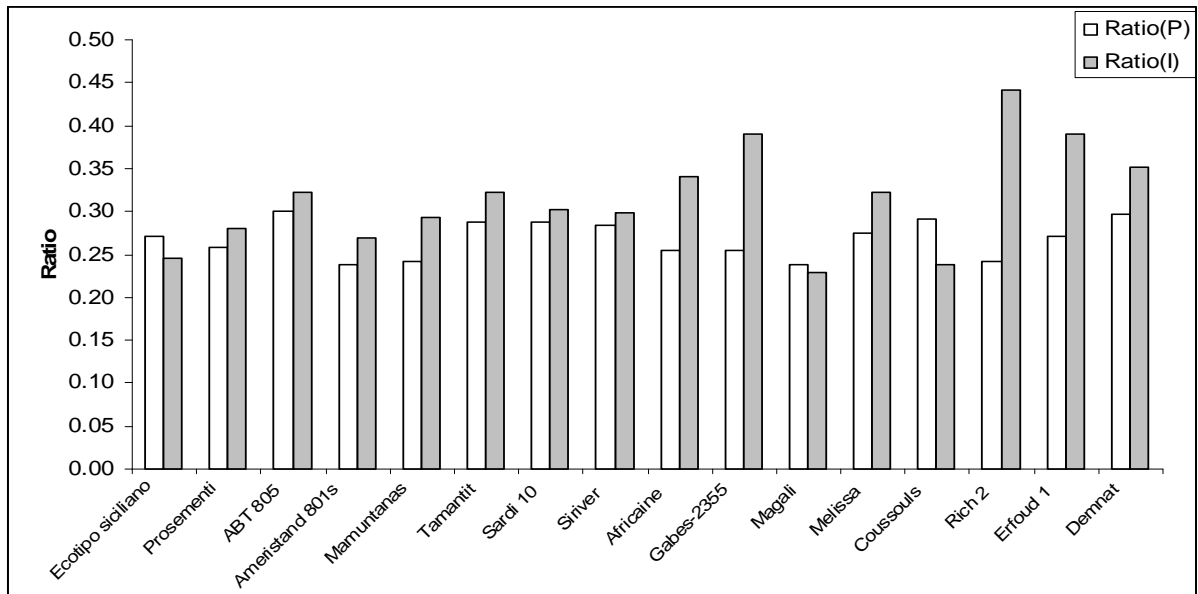


Figure 28: Variation du ratio par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)

III.1.4.3. Paramètre taux d'eau dans les organes souterrains (TEOS)

III.1.4.3.1. Essai en pluvial

La valeur moyenne que prend le taux d'eau dans les organes supérieurs (TEOS en %) est de $53,92 \pm 3,04\%$ (Tab. 20). Avec le test de Newman-Keuls, l'analyse de la variance ne révèle pas de différence entre les cultivars. Par contre avec la PPDS à 5%, trois groupes sont distincts. Le groupe (A), englobe le cultivar (Gabès-2355) qui a la valeur la plus élevée de 57.67%. Par contre le dernier groupe, contient les cultivars (Mamuntanas, Erfoud1, Siriver et Sardi10) qui ont les plus faibles valeurs, comprises respectivement entre 51.90% et 51,29% (**Annexe II : Tab.43**).

III.1.4.3.2. Essai en irrigué

L'analyse de la variance ne montre pas une différence entre les cultivars. Les valeurs moyennes fluctuent entre un maximum de 59,21% pour le cultivar Gabès-2355 formant le groupe homogène (A) et un minimum de 51,68% pour le cultivar Mamuntanas formant le groupe homogène (C). La valeur moyenne de l'essai est de $55,68 \pm 2,98\%$ (**Annexe II : Tab.48**).

Pour les deux essais, le taux d'eau dans les organes souterrains, reste supérieur à 50%. C'est-à-dire que tous les cultivars en perdant leur partie végétative, conservent un peu de leur humidité relative en eau. Les valeurs de l'essai en pluvial sont nettement inférieures à celles de l'essai en irrigué (**Fig. 29**).

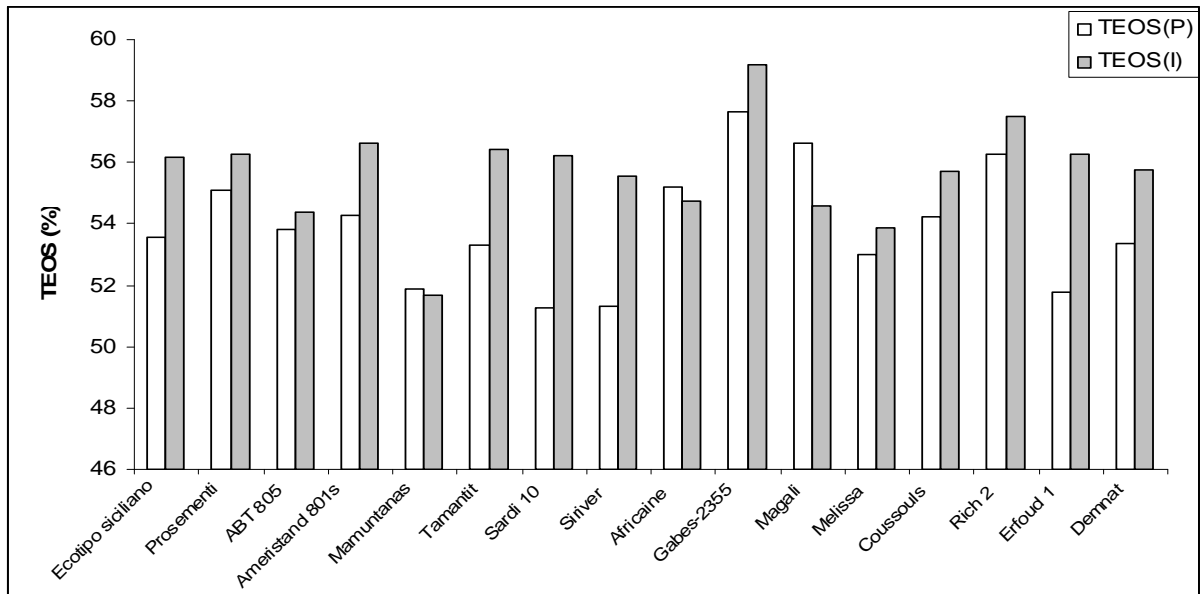


Figure 29: Variation de la TEOS par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)

III.1.4.4. Paramètre nombre de plant par 50cm linéaire (NPL)

III.1.4.4.1. Essai en pluvial

Le NPL pour tout le cycle prend une valeur moyenne générale de l'essai est de $1,16 \pm 0,67$ plant* 50cm^{-1} (Tab. 20). L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $0,98$ plant* 50cm^{-1} fait ressortir trois groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar le plus dense (Mamuntanas) avec une valeur de $1,75$ plant* 50cm^{-1} . Le groupe homogène (C) contient le cultivar le moins dense (Ameristand 801s) d'une valeur de $0,54$ plant* 50cm^{-1} (Annexe I : Tab.44).

III.1.4.4.2. Essai en irrigué

Le NPL pour tout le cycle prend une valeur moyenne générale de l'essai de $2,43 \pm 1,00$ plant* 50cm^{-1} . L'analyse de la variance avec le test du PPDS à 5% d'une valeur de $1,55$ plant* 50cm^{-1} fait ressortir quatre groupes homogènes, le groupe (A) contient le cultivar le plus dense (Ameristand 801s) avec une valeur de $3,58$ plant* 50cm^{-1} . Le groupe homogène (D) contient le cultivar le moins dense (Prosementi) d'une valeur de $1,5$ plant* 50cm^{-1} (Annexe II : Tab.49).

L'écart du nombre de plant par 50cm linéaire peut nous renseigner sur le degré de l'effet d'un stress hydrique sur le cultivar. En effet, le grand écart est enregistré pour le cultivar Ameristand 801s, par contre le petit écart est enregistré pour le cultivar Prosementi (Fig. 30).

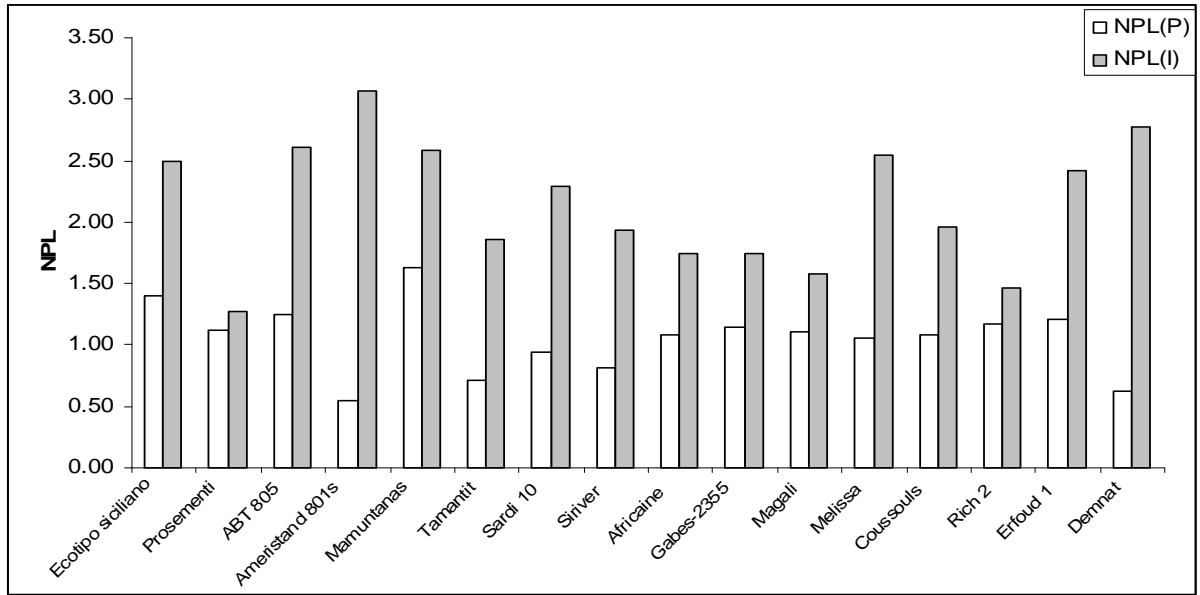


Figure 30: Variation du NPL par cultivar pour les deux essais (pluvial et irrigué)

III.1.5. Discussion

III.1.5.1. Paramètres de forme

III.1.5.1.1. Hauteur

Dans l'essai en pluvial, la hauteur de végétation pour cette année de production (2007-2008), est marquée par une progression de la saison hivernale à la saison printanière. Pour la même période, la disponibilité des 41.60% de pluie et une température moyenne mensuelle comprise entre 10.33 °C et 20.45° ont construit un facteur favorable pour le bon développement des cultivars.

Les hauteurs moyennes par cultivar obtenues pour cette campagne, sont considérées comme faibles. En effet, **Bouizgaren et al. (2010)** sur une période de trois années de production (2006-2008) sous le climat du Maroc, ont trouvé des hauteurs comprises entre 51 cm et 66.8cm qui sont nettement supérieures à celles trouvées à Hmadna.

En Sardaigne (Italie) sur un essai conduit en pluvial, en deux années de production (2006 et 2007), **Pecceti et al. (2008)**, trouvent des hauteurs de végétation comparables à nos résultats avec une moyenne générale de la hauteur des cultivars de 19.44cm contre 15.72 cm à H'madna (Algérie), et avec une valeur maximale de 27.9cm affectée au cultivar Demnat alors que les valeurs les plus faibles variant entre 13.1cm et 14.7 cm sont affectées aux cultivars Coussouls, Africaine, Magali et Prosementi. Pour l'essai de Hmadna les valeurs minimales varient de 12.39cm à 14.07cm pour les cultivars Magali, Coussouls et Prosementi.

Dans l'essai de **Bouizgaren et al. (2010)**, les cultivars Tamantit et Coussouls avec de faibles hauteurs et le cultivar Sardi10 avec la plus grande hauteur, viennent confirmer les résultats trouvés à Hmadna en 4^{ème} année de production.

La hauteur moyenne de 25.49cm de l'essai en irrigué à Hmadna représente le 1/3 de celle trouvée pour l'essai de **Bouizgaren et al. (2010)**. Le cultivar Demnat prend la hauteur la plus forte de 29.41cm et 84.3cm respectivement pour l'essai à Hmadna et au Maroc.

Alboudi (1988) constate que l'effet de la sécheresse est nettement apparent sur la hauteur des tiges. En effet, il a trouvé que la hauteur des tiges de trois luzernes (Europe, Gabès et Pâturage Hugues), a diminuée de 35% du traitement irrigué au traitement pluvial.

III.1.5.1.2. Recouvrement

De la 1^{ère} à la 3^{ème} coupe, la réduction du recouvrement linéaire est nettement marquée en essai pluvial. Ce phénomène est bien connu. En effet **Lemaire et Pflimlin (2007)** remarquent une réduction de la croissance foliaire pour des plantes fourragères soumises à une forte sécheresse. Dans ces conditions, la luzerne perd du poids des tiges et réduit la taille des folioles pour réduire la perte en eau **Annicchiarico (2007)**.

D'après **Hireche-Adjal (2006)**, une sécheresse intense réduit la croissance en hauteur des plants et l'apparition d'une défoliation ce qui conduit à la réduction du recouvrement.

Le recouvrement maximale obtenu à H'madna est de 27.4% pour le cultivar Mamuntanas contre 12.90% pour le cultivar Tamantit. Ces résultats ressemblent sensiblement à ceux trouvés par **Pecceti et al. (2008)**. En effet, le cultivar Tamantit présente un faible recouvrement de 9.1% et Mamuntanas est compté parmi les cultivars les plus couvrant avec une valeur de 32.8%.

Dans un confort hydrique, les cultivars maintiennent ou développent leurs recouvrements. Ce dernier passe de 46.89% à 56.06% de la 1^{ère} coupe (saison hivernale) à la 4^{ème} coupe (saison printanière).

III.1.5.2. Paramètres de production

III.1.5.2.1. Essai en pluvial

Le rendement ne dépasse pas les 3.45 t/ha de matière fraîche et 1.26 t/ha de matière sèche. Les moyennes de 2.10 tMS/ha et de 0.77 tMS/ha, représentent le rendement le plus faible de la 1^{ère} à la 4^{ème} année. Ce comportement est le résultat de l'effet âge. En effet, **Mauriès (1994)** avance qu'au-delà de la 3^{ème} année de production, la luzerne et leurs associations voient leurs productions diminuer. Cette réduction peut être expliquée par l'intensité et la durée de la sécheresse (contraintes abiotique) subies pendant 3 années de production.

Pour la deuxième année de production, nous avons obtenu un rendement supérieur à celui de la 4^{ème} année de production. Il est compris entre 2.25 tMS/ha et 4.79 tMS/ha (**Bellague et al., 2008**)

Bouizgaren et al. (2010), sur une moyenne de 3 campagnes de production (2005-2006, 2006-2007 et 2007-2008) a obtenu des rendements annuels moyens en matière sèche de 10.57 t/ha/an. Le cultivar le plus productif est Ameristand 801s avec 12.37 tMS/ha/an et le cultivar Africaine est le moins productif avec 8.8 tMS/ha/an. Ces résultats sont nettement supérieurs à ceux trouvés à Hmadna.

Adoui (2007), en travaillant sur les mêmes cultivars en 3^{ème} année de production et sous un climat sub-humide, trouve que le rendement en matière sèche varie d'une valeur minimale de 5.45 tMS/ha pour le cultivar Tamantit et d'une valeur maximale qui dépasse les 10tMS/ha pour les cultivars Mamuntanas et Sardi10. D'après **Ghibeche (2008)** en 4^{ème} année de production, le cultivar Mamuntanas est le plus productif avec 8.0tMS/ha et le cultivar Tamantit est le moins productif avec 2.93 tMS/ha. Ces résultats confirment ceux trouvés à H'madna avec Sardi10 et Mamuntanas comme cultivars les plus productifs. Ces résultats, montrent que les deux cultivars Italiens sont les plus productifs en état bioclimatique sub-humide qu'en étage bioclimatique semi aride.

En Sardaigne (Italie) en condition pluvial et sur deux années d'expérimentation (2006-2007) **Pecceci et al. (2008)**, trouve un rendement moyen qui varie entre 4.83 tMS/ha pour le cultivar Tamantit et les cultivars Sardi10 et Mamuntanas sont comptés parmi les plus productifs avec respectivement 12.91 tMS/ha et 14.20 tMS/ha.

D'une coupe à une autre, le rendement en matière fraîche régresse. Il est important au printemps qu'aux autres saisons. Ceci peut être expliqué par le grand nombre de coupes réalisées en saison printanière où l'activité biologique est intense. Selon **Merrien et al. (1981 in Lemaire, 2006)** un stress hydrique et selon son intensité, est susceptible d'affecter l'ensemble des fonctions physiologiques, entre autre la morphogenèse et la photosynthèse.

III.1.5.2.2. Essai en irrigué

Le rendement en matière sèche, progresse de la 1^{ère} coupe à la 4^{ème} coupe. La production printanière et estivale est la plus importante, car la biomasse aérienne est proportionnelle à la quantité du rayonnement absorbé par le couvert végétal (**Lemaire et Allirand (1993 in Khelifi et al., 2008)**).

Dans le même site de Hmadna, pour un essai conduit en irrigué, **Kerras (1994)** sur neuf coupes en 3^{ème} année de production, a obtenu un rendement moyen de 83.62 tMF/ha de 5 variétés de luzerne pérenne (3 australiennes, une française et une des USA) conduites en régime irrigué pendant toute l'année y compris l'été. En 4^{ème} année de production, pour les mêmes variétés et le même protocole expérimentale, **Si-Kaddour (1996)** a obtenu un rendement moyen de 88.50 tMF/ha.

Pour les deux années de production, l'analyse de variance entre les cultivars ne montre pas de différence significative et le rendement le plus élevé est affecté aux variétés Australiennes. Le cultivar Siriver prend la valeur de 26.05 tMS/ha et 28.6 tMS/ha respectivement pour la 3^{ème} année et la 4^{ème} année.

En Syrie, sur trois années d'expérimentation, **Abdelgawad et al. (1996)** trouve des rendements de luzerne qui varient en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation (2 à 12dS/m) et du coefficient du lessivage (0% à 30%). Les forts rendements varient de 29.86 tMS/ha à 31.23 tMS/ha. Par contre les faibles rendements varient entre 5.89 tMS/ha et 8.54 tMS/ha.

Pour la 2^{ème} année de production, le rendement obtenu varie entre 6.10 tMS/ha et 13.35 tMS/ha. Le cultivar Ameristand 801s est le plus productif. Le cultivar Africaine est le moins productif (**Bellague et al., 2008**)

En 3^{ème} année de production en essai irrigué, **Adoui (2007)** obtient un rendement maximal de 13.38 tMS/ha pour le cultivar Ameristand8701s et un rendement minimal de 8.61 tMS/ha pour le cultivar Melissa. C'est la même situation pour l'essai conduit à Hmadna en 4^{ème} année de production.

En 4^{ème} année de production en climat sub-humide, **Ghibeche (2008)** obtient un rendement maximal compris entre 15.78 tMS/ha et 16.23 tMS/ha pour les cultivars Ecotipo siciliano et Mamuntanas et une production minimale de 7.47 tMS/ha pour le cultivar Tamantit.

Dans la région de Medenine du sud Tunisien et sur les mêmes cultivars du projet PERMED en 3^{ème} année de production, **Hayek et al. (2008)** obtient des rendements en matière sèche qui varient entre 14.189 tMS/ha pour le cultivar Demnat 203 et 9.762 tMS/ha pour le cultivar Tamantit. La moyenne générale des cultivars est de 12.331 tMS/ha.

Contrairement aux données de H'madna, la chute des rendements est déclenchée en 2^{ème} année de production pour les essais de Medenine du sud Tunisien.

Bouizgaren et al. (2010) sur trois années de production, obtient un rendement moyen de 16.10 tMS/ha/an. Le cultivar le plus productif est Demnat avec 17.7 tMS/ha/an et le cultivar le moins productif est Coussouls avec 14.13 tMS/ha/an.

III.1.5.3. Paramètre d'efficacité de l'utilisation de l'eau

Les faibles rendements de matière sèche trouvés sur les quatre années de production justifient les valeurs faibles de l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

III.1.5.3.1. Essai en Pluvial

En 4^{ème} année de production, l'efficacité de l'utilisation de l'eau moyenne prend la valeur de $0.39 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$, contre $1.84 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ pour la 3^{ème} année de production. Cette chute des valeurs est due essentiellement aux faibles rendements.

En 2^{ème} année de production, l'efficacité est comprise entre $2.25 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ et $4.79 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (Bellague et al, 2008) et elle continue à chuter jusqu'à la 4^{ème} année (Bellague et al., 2009). Cette régression de l'EUE semble être une conséquence du recul du recouvrement. C'est-à-dire la part de l'eau évaporée est plus importante à celle transpirée, donc le rapport Transpiration/Evaporation est très faible.

L'efficacité de l'utilisation de l'eau varie de la 1^{ère} coupe à la 3^{ème} coupe où nous avons obtenu la valeur maximale. Par saison cette efficacité évolue de la saison hivernale vers la saison estivale. Pour tout le cycle, le cultivar Magali est le moins efficace avec $0.17 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ et le cultivar Sardi10 est le plus efficace avec $0.69 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Ces deux cultivars maintiennent le même ordre pour les trois saisons.

En étage bioclimatique sub-humide, Adoui (2007) trouve des efficacités d'utilisation de l'eau comprises entre $1.30 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ et $2.53 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ avec une moyenne générale de l'essai de $2.10 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Cela, s'explique par les importantes productions en matière sèche. Mamuntanas et Tamantit sont respectivement le cultivar le plus efficace et le moins efficace.

En 4^{ème} année de production, Ghibeche (2008) obtient des EUE comprises entre $0.85 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ pour le cultivar Tamantit et une valeur moyenne des maximales de $2.33 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ pour les cultivars Ecotipo siciliano, Sardi10 et Mamuntanas.

III.1.5.3.2. Essai en irrigué

La valeur moyenne de l'efficacité de $0.68 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ est le double de celle trouvée en essai pluvial. Tous les cultivars prennent des valeurs inférieures à l'unité.

En Syrie, sur trois années de productions de luzernes conduites en irrigué par une eau saumâtre avec des fractions de lessivage variant de 0% à 15%, Abdelgawad et al. (1996) trouve des efficacités d'utilisation de l'eau toujours inférieures à l'unité.

Adoui (2007), a obtenu des efficacités comprises entre $1.66 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ et $2.54 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. On remarque que la valeur moyenne pour l'essai en irrigué de $2.11 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ est sensiblement la même pour l'essai en pluvial.

En 4^{ème} année de production, Ghibeche (2008) trouve une moyenne générale des cultivars de $2.36 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Le cultivar Tamantit reste le moins efficace et le cultivar Mamuntanas est le plus efficace

III.1.5.4. Paramètres dormance-pérennité

III.1.5.4.1. La sénescence

L'entrée en dormance estivale est une forme d'évasion au stress subi pour une suspension temporaire de l'activité végétative apparente (Voltaire, 2002). Les jours longs, les

températures élevées et le stress hydrique sont les paramètres abiotiques responsables de l'induction de la dormance estivale (**Voltaire et Norton, 2006**).

Dans notre région d'étude et pour la campagne 2007-2008, nous avons enregistré un recul de plus de 100 mm de pluie par rapport à la campagne 2006-2007. Pour la période estivale, nous avons enregistré des températures moyennes mensuelles supérieures à 25°C et une durée d'insolation moyenne supérieure à 10.50 heures.

Norton et al. (2006) considèrent la dormance estivale des plantes pérennes de la région méditerranéennes, comme une stratégie de résistance à la sécheresse.

Le premier indice apparent estimé qui enclenche l'entrée en dormance estivale est la sénescence de la partie aérienne du végétal.

Essai en pluvial

Les cultivars gabès-2355 et Magali avec des sénescences les plus faibles, entrent en dormance plus vite que les autres cultivars et semblent très stressés. Les cultivars Demnat, Sardi10, Ameristand 801s et Tamantit ne semblent pas très stressés et ils ont gardés plus de 40% de leurs verdure.

En 2^{ème} année de production et sous un climat sub-humide, le cultivar Tamantit semble souffrir le moins, car il a gardé 52.5% de sa verdure au début de la période d'été (**Khelifi, 2008**).

Essai en irrigué

La sénescence pour tous les cultivars est supérieure 45%. Le cultivar Rich2 perd 53.42% de sa partie verte contre 50.5% pour le cultivar Ecotipo siciliano. Avec ces valeurs, il semble que tous les cultivars se comportent de la même manière.

En climat sub-humide et au début de l'été, le cultivar Tamantit avec une sénescence 91.25% semble le dernier qui entre en dormance, et ainsi garde son couvert. Le cultivar Melissa est le premier à être induit en dormance malgré le confort hydrique (**Khelifi, 2008**).

III.1.5.4.2. Le ratio

Le paramètre ratio exprimé par le rapport entre la partie sénescence et la totalité de la masse végétative considérée, nous renseigne sur l'état d'avance de la sénescence et l'entrée en dormance.

En essai pluvial, l'analyse de la variance avec le test de newman-Keuls et le Test PPDS à 5% n'a pas montrée de différence significative entre les cultivars. Les valeurs du ratio sont comprises entre 0.24 et 0.30. Les cultivars Magali, Rich2, Mamuntanas et Gabès-2355 avec des ratios plus faibles, ce sont les derniers qui entrent en dormance.

En essai irrigué, le ratio le plus faible correspond à la sénescence la plus élevée. Le cultivar Ecotipo siciliano prend la valeur la plus faible de 0.24 comme ratio la sénescence la plus élevée de 49.50%. Le cultivar Rich2 prend la valeur du ratio la plus élevée, contre une faible sénescence. Les valeurs du ratio varient entre 0.24 et 0.44.

III.1.5.4.3. Le taux d'eau dans les organes souterrains

La teneur en eau des organes souterrains (couronne basale), nous renseigne sur la capacité des cultivars à maintenir leurs états hydriques en période estivale.

Pour les deux essais, les teneurs en eau sont supérieures à 50%. Les valeurs de l'essai en irrigué sont nettement supérieures à celles de l'essai en pluvial.

III.1.5.4.4. Nombre de plants par 50 cm linéaire

Le nombre de plants par 50cm linéaire est un indice qui peut nous renseigner sur la survie d'une année à l'autre et sur le degré de production.

La mortalité des plants (NPL) de la 3^{ème} à la 4^{ème} année est de 49.1% pour l'essai en pluvial et de 36.05% pour l'essai en irrigué.

Pour cinq populations de luzernes exploitées sur deux années de production (de mars 1985 à mai 1987), **Alboudi (1988)** obtient une mortalité moyenne de 37%.

De la 1^{ère} année à la 4^{ème} année, le NPL pour l'essai en pluvial a régressé de 12.75 à 1.16 ce qui correspond à une survie de 9.10%. Pour l'essai en irrigué, Le NPL est passé de 13.70 pour la 1^{ère} année à 2.43 pour la 4^{ème} année c'est-à-dire 17.74% de plants ont survécu (**Bellague et al., 2009**).

Sur cinq années d'exploitation de luzerne en régime pluvial, **Delgado (2006)** signale que la densité de peuplement est passée de 232 plants*m⁻² à 38 plants*m⁻² c'est à dire une survie de 16.37%. Cette survie est comparable à la notre en régime irrigué.

III.2. Analyse en composante principale (ACP)

L'analyse en composante principale (ACP) est une description géométrique qui repose sur le calcul des coefficients de corrélation entre des variables. L'objectif principal de cette ACP est de détecter la structure des relations entre variables dans un plan bien déterminé. La structure retenue est fonction des valeurs propres qui quantifient la part de l'information expliquée par chaque axe. C'est-à-dire, elles mesurent le degré de corrélation le plus élevé entre toutes les variables.

En pratique, le nombre de facteurs à retenir est fonction du critère de **Kaiser (1960 in Ababou, 2004)** qui ne prend en compte que les facteurs ayant des valeurs propres supérieures à 1.

Pour les deux essais de notre expérimentation, tous les paramètres mesurés et/ou estimés sont pris en compte pour l'étude de l'analyse en composante principale.

III.2.1. Essai en irrigué (cycle)

La corrélation linéaire entre les variables est très importante ; entre l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) et les variables morphologiques de la plante (hauteur de végétation, recouvrement linéaire, rendement et nombre de plants par 50 cm linéaire). Par contre elle est inversement proportionnelle au taux de matière sèche de la biomasse aérienne (MS%).

Sans tenir compte du degré de corrélation, on remarque que MS% est toujours corrélée négativement pour tous les paramètres étudiés (**Tab.22**)

Le ratio et la sénescence n'ont aucun effet sur l'efficacité d'utilisation de l'eau. Ceci est dû à l'entrée des cultivars en dormance estivale.

Tableau 22 : Matrice de corrélation (essai en irrigué)

	Recl%(l)	Hv(l)	RdtMF(l)	MS%(l)	RdtMS(l)	Ratio(l)	NPL(l)	SEN(l)	EUE(l)	TEOS(l)
Recl%(l)	1									
Hv(l)	0.823	1								
RdtMF(l)	0.932	0.845	1							
MS%(l)	-0.689	-0.479	-0.647	1						
RdtMS(l)	0.927	0.861	0.995	-0.585	1					
Ratio(l)	0.031	-0.174	-0.061	-0.308	-0.077	1				
NPL(l)	0.886	0.773	0.818	-0.439	0.828	-0.134	1			
SEN(l)	0.090	0.256	0.111	-0.050	0.136	-0.489	0.113	1		
EUE(l)	0.927	0.861	0.995	-0.585	1.000	-0.077	0.828	0.136	1	
TEOS(l)	-0.064	0.027	0.010	-0.388	-0.025	0.395	-0.318	0.184	-0.025	1

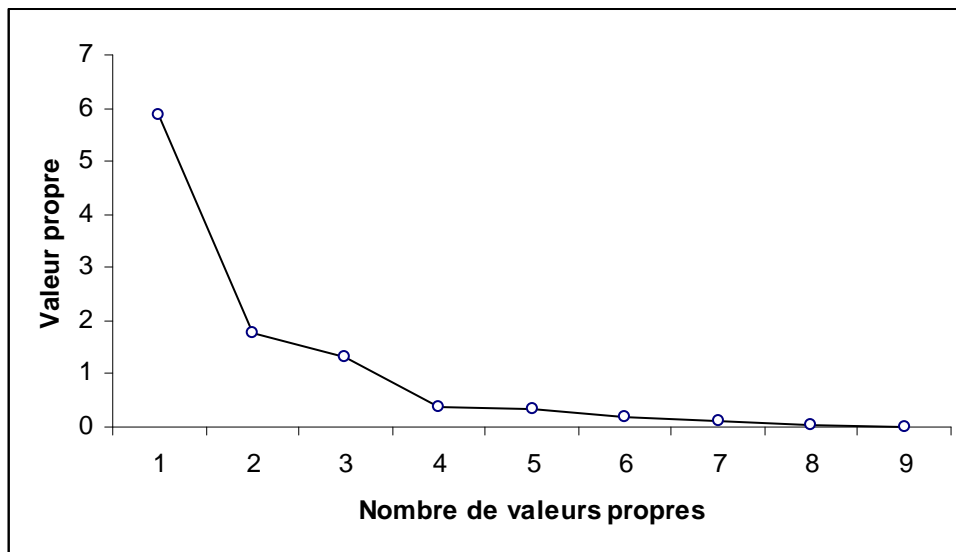
En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil $\alpha=0.050$ (test bilatéral)

Le tableau n°23 montre que la 1^{ère} valeur propre est de 5,88, elle correspond à un pourcentage de 58,76%, et elle exprime la part de l'information expliquée par le premier axe. La 2^{ème} valeur propre est de 1,78 et correspond à un pourcentage de 17,84%, la 3^{ème} valeur propre de 1,30 et correspond à un pourcentage de 12,98%.

Selon la règle de Kaiser, le nombre de valeurs propres (Fig.31) de trois représente et synthétise au mieux l'information. En effet la part de l'information expliquée par le 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} axe est de 89,59%. Le plan formé par l'axe1 et l'axe2 explique à lui seul 76,60% de l'information.

Tableau 23: Valeurs propres (essai en irrigué-2007/2008)

	Valeur propre	Cumul V propre	% total variance	cumul % t variance
F1	5.88	5.88	58.76	58.76
F2	1.78	7.66	17.84	76.60
F3	1.30	8.96	12.98	89.59
F4	0.39	9.34	3.86	93.45
F5	0.32	9.67	3.21	96.65
F6	0.19	9.85	1.86	98.51
F7	0.11	9.96	1.09	99.60
F8	0.04	10.00	0.40	99.99
F9	0.00	10.00	0.01	100.00

**Figure 31:** Tracé des valeurs propres (essai en irrigué)

III.2.1.1. Etude des variables

La disposition des variables sur les différents axes, ainsi que la contribution à la formation des axes est fonction de trois paramètres :

- Coordonnée (Coord.): Représente les coordonnées des variables sur les axes lors de la représentation graphique, sa valeur est comprise entre -1 et +1.
- Cos^2 : Il est pris en compte pour expliquer la construction des axes, plus sa valeur est grande plus l'angle entre le point et l'axe est faible et plus le point participe à la formation de l'axe et vice-versa. Sa valeur est comprise entre 0 et 1.
- CTR (en %) : C'est la part de la variable à la construction du facteur.

Les différentes valeurs des trois paramètres des variables considérées sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 24: Part de chaque variable dans la construction du facteur (essai en irrigué)

	F1			F2			F3		
	Coord.	Cos2 (%)	CTR%	Coord.	Cos2 (%)	CTR%	Coord.	Cos2 (%)	CTR%
RecL%(l)	0.97	93.73	15.95	0.06	0.42	0.23	-0.10	1.04	0.80
Hv(l)	0.90	80.28	13.66	-0.11	1.17	0.66	0.12	1.41	1.09
RdtMF(l)	0.98	96.22	16.37	0.03	0.12	0.07	-0.02	0.05	0.04
MS%(l)	-0.67	44.26	7.53	-0.54	29.55	16.56	-0.17	3.06	2.36
RdtMS(l)	0.98	95.83	16.31	-0.01	0.02	0.01	-0.03	0.08	0.07
Ratio(l)	-0.07	0.49	0.08	0.88	77.64	43.51	-0.27	7.33	5.64
NPL(l)	0.88	77.87	13.25	-0.21	4.53	2.54	-0.22	4.97	3.83
SEN(l)	0.18	3.07	0.52	-0.41	16.77	9.40	0.83	68.82	53.00
EUE(l)	0.98	95.83	16.31	-0.01	0.02	0.01	-0.03	0.08	0.07
TEOS(l)	-0.02	0.04	0.01	0.69	48.20	27.01	0.66	42.99	33.11

Suivant les valeurs du cos2, on considère :

- * : Cos2 > 0.80, la variable est très bien représentée.
- ** : 0.6 < Cos2 < 0.8, la variable est bien représentée.
- *** : 0.4 < Cos2 < 0.6, la variable est moyennement représentée.
- **** : Cos2 < 0.4, la variable est médiocrement représentée.

Suite aux valeurs du Cos² et CTR, les variables les mieux représentées sur les différents axes et dans un ordre décroissant sont :

Axe1 (Axe Productivité-efficience-pérennité)

Tableau 25 : Les paramètres formant l'axe 1 (essai en irrigué)

Variable	Cos ²	CTR (%)
RdtMF(l)	0.96	16.37
RdtMS(l)	0.96	16.31
EUE(l)	0.96	16.31
RecL%(l)	0.94	15.95
Hv(l)	0.80	13.66
NPL(l)	0.78	13.25

Axe2 (Axe production)

Tableau 26: Les paramètres formant l'axe 2 (essai en irrigué)

Variable	Cos ²	CTR(%)
Ratio%(l)	0.78	43.51
MS% (l)	0.29	16.56

Axe3 (Axe dormance)

Tableau 27: Les paramètres formant l'axe 3 (essai en irrigué)

Variable	Cos ²	CTR (%)
SEN(l)	0.69	53.00
TEOS(l)	0.43	33.11

La liaison des variables contribuant à la formation du plan 1-2 (**Fig.32**) à leurs coordonnées sur ces deux axes montre, que le plan 1-2 à lui seul explique 76.60% de l'information.

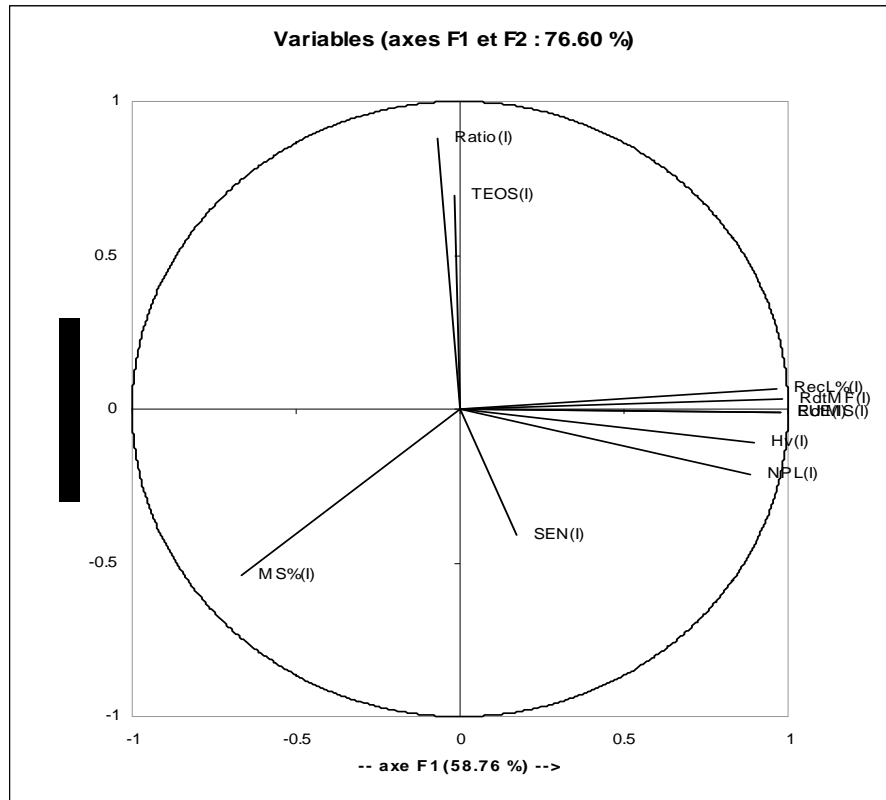


Figure 32: Structure des variables, plan 1-2 (essai irrigué)

III.2.1.2. Etude des individus (cultivars)

Le tableau suivant représente les parts de chaque cultivar dans la construction des axes.

Tableau 28: Part de chaque cultivar dans la construction du facteur (essai irrigué)

	F1			F2			F3		
	Coord.	Cos ² (%)	CTR(%)	Coord.	Cos ² (%)	CTR(%)	Coord.	Cos ² (%)	CTR(%)
Ecotipo siciliano	2.67	58.88	7.56	-1.08	9.71	4.10	1.74	25.11	14.58
Prosementi	-3.30	87.07	11.60	-0.40	1.25	0.55	0.59	2.77	1.67
ABT 805	-0.13	0.51	0.02	0.06	0.10	0.01	-1.23	45.03	7.30
Ameristand801s	3.77	88.67	15.10	-0.58	2.12	1.19	0.85	4.47	3.44
Mamuntanas	1.14	12.20	1.37	-1.50	21.38	7.91	-2.57	62.53	31.80
Tamantit	0.11	0.81	0.01	0.23	3.73	0.18	0.65	29.90	2.03
Sardi 10	1.20	35.30	1.52	-0.34	2.92	0.42	-0.18	0.81	0.16
Siriver	-0.29	5.10	0.09	0.32	6.11	0.36	-0.48	13.51	1.10
Africaine	-2.81	77.82	8.38	-0.43	1.80	0.64	0.46	2.10	1.03
Gabes-2355	0.40	1.27	0.17	3.10	77.46	33.66	1.34	14.58	8.71
Magali	-4.57	78.89	22.20	-2.27	19.46	18.04	0.47	0.83	1.06
Melissa	1.94	52.97	3.99	-0.06	0.06	0.01	-1.71	41.37	14.10
Coussouls	-0.53	9.00	0.30	-1.03	34.21	3.71	1.07	37.13	5.53
Rich 2	-3.98	67.62	16.88	2.48	26.20	21.54	-0.85	3.07	3.47
Erfoud 1	1.72	50.08	3.16	1.48	36.87	7.67	-0.72	8.67	2.48
Demnat	2.68	73.88	7.65	0.03	0.01	0.00	0.57	3.31	1.55

Les tableaux ci-dessous représentent les axes formés avec les cultivars correspondants.

* Axe1 :

Tableau 29: Les cultivars formant l'axe 1 (essai en irrigué)

Cultivar	Cos ² (%)	CTR (%)
Magali	0.79	22.20
Ameristand 801s	0.89	15.10
Prosementi	0.87	11.60
Africaine	0.78	8.38
Demnat	0.74	7.65
Sardi 10	0.35	1.52

* Axe2 :

Tableau 30: Les cultivars formant l'axe 2 (essai en irrigué)

Cultivar	Cos ²	CTR (%)
Gabes-2355	0.77	33.66
Rich 2	0.26	21.54
Erfoud 1	0.37	7.67

* Axe3 :

Tableau 31: Les cultivars formant l'axe 3 (essai en irrigué)

Cultivar	Cos ²	CTR (%)
Mamuntanas	0.62	31.80
Ecotipo siciliano	0.25	14.58
Melissa	0.41	14.10
ABT 805	0.45	7.30
Coussouls	0.37	5.53
Tamantit	0.30	2.03
Siriver	0.14	1.10

La dispersion des individus dans le plan 1-2 d'une ACP, fait ressortir trois classes bien distinctes avec des ressemblances au niveau des caractères.

Classe1: Contient les cultivars Ameristand 801s, Demnat et Ecotipo siciliano. Ils sont caractérisés par :

Tableau32: Caractéristiques des cultivars de la classe1 (Essai en irrigué)

Paramètre	Valeur minimale	Valeur maximale
Hauteur de végétation (cm)	26.6	29.48
Recouvrement linéaire (%)	59	65.88
Rendement en matière fraîche (t/ha)	23.89	27.23
Rendement en matière sèche (t/ha)	7.79	8.57
EUE en KgMS/m ³ d'eau	0.80	0.88
Ratio	0.24	0.35
NPL plant/50cmL	2.50	3.06
SEN en %	38.25	44.42
TEOS en %	55.76	56.63

Classe2: Englobe les cultivars Mamuntanas, Erfoud1, Melissa, Sardi10, Gabès-2355, Siriver, ABT805, Cousouls et Tamantit

Tableau 33: Caractéristiques des cultivars de la classe2 (Essai en irrigué)

Paramètre	Valeur minimale	Valeur maximale
Hauteur de végétation (cm)	23.78	27.65
Recouvrement linéaire (%)	44.04	60.21
Rendement en matière fraîche (t/ha)	19.71	25.08
Rendement en matière sèche (t/ha)	6.14	7.90
EUE en KgMS/m ³ d'eau	0.63	0.81
Ratio	0.24	0.39
NPL plant/50cmL	1.75	2.60
SEN en %	26.25	46.83
TEOS en %	51.68	59.21

Classe3: Contient trois cultivars, Prosementi, Rich2, Magali et Africaine

Tableau 34: Caractéristiques des cultivars de la classe3 (Essai en irrigué)

Paramètre	Valeur minimale	Valeur maximale
Hauteur de végétation (cm)	21.21	24.53
Recouvrement linéaire (%)	29.29	35.42
Rendement en matière fraîche (t/ha)	11.29	14.76
Rendement en matière sèche (t/ha)	3.82	4.89
EUE en KgMS/m ³ d'eau	0.39	0.50
Ratio	0.23	0.44
NPL plant/50cmL	1.27	1.75
SEN en %	34.08	45.00
TEOS en %	54.59	57.51

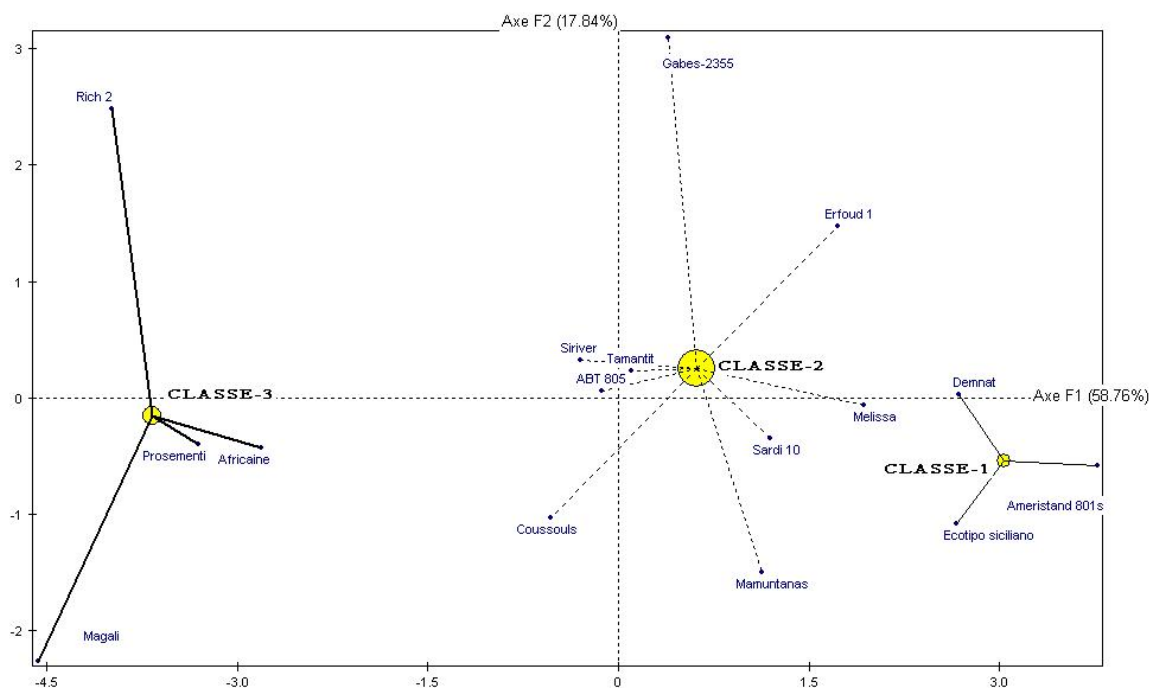


Figure 33: Représentation de la dispersion des cultivars dans le plan 1-2 d'une ACP (essai irrigué)

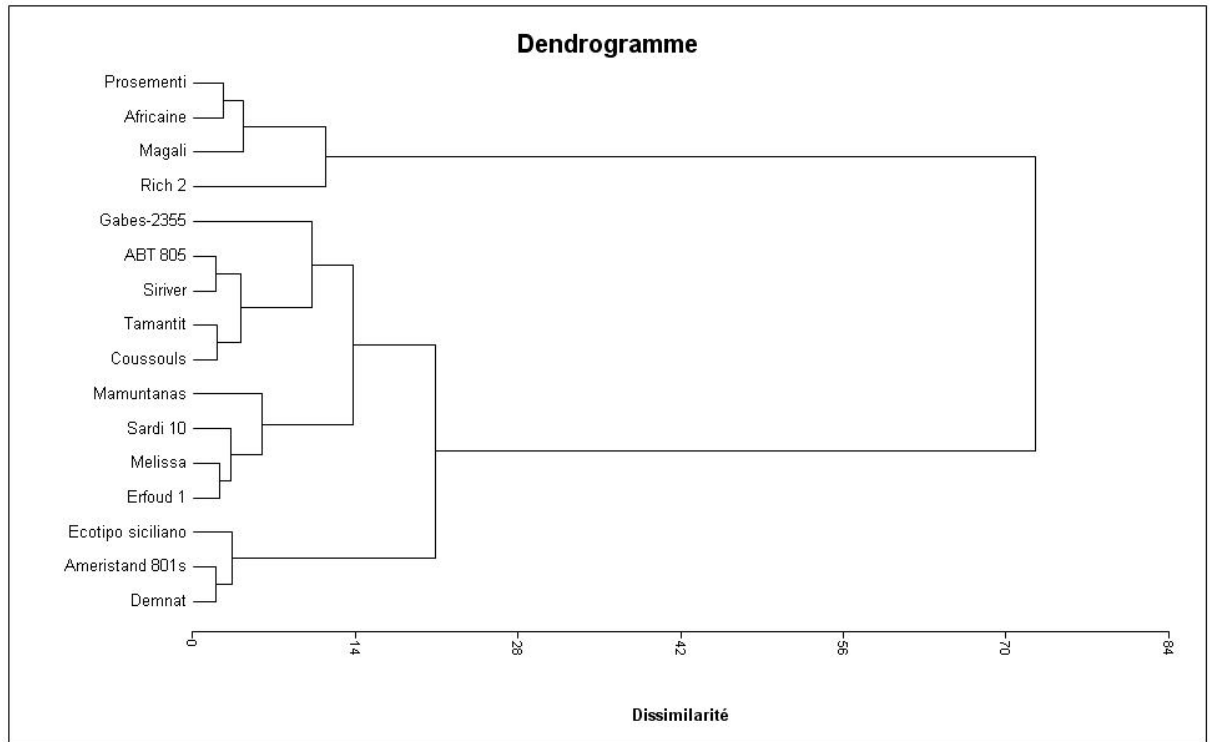


Figure 34: Classification ascendante hiérarchique (essai en irrigué)

III.2.2. Essai en pluvial (cycle)

La corrélation linéaire est très importante entre l’efficacité de l’utilisation de l’eau (EUE) et les variables morphologiques de la plante (hauteur végétation, recouvrement linéaire, rendement et sénescence). Le recouvrement est proportionnel au nombre de plants par 50 cm linéaire (Tab. 35).

Tableau 35: Matrice de corrélation (essai en pluvial)

	Recl%(P)	Hv(P)	RdtMF(P)	MS%(P)	RdtMS(P)	Ratio(P)	NPL(P)	SEN(P)	EUE(P)	TEOS(%)
Recl%(P)	1									
Hv(P)	0.366	1								
RdtMF(P)	0.554	0.871	1							
MS%(P)	-0.222	-0.832	-0.657	1						
RdtMS(P)	0.589	0.858	0.997	-0.630	1					
Ratio(P)	-0.109	0.176	0.067	-0.198	0.050	1				
NPL(P)	0.779	-0.026	0.194	0.015	0.230	-0.245	1			
SEN(P)	-0.193	0.138	0.175	-0.043	0.176	0.290	-0.473	1		
EUE(P)	0.532	0.837	0.975	-0.565	0.980	0.145	0.134	0.274	1	
TEOS(%)	-0.303	-0.565	-0.640	0.271	-0.654	-0.495	0.053	-0.483	-0.740	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0.050 (test bilatéral)

Le tableau n°36 montre que la 1^{ère} valeur propre est de 5,16, elle correspond à un pourcentage de 51,63% et elle exprime la part de l’information expliquée par le premier axe, la 2^{ème} valeur propre est de 2,22 ; elle correspond à un pourcentage de 22.16%, la 3^{ème} valeur propre de 1,08 correspond à un pourcentage de 10,75%.

Selon la règle de Kaiser, le nombre de valeurs propres (**Fig.35**) de trois représente et synthétise au mieux l'information. En effet la part de l'information expliquée par le 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} axe est de 84,55%. Le plan formé par l'axe1 et l'axe2 explique à lui seul 73,79% de l'information

Tableau 36: Valeurs propres (essai en pluvial-2007/2008)

	Valeur propre	cumul V propre	% total variance	cumul % t variance
F1	5.16	5.16	51.63	51.63
F2	2.22	7.38	22.16	73.79
F3	1.08	8.45	10.75	84.55
F4	0.83	9.29	8.33	92.87
F5	0.37	9.66	3.73	96.60
F6	0.15	9.81	1.46	98.06
F7	0.13	9.94	1.31	99.37
F8	0.05	9.99	0.52	99.89
F9	0.01	10.00	0.10	99.99
F10	0.00	10.00	0.01	100.00

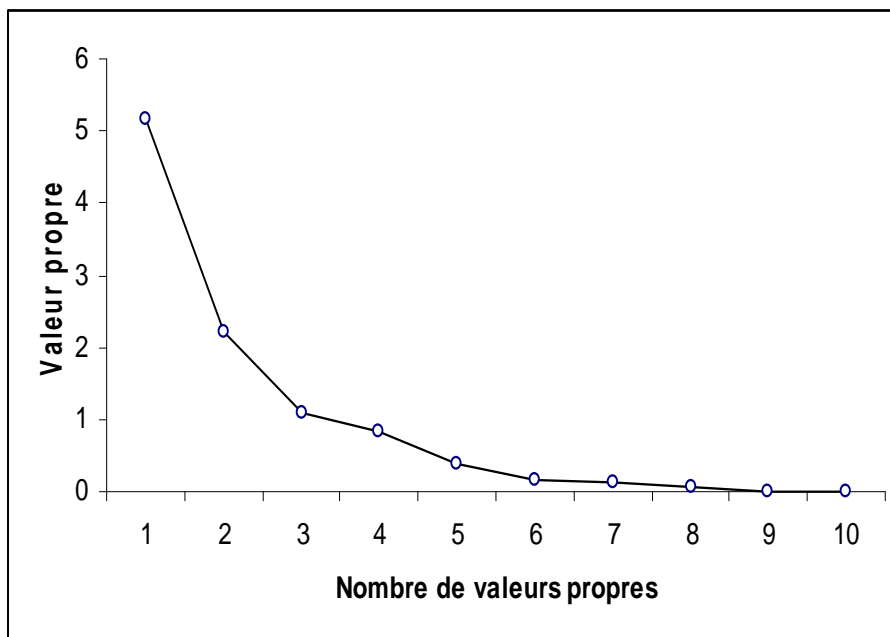


Figure 35 : Tracé des valeurs propres (essai en pluvial)

III.2.2.1. Etude des variables

Les différentes valeurs des trois paramètres (Coordonnées, Cos2 et CTR) des variables considérées sont représentées dans le tableau suivant.

Tableau 37: Part de chaque variable dans la construction du facteur

	F1			F2			F3		
	Coord.	Cos ² (%)	CTR (%)	Coord.	Cos ² (%)	CTR (%)	Coord.	Cos ² (%)	CTR (%)
RecL%(P)	0.58	33.56	6.50	0.67	44.24	19.97	0.35	12.29	11.43
Hv(P)	0.91	82.19	15.92	-0.09	0.84	0.38	-0.33	11.21	10.43
RdtMF(P)	0.97	94.69	18.34	0.07	0.56	0.25	-0.08	0.58	0.54
MS%(P)	-0.70	49.62	9.61	0.07	0.50	0.23	0.55	29.95	27.85
RdtMS(P)	0.97	94.98	18.40	0.10	1.06	0.48	-0.03	0.12	0.11
Ratio(P)	0.21	4.45	0.86	-0.58	33.20	14.98	0.35	12.17	11.32
NPL(P)	0.18	3.31	0.64	0.87	75.68	34.15	0.33	11.17	10.39
SEN(P)	0.24	5.55	1.07	-0.72	51.82	23.38	0.30	8.72	8.11
EUE(P)	0.97	93.83	18.17	-0.02	0.05	0.02	0.05	0.29	0.27
TEOS(%)	-0.74	54.16	10.49	0.37	13.64	6.16	-0.46	21.04	19.56

Suite aux valeurs du Cos² et CTR, les variables les mieux représentées sur les différents axes et dans un ordre décroissant sont :

Axe1 (Axe production-efficience)

Tableau 38: Les paramètres formant l'axe 1 (essai en pluvial)

Variable	Cos ²	CTR (%)
RdtMS(P)	0.95	18.40
RdtMF(P)	0.95	18.34
EUE(P)	0.94	18.17
Hv(P)	0.82	15.92

Axe2 (Axe Dormance-pérennité)

Tableau 39: Les paramètres formant l'axe 2(essai en pluvial)

Variable	Cos ²	CTR (%)
NPL(P)	0.76	34.15
SEN(P)	0.52	23.38
RecL%(P)	0.44	19.97
Ratio(P)	0.33	14.98

Axe3 (Axe état hydrique du végétal)

Tableau 40: Les paramètres formant l'axe 3(essai en pluvial)

Variable	Cos ²	CTR (%)
MS%(P)	0.30	27.85
TEOS(%)	0.21	19.56

La liaison des variables contribuant à la formation du plan 1-2 (**Fig. 36**) à leurs coordonnées sur ces deux axes montre, que le plan 1-2 à lui seul explique 73.79% de l'information.

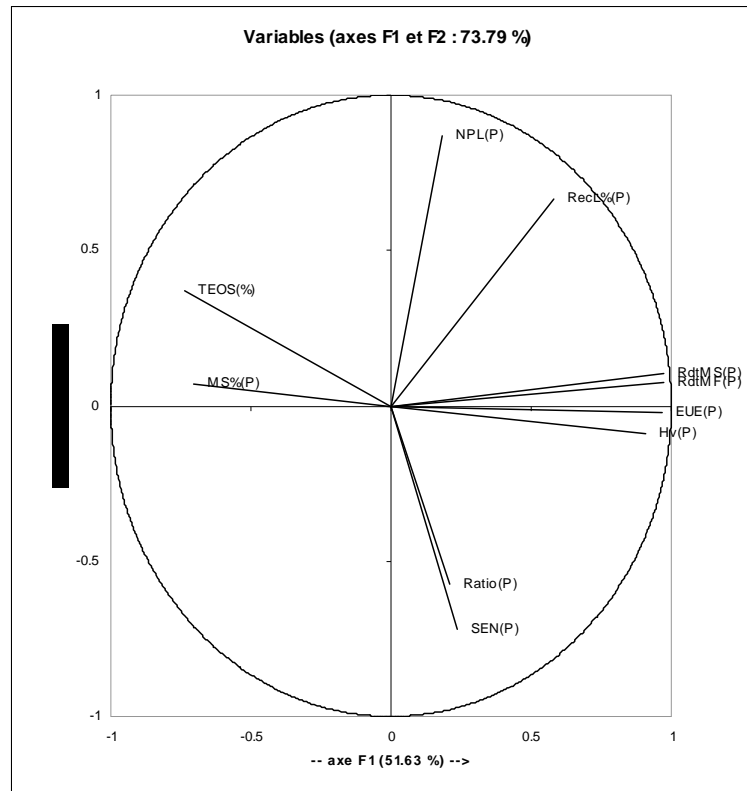


Figure 36: Structure des variables, plan 1-2 (essai pluvial)

III.2.2.2. Etude des individus (cultivars)

Le tableau suivant représente les parts de chaque cultivar dans la construction des axes.

Tableau 41: Part de chaque cultivar dans la construction du facteur (essai pluvial)

	F1			F1			F1		
	Coord.	Cos ² (%)	CTR (%)	Coord.	Cos ² (%)	CTR (%)	Coord.	Cos ² (%)	CTR (%)
Ecotipo siciliano	-0.62	6.17	0.47	1.41	31.27	5.57	1.50	35.41	13.00
Prosementi	-2.61	92.91	8.25	0.40	2.22	0.46	0.00	0.00	0.00
ABT 805	0.94	21.56	1.06	0.03	0.02	0.00	0.56	7.74	1.82
Ameristand 801s	0.17	0.37	0.04	-1.41	24.09	5.58	-1.44	25.16	12.01
Mamuntanas	3.06	52.20	11.33	2.55	36.22	18.32	0.92	4.70	4.90
Tamantit	-0.68	5.43	0.56	-2.70	84.98	20.57	0.12	0.18	0.09
Sardi 10	3.84	88.80	17.84	-1.13	7.74	3.62	-0.03	0.01	0.01
Siriver	0.18	0.74	0.04	-1.59	60.40	7.13	0.14	0.46	0.11
Africaine	-0.35	4.09	0.15	-0.40	5.31	0.46	-0.35	4.07	0.72
Gabes-2355	-1.27	10.31	1.96	1.91	23.29	10.32	-2.83	50.97	46.55
Magali	-4.72	80.93	26.97	1.32	6.31	4.90	0.87	2.73	4.37
Melissa	2.54	85.26	7.81	0.49	3.16	0.67	0.20	0.54	0.24
Coussouls	-2.01	58.29	4.89	-0.40	2.34	0.46	1.36	26.63	10.72
Rich 2	-0.83	16.37	0.84	1.39	45.61	5.46	-0.97	22.09	5.45
Erfoud 1	3.63	96.12	15.92	0.50	1.83	0.71	-0.05	0.02	0.02
Demnat	-1.24	19.22	1.88	-2.36	69.29	15.75	0.01	0.00	0.00

Les tableaux ci-dessous représentent les axes formés avec les cultivars correspondants.

* **Axe1 :**

Tableau 42: Les cultivars formant l'axe 1 (essai en pluvial)

Cultivar	Cos ²	CTR (%)
Magali	0.81	26.97
Sardi 10	0.89	17.84
Erfoud 1	0.96	15.92
Prosementi	0.93	8.25
Melissa	0.85	7.81

* **Axe2 :**

Tableau 43: Les cultivars formant l'axe 2 (essai en pluvial)

Cultivar	Cos ²	CTR (%)
Tamantit	0.85	20.57
Mamuntanas	0.36	18.32
Demnat	0.69	15.75
Siriver	0.60	7.13
Ameristand 801s	0.24	5.58
Rich 2	0.46	5.46

* **Axe3 :**

Tableau 44: Les cultivars formant l'axe 3 (essai en pluvial)

Cultivar	Cos ²	CTR (%)
Gabès-2355	0.51	46.55
Ecotipo siciliano	0.35	13.00
Coussouls	0.27	10.72
ABT 805	0.08	1.82
Africaine	0.04	0.72

La représentation graphique des individus sur le plan 1-2 avec leurs coordonnées, cos² et CTR, fait ressortir quatre classes bien distinctes dont les caractères se ressemblent :

Classe1 : Gabès-2355, Ameristand, ABT 805, Rich2, Ecotipo siciliano et Africaine. Les caractéristiques des cultivars de la classe sont :

Tableau 45: Caractéristiques des cultivars de la classe1 (Essai en pluvial)

Paramètre	Valeur minimale	Valeur maximale
Hauteur végétation (cm)	15.01	16.80
Recouvrement linéaire (%)	16.90	26.60
Rendement matière fraîche (t/ha)	1.51	2.17
Rendement matière sèche (t/ha)	0.59	0.81
EUE en KgMS/m ³ d'eau	0.25	0.42
Ratio	0.24	0.30
NPL plant/50cmL	0.54	1.40
SEN en %	46.58	49.50
TEOS en %	53.57	57.67

Classe2 : Demnat, Siriver et Tamantit

Tableau 46: Caractéristiques des cultivars de la classe2 (Essai en pluviale)

Paramètre	Valeur minimale	Valeur maximale
Hauteur végétation (cm)	14.83	16.05
Recouvrement linéaire (%)	12.90	15.65
Rendement matière fraîche (t/ha)	1.49	1.93
Rendement matière sèche (t/ha)	0.56	0.71
EUE en KgMS/m ³ d'eau	0.30	0.39
Ratio	0.28	0.30
NPL plant/50cmL	0.62	0.81
SEN en %	47.08	48.83
TEOS en %	51.33	53.38

Classe3 : Magali, Prosementi et Coussouls

Tableau 47: Caractéristiques des cultivars de la classe3 (Essai en pluviale)

Paramètre	Valeur minimale	Valeur maximale
Hauteur végétation (cm)	12.39	14.07
Recouvrement linéaire (%)	15.55	18.95
Rendement matière fraîche (t/ha)	0.82	1.24
Rendement matière sèche (t/ha)	0.33	0.49
EUE en KgMS/m ³ d'eau	0.17	0.29
Ratio	0.24	0.29
NPL plant/50cmL	1.08	1.13
SEN en %	47.75	48.58
TEOS en %	54.24	56.61

Classe4 : Mamuntanas, Melissa, Erfoud1 et Sardi10

Tableau 48: Caractéristiques des cultivars de la classe4 (Essai en pluviale)

Paramètre	Valeur minimale	Valeur maximale
Hauteur végétation (cm)	16.58	18.26
Recouvrement linéaire (%)	20	27.40
Rendement matière fraîche (t/ha)	3.19	3.45
Rendement matière sèche (t/ha)	1.14	1.26
EUE en KgMS/m ³ d'eau	0.57	0.69
Ratio	0.24	0.29
NPL plant/50cmL	0.94	1.63
SEN en %	46.83	47.58
TEOS en %	51.29	53.02

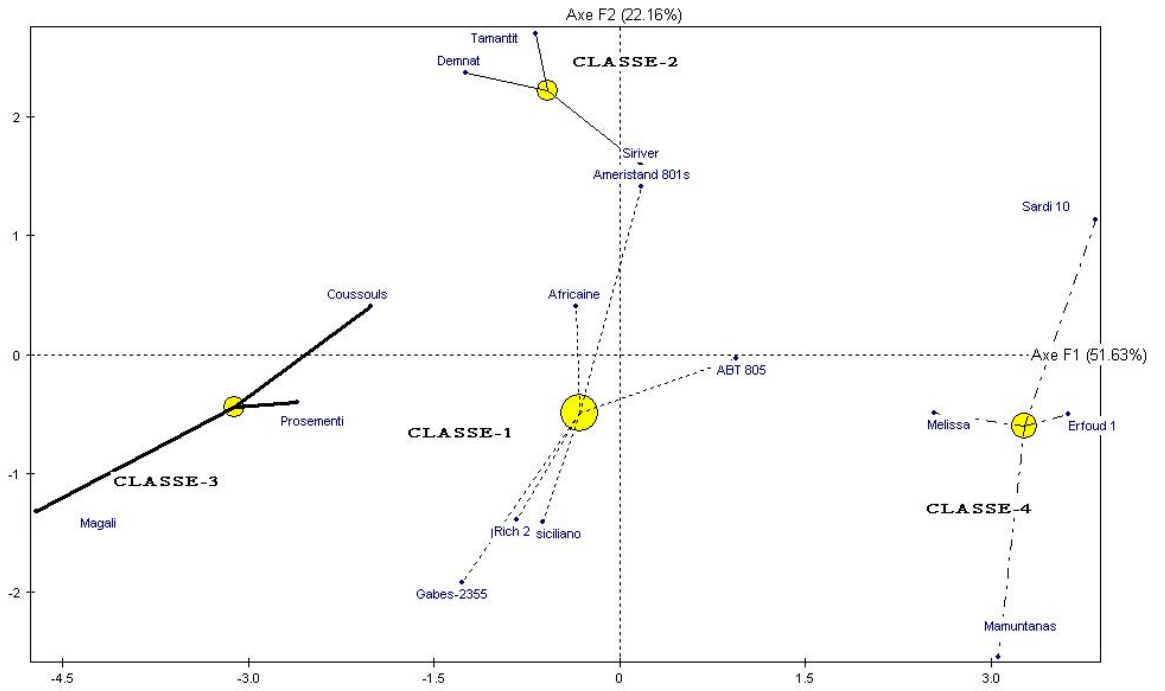


Figure 37: Représentation de la dispersion des cultivars dans le plan 1-2 d'une ACP (essai pluvial)

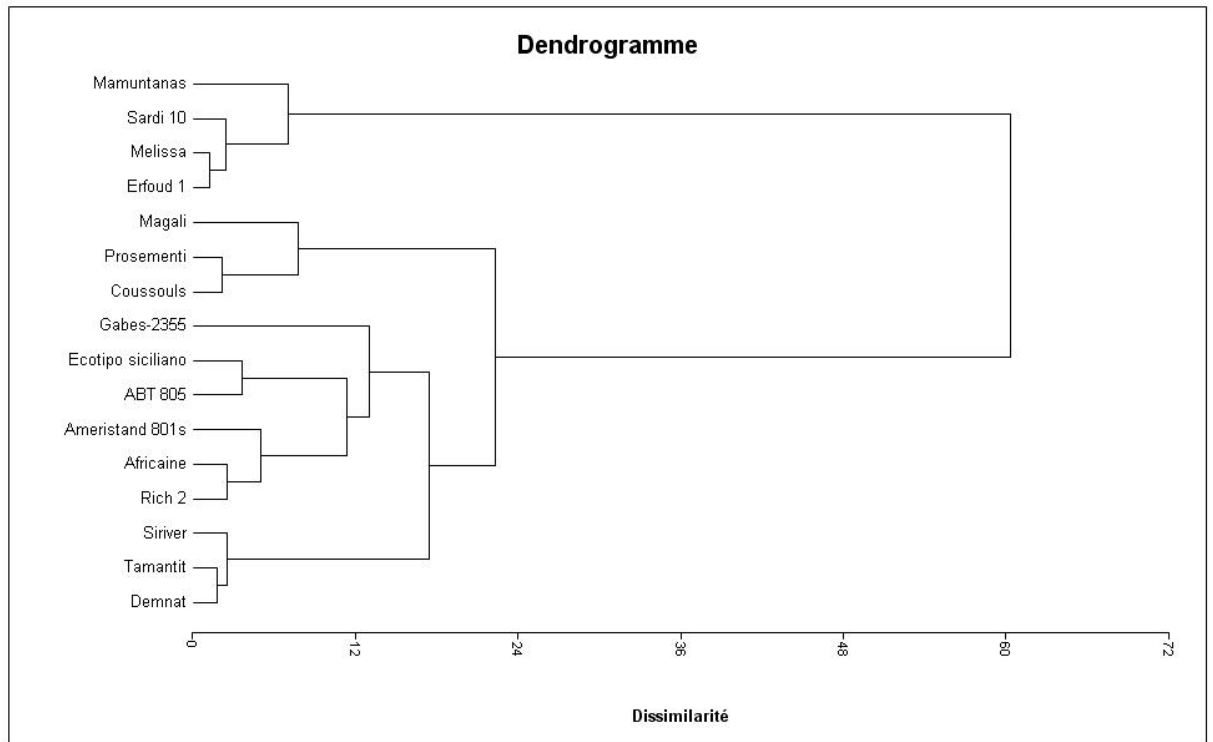


Figure 38: Classification ascendante hiérarchique (essai pluvial)

III.3. Cinétique de croissance

Pour analyser la chronologie du développement de la culture, une série d’observations a été réalisée avec un intervalle d’une semaine. Les paramètres mesurés sont : la hauteur de la végétation (Hv) en centimètre et le recouvrement linéaire (RecL) en pour cent.

La température est le paramètre climatique qui a une action directe sur la cinétique de croissance de la plante. Dans notre cas, on a pris le paramètre degré-jour cumulé (Djc) qui dérive de la température. C’est le cumul des températures moyennes journalières moins la température de base (Tb=5°C pour la luzerne) entre deux coupes.

Les corrélations concernent les coupes ayant un nombre de couples suffisants pour réaliser une courbe ajustée explicative.

Pour la première coupe, nous avons pris comme point de départ le premier septembre (début de la campagne agricole).

III.3.1. Essai en irrigué

III.3.1.1. Paramètre hauteur de végétation

Les corrélations obtenues sont de type polynomial (**Tab. 49**), avec des coefficients de détermination qui dépassent la valeur 0,97. Ceci montre qu’à une certaine valeur de cumul du Djc comprise 200°C et 300 °C, la vitesse de croissance en hauteur diminue pour toutes les coupes (**Fig. 40, 41, 42 et 43**)

Tableau 49: Les coefficients d’ajustements Hv-Djc, par coupe (essai en irrigué)

n° coupe	a	b	c	D	R ²
1	0	-8E-06	0.0364	-16.932	0.978
2	0	-6E-05	0.0854	3.857	0.991
3	0	-1E-04	0.1150	4.529	0.997
4	0	-1E-04	0.1171	2.478	0.983

Droite de régression de la forme : $Y = a X^3 + b X^2 + c X + d$

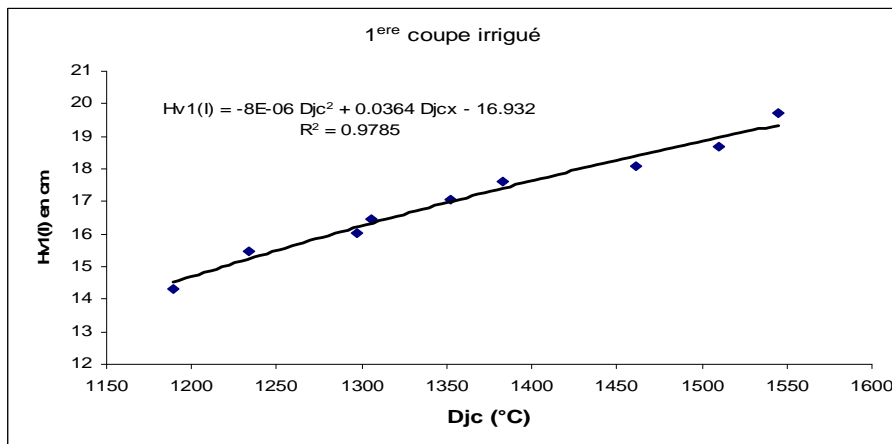


Figure 39: Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 1, Essai en irrigué)

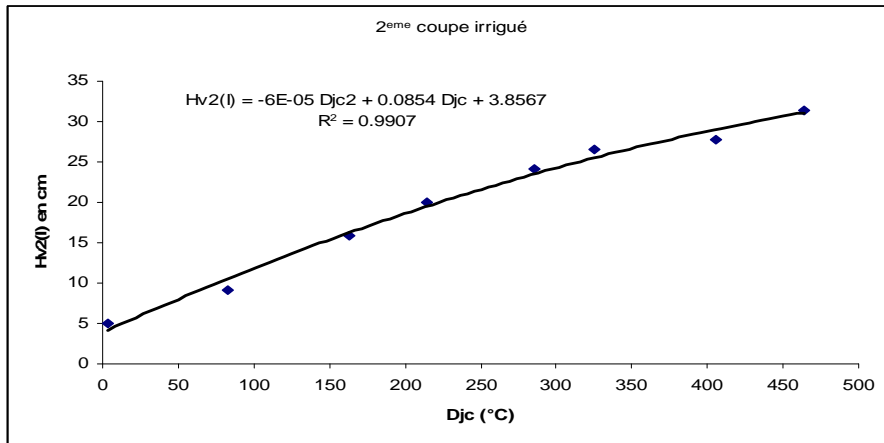


Figure 40: Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 2, Essai en irrigué)

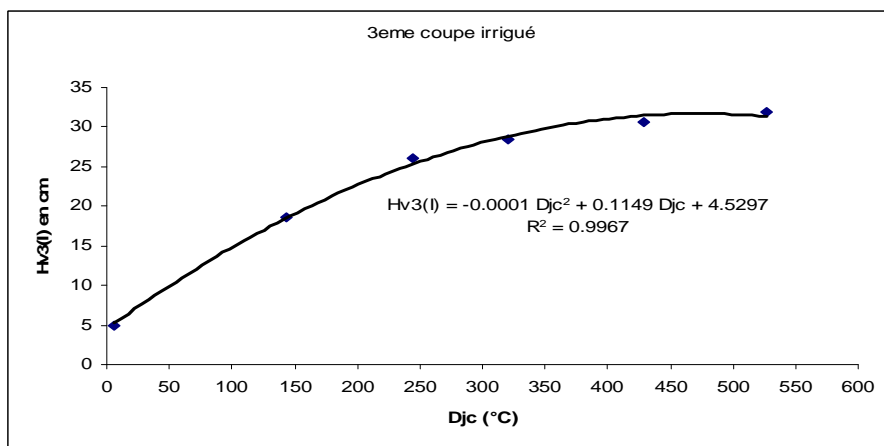


Figure 41: Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 3, Essai en irrigué)

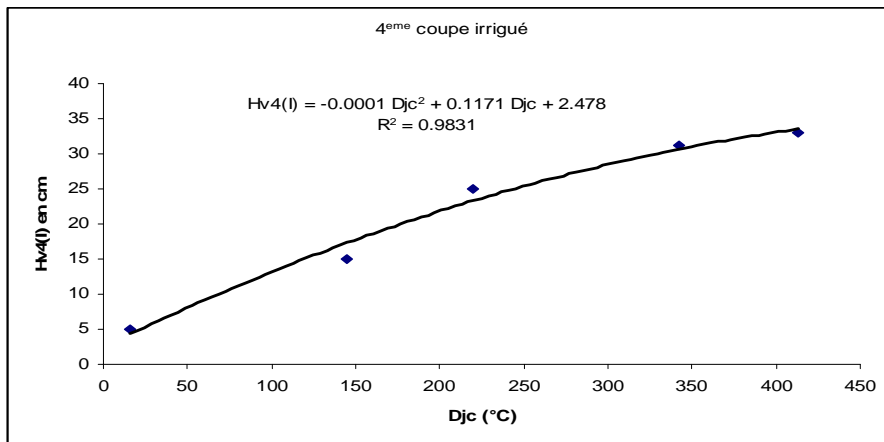


Figure 42: Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 4, Essai en irrigué)

III.3.1.2. Paramètre recouvrement linéaire

La vitesse de croissance horizontale (recouvrement linéaire), évolue suivant une loi parabolique de la première coupe à la quatrième coupe.

Au-delà de la valeur du Djc comprise entre 200°C et 300°C, la vitesse d'avancement du recouvrement se trouve ralentie pour toutes les coupes. (Fig. 43, 44, 45 et 46)

Tableau 50: Les coefficients d'ajustements Rec-Djc, par coupe (essai en irrigué)

n° coupe	a	b	c	D	R ²
1	0	-2E-05	0.098	-43.769	0.969
2	0	-2E-04	0.210	1.182	0.989
3	7 E-07	-8E-04	0.338	-1.771	0.997
4	2 E-06	-16 E-04	0.472	-7.026	0.980

Droite de régression de la forme : $Y = a X^3 + b X^2 + c X + d$

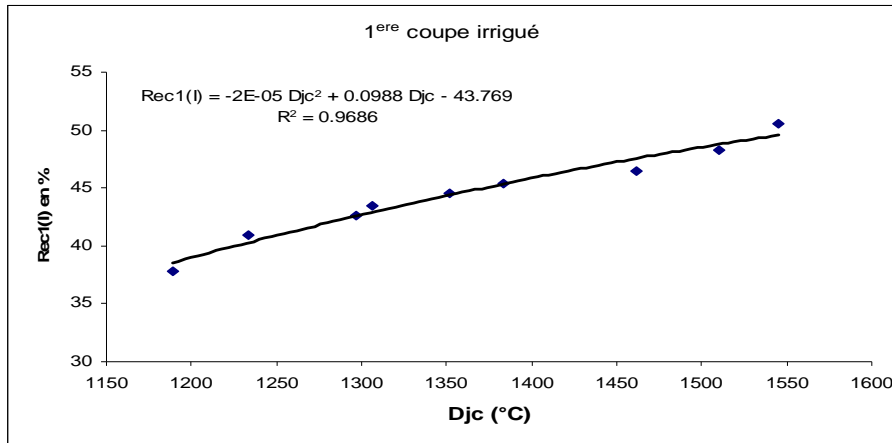


Figure 43: Evolution du RecL en fonction du Djc (Coupe1, Essai en irrigué)

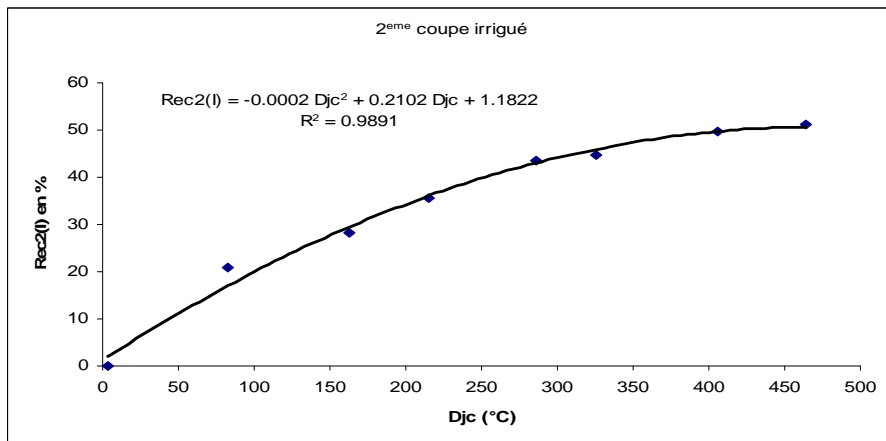


Figure 44: Evolution du RecL en fonction du Djc (Coupe2, Essai en irrigué)

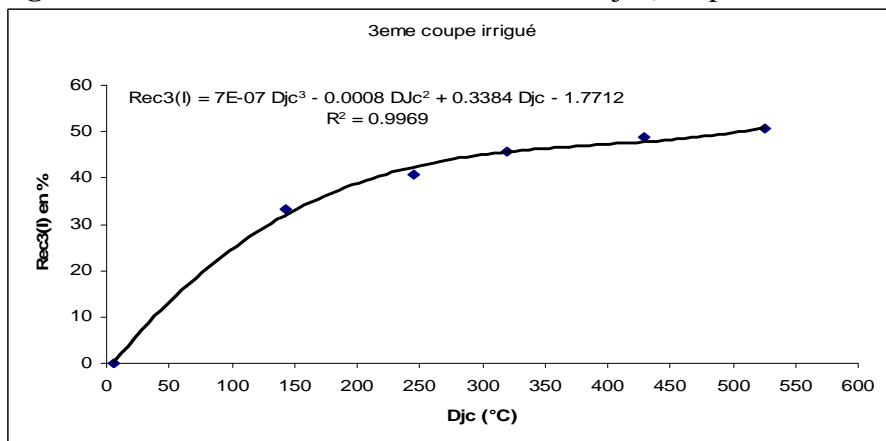


Figure 45: Evolution de du Rec en fonction du Djc (Coupe3, Essai en irrigué)

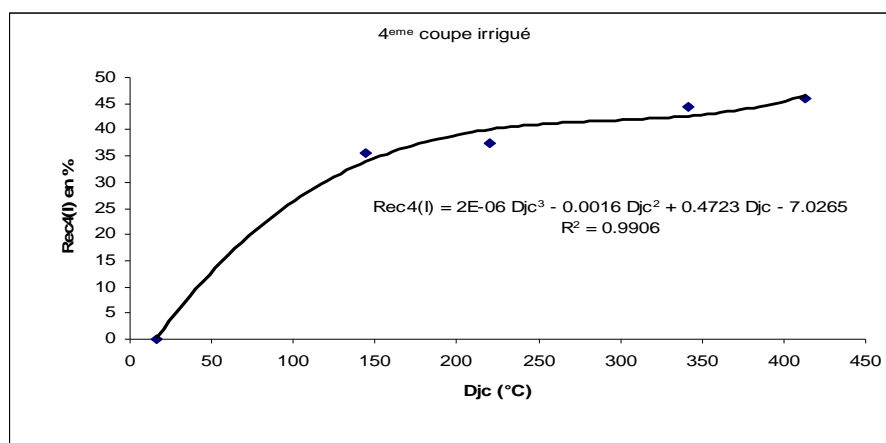


Figure 46: Evolution de du Recouvrement linéaire en fonction du Djc (Coupe4, Essai en irrigué)

Au cours d'une repousse, la dynamique de croissance de l'indice foliaire est directement liée à la somme du degré-jour par une loi linéaire (Lemaire, 2006). Par analogie, supposant que la hauteur et le recouvrement de végétation obéissent à la même loi. Les coefficients de détermination sont compris entre 0,77 et 0,96 pour le paramètre recouvrement et entre 0,864 et 0,973 pour le paramètre hauteur. La vitesse de croissance du recouvrement est le double de celle de la hauteur (Tab. 51).

Tableau 51 : Les pentes des droites de régression par coupe (Essai en irrigué)

N°	Pente (Hv)	Pente (Rec)	Rapport (Rec/Hv)
1	0.013	0.031	2.385
2	0.058	0.105	1.810
3	0.050	0.089	1.783
4	0.073	0.105	1.438

Les chiffres du tableau montrent, que juste après la sortie de la dormance estivale, les cultivars ont une croissance en largeur beaucoup plus qu'en hauteur. Le rapport entre pente (Rec) et pente (Hv) est plus que le double. Cette valeur se trouve reculée de la 2^{ème} à la 4^{ème} coupe pour atteindre la valeur 1,438.

III.3. 2. Essai en pluvial

III.3.2.1. Paramètre hauteur de végétation

Après la dormance estivale et durant la saison de la fin hiver à la mi-printemps, la croissance en hauteur des cultivars suit une loi polynomiale de degré 3. Au-delà de la valeur du Djc de 250°C, pour la 1^{ère} coupe la croissance s'accélère. Par contre pour la 2^{ème} coupe printanière, la croissance décroît (Fig. 47, 48, 49 et 50). A partir de la 3^{ème} coupe, c'est-à-dire l'entrée de la saison estivale, la croissance en hauteur avance plus vite et elle suit une loi exponentielle. Les coefficients des régressions trouvées sont indiqués dans le tableau suivant.

Tableau52: Les coefficients d'ajustements Hv-Djc, par coupe (essai en pluvial)

n° coupe	a	B	c	d	R ²
1*	8E-08	-0.003	0.3596	-147.86	0.996
2*	-3E-09	-1E-05	0.0272	4.7371	0.993
3**	4.803	0.0038			0.991
4**	5.314	0.0032			0.920

* : suit une loi polynomiale, $Hv(P) = a Djc^3 + b Djc^2 + c Djc + d$

** : suit une loi exponentielle, $Hv(P) = a \exp(b Rjc)$

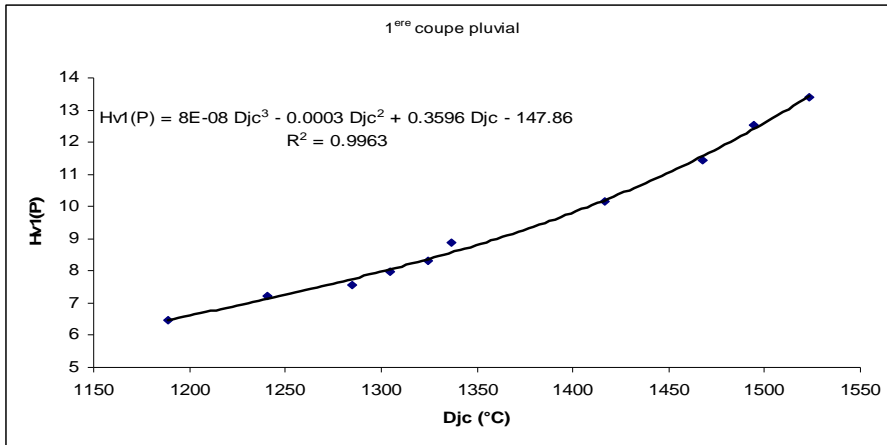


Figure 47: Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe1, Essai en pluvial)

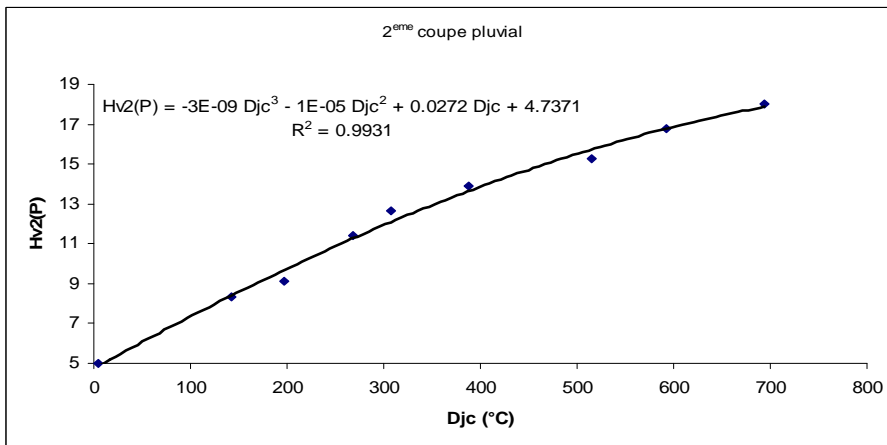


Figure 48: Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe2, Essai en pluvial)

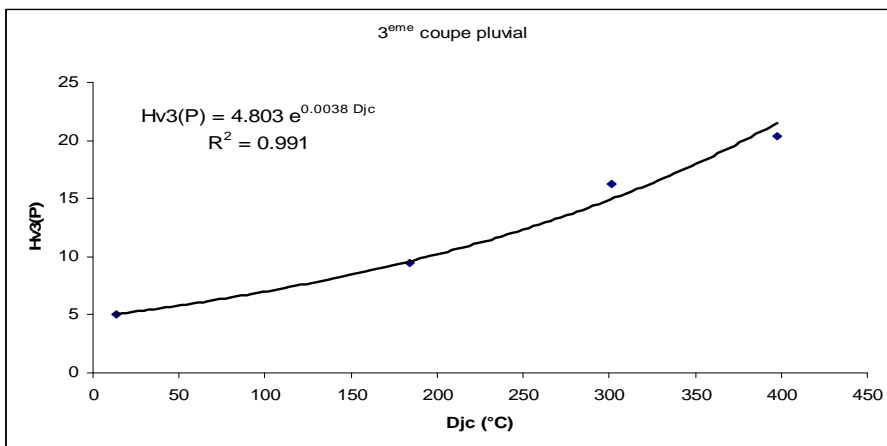


Figure 49: Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe3, Essai en pluvial)

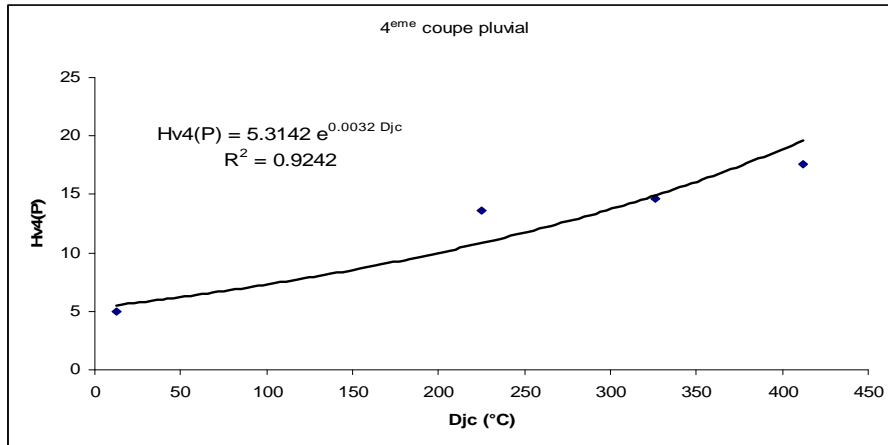


Figure 50: Evolution de la Hv en fonction du Djc (Coupe 4, Essai en pluvial)

III.3.2.2. Paramètre recouvrement linéaire

Pour la 1^{ère} et la 2^{ème} coupe, le même phénomène se répète. En effet, l'évolution du recouvrement se trouve accélérée au-delà d'un Djc de 250°C pour la 1^{ère} coupe et se trouve ralenti pour la 2^{ème} coupe (Fig. 51, 52, 53 et 54). La vitesse de croissance du recouvrement (courbe convexe) pour la 3^{ème} coupe est inversement proportionnelle à celle de la hauteur de végétation (courbe concave). Pour la 4^{ème} coupe, la pente de la courbe de l'évolution du recouvrement (allure linéaire) est moins importante que celle de la courbe de l'évolution de la hauteur (allure exponentielle).

Les coefficients d'ajustement pour les quatre coupes, sont représentés dans le tableau suivant.

Tableau 53 : Les coefficients d'ajustements Rec-Djc, par coupe (essai en pluvial)

n° coupe	a	b	c	D	R ²
1*	4 E-07	-0.001	2.2126	-982.62	0.987
2*	1 ^E -07	-0.0002	0.0978	-0.6151	0.992
3**	4.792	-12.571			0.998
4*			0.0592	-0.5612	0.972

* : suit une loi polynomiale, $Hv(P) = a Djc^3 + b Djc^2 + c Djc + d$

** : suit une loi logarithmique, $Hv(P) = a Ln (Djc) + b$

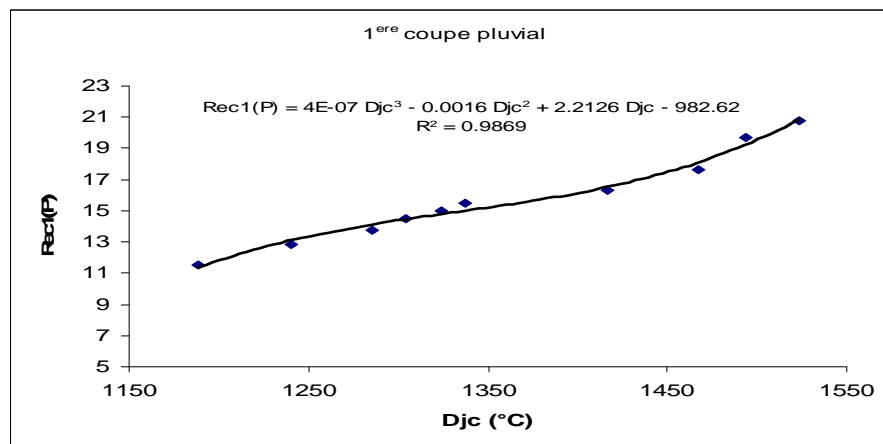


Figure 51: Evolution du RecL en fonction du Djc (Coupe1, Essai en pluvial)

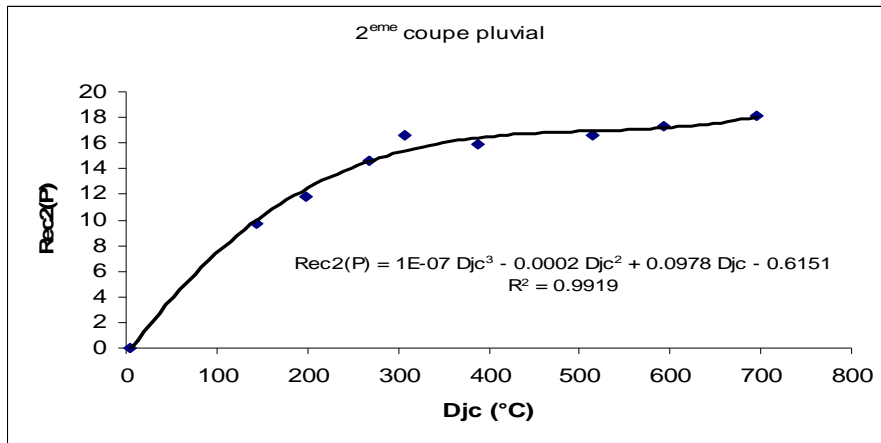


Figure 52: Evolution du RecL en fonction du Djc (Coupe2, Essai en pluvial)

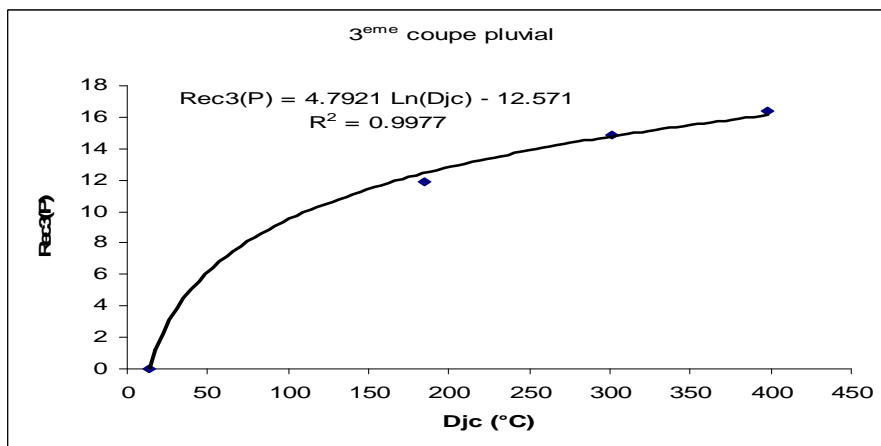


Figure 53: Evolution du RecL en fonction du Djc (Coupe3, Essai en pluvial)

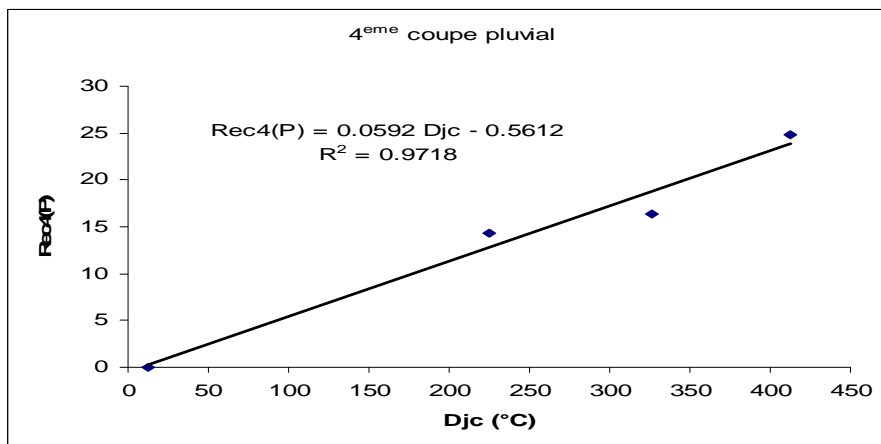


Figure 54: Evolution du RecL en fonction du Djc (Coupe4, Essai en pluvial)

III.3.3. Discussion

Dans les conditions non limitantes d'irrigation et de fertilisation, le potentiel de production d'une culture est déterminé par les facteurs, rayonnement et température (**Lemaire, 2006**).

La production des légumineuses fourragères est fonction de sa morphogénèse. Le volume de végétation est déterminé par sa hauteur et son recouvrement.

Sur une étude bibliographique, **Alboudi (1988)** trouve qu'un stress hydrique provoque une forte diminution de la croissance des tiges et des feuilles. Cette croissance est caractérisée par une moindre élévation des entre-nœuds et une faible extension des feuilles.

Mott et al. (2005 in Lemaire, 2006) a montré que l'expansion de l'indice foliaire est fonction de la photopériode. Par analogie, en plus du rayonnement et de la température, le recouvrement est directement lié à la longueur d'éclairement.

Dans deux conditions hydriques opposées (Pluvial et irrigué), la hauteur et le recouvrement ne se manifestent pas de la même façon ce qui conduit à des rendements différents.

En essai irrigué, au-delà d'un cumul (Djc) de 200°C à 300°C, la croissance de la hauteur et du recouvrement de végétation se trouvent ralenties. Pour toutes les coupes étudiées, l'évolution de la hauteur et du recouvrement obéissent à une loi parabolique. A l'exception du recouvrement de la 3^{ème} et 4^{ème} coupe, il suit une loi hyperbolique.

Avec le même protocole expérimental que le notre, et en travaillant sur la dynamique de croissance de la luzerne sur deux repousses, **Alboudi (1988)** trouve que l'allure de la courbe d'évolution de la hauteur, change à partir de la 3^{ème} semaine et la 2^{ème} semaine respectivement pour la première repousse et la deuxième repousse, pour prendre une allure parabolique.

Si nous considérons que l'évolution des paramètres de forme suit une loi linéaire, on constate que le recouvrement croît plus vite que la hauteur. Le rapport de leurs pentes respectives régresse de la 1^{ère} à la 4^{ème} coupe sans être inférieur à la valeur de 1.438. C'est-à-dire, la vitesse de croissance de la hauteur est toujours inférieure à celle du recouvrement. Pour la 1^{ère} coupe, le rapport des pentes prend une valeur de 2.38. Cela est dû à la bonne reprise de la luzerne après un repos estival et l'apparition importante des bourgeons néoformés.

Généralement pour la 1^{ère} et 2^{ème} coupe en essai pluvial, l'évolution de la hauteur et du recouvrement se fait de la même manière. Au-delà d'un cumul de 275°C, on assiste à une augmentation de la vitesse de croissance pour la 1^{ère} coupe contre une décroissance pour la 2^{ème} coupe.

Considérant que la croissance de la hauteur et du recouvrement est linéaire, on constate que le rapport des pentes de la 1^{ère} à la 3^{ème} coupe est supérieur à l'unité sans dépasser la valeur de 1.22. Pour la 4^{ème} coupe, le rapport des pentes est de 1.91. Cela veut dire, qu'en se rapprochant de la saison estivale, la hauteur du végétal recule devant le recouvrement.

III.4. Productivité, efficacité et pérennité

Les paramètres rendement en matière sèche (RdtMS), efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) et pérennité (Trec%) de la 4^{ème} année de production, sont comparés à ceux de la 3^{ème} année de production.

En pluvial le nombre de coupes est passé de quatre coupes pour la 3^{ème} année à cinq coupes pour la 4^{ème} année. Par contre pour l'essai en irrigué, le nombre de coupes est resté le même avec une valeur de six.

Le comportement des cultivars pour chaque essai varie pour les deux années de production (2006-2007 et 2007-2008).

III.4.1. 3^{ème} année de production (2006-2007)

III.4.1.1. Essai en pluvial

En 3^{ème} année de production, l'efficacité de l'utilisation de l'eau s'est montrée plus importante que la deuxième année de production. En effet, le cultivar Rich2 s'est montré plus efficace avec une valeur de $2,25 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$, par contre l'efficacité la plus faible est celle du cultivar Africaine avec une valeur de $1,40 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse de la variance ne montre pas une différence significative entre les cultivars testés. Avec un PPDS à 5% de $1,00 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$, les cultivars se classent en quatre groupes, deux groupes bien distincts dont on trouve Rich2 (groupe A) et Africaine (groupe D) et les autres groupes se chevauchent. La moyenne générale de l'essai est de $1,84 \pm 0,51 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ (Fig.55).

Le rendement en matière sèche prend une valeur moyenne de $6,05 \pm 1,78 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$. L'analyse de la variance nous révèle une différence non significative entre les moyennes des cultivars. Le classement de ces derniers par la méthode du PPDS à 5% avec la valeur de $3,31 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$, nous donne six groupes. Le premier groupe (A) contient le cultivar Mamuntanas, correspondant au rendement maximal obtenu avec une valeur de $8,34 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$. Tamantit est le cultivar le moins productif, il appartient au groupe (F) avec une valeur de $4,50 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Fig. 55). Les valeurs des autres cultivars, se chevauchent sur les autres groupes existants.

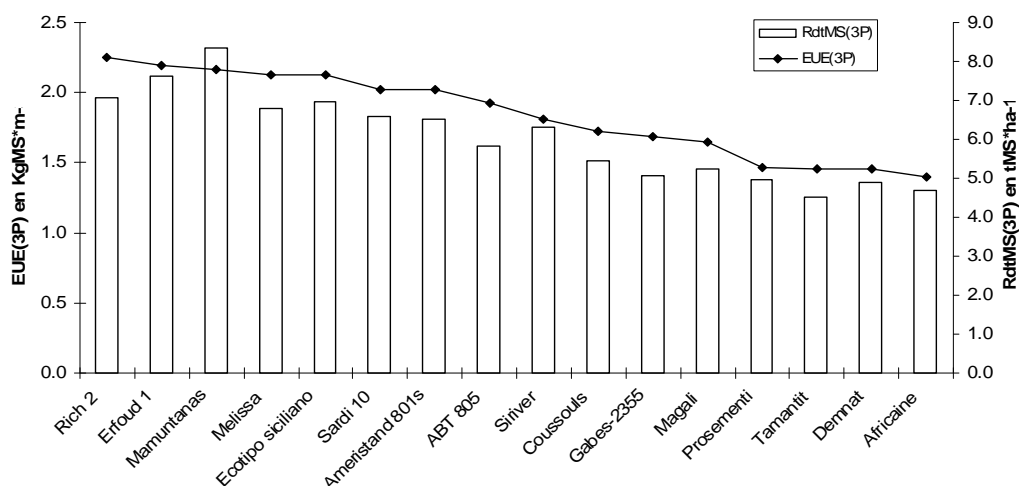


Figure 55: Variation de l'EUE et RdtMS en 3^{ème} année de production (Essai en pluvial)

III.4.1.2. Essai en irrigué

Le cultivar le plus efficace est Ameristand 801s avec une valeur de $2,44 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$ par contre le cultivar le moins efficace est Rich2 avec une valeur de $1,56 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. La valeur moyenne de l'efficacité est de $1,92 \pm 0,46 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. L'analyse de la variance et le test de Newman-Keuls, ne montrent aucune différence significative entre les cultivars testés. Avec

0,74 KgMS*m⁻³ comme PPDS À 5%, les valeurs de l'EUE peut être classé en trois groupes. Le groupe (A), contient le cultivar Ameristand avec la valeur maximale, le groupe (B) englobe les cultivars : Tamantit, Coussouls, Africaine, Prosementi, Magali et en dernier Rich2 avec des valeurs comprises entre 1,56 et 1,77 KgMS*m⁻³. Les autres cultivars appartiennent au groupe (AB) (Fig.56).

Pour les rendements en matière sèche, Ameristand 801s est le plus productif et donne 10,95 tMS*ha⁻¹. Le cultivar Africaine est le moins productif avec une valeur de 6,82 tMS*ha⁻¹. La moyenne de l'essai est de 8,49 ± 1,95 tMS*ha⁻¹. Les valeurs du rendement sont classées en quatre groupes avec un PPDS à 5% de 3,21 tMS*ha⁻¹, le premier groupe (A) revient au cultivar Ameristand, le dernier groupe (D) revient aux cultivars Magali et Africaine avec des valeurs respectivement de 6,92 tMS*ha⁻¹ et 6,82 tMS*ha⁻¹ et les autres valeurs se chevauchent (Fig. 56).

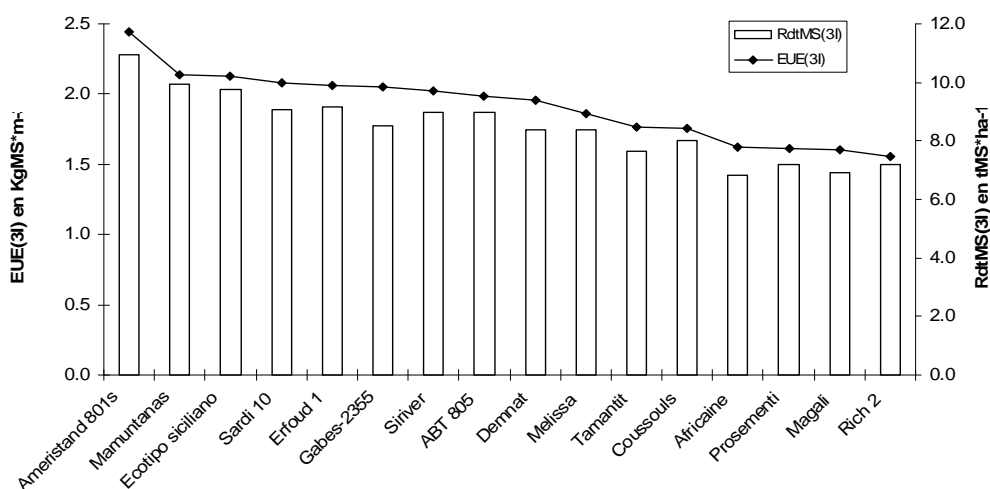


Figure 56: Variation de l'EUE et RdtMS en 3^{ème} année de production (Essai en irrigué)

III.4.2. 4ème année de production (2007-2008)

III.4.2.1 Essai en pluvial

L'efficacité d'utilisation de l'eau pour tous les cultivars n'excède pas l'unité. Le cultivar le plus efficace est Sardi10 avec une valeur de 0,69 KgMS*m⁻³, tandis que la valeur la plus basse de 0,17 KgMS*m⁻³ correspondant au cultivar le moins efficace (Magali). L'EUE moyenne de l'essai est de 0,39 ± 0,25 KgMS*ha⁻¹. L'analyse de la variance avec le test de newman-Keuls nous révèle une différence non significative. Avec un PPDS à 5% de 0,49 KgMS*m⁻³, les valeurs de l'EUE se classent en cinq groupes. Le premier groupe (A) correspondant au cultivar Sardi10, le dernier groupe (E) comporte le cultivar Prosementi et Magali avec des valeurs respectivement de 0,24 KgMS*m⁻³ et 0,17 KgMS*m⁻³. Les valeurs des autres cultivars se chevauchent entre 0,29 KgMS*m⁻³ et 0,64 KgMS*m⁻³ (Fig. 57).

Pendant cette année, nous avons enregistré les rendements les plus faibles des quatre années du projet (PERMED). Le cultivar Sardi10 est le plus productif avec 1,26 tMS*ha⁻¹, par contre Magali avec une valeur de 0,33 tMS*ha⁻¹ est le moins productif. La moyenne générale de l'essai est de 0,77 ± 0,46 tMS*ha⁻¹. L'analyse de la variance ne montre pas de différences significatives entre les cultivars. Le test du PPDS à 5% avec une valeur de 0,91 tMS*ha⁻¹, les valeurs des cultivars sont classés en 5 groupes, dont les premier groupe (A) correspondant au cultivar le plus productif et le dernier groupe (E) aux cultivars les moins

productifs (Gabes-2355, Ecotipo Siciliano, Demnat, Coussouls, Prosementi et Magali) avec des rendements compris entre 0,33 et 0,63 tMS*ha⁻¹ (**Fig.57**).

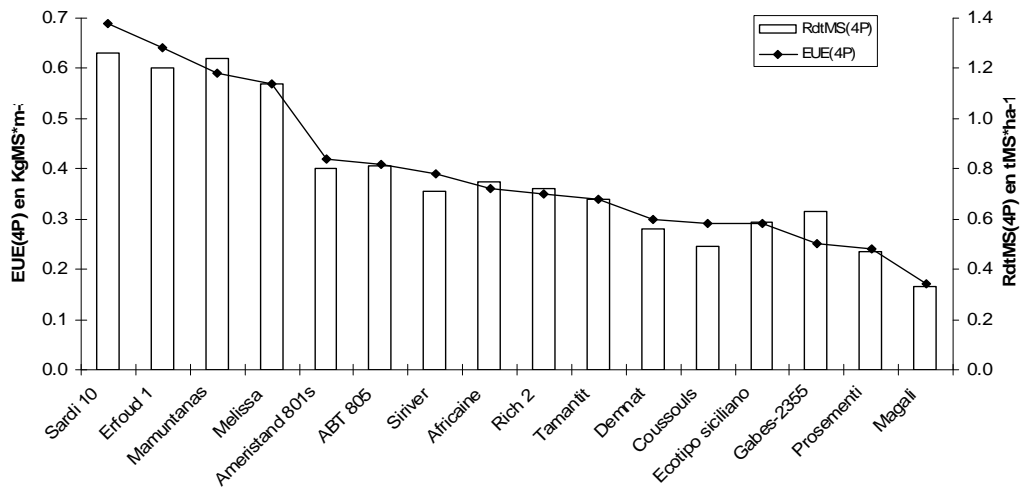


Figure 57: Variation de l'EUE et RdtMS en 4^{ème} année de production (Essai en pluvial)

III.4.2.2. Essai en Irrigué

La moyenne générale de l'EUE des cultivars pour l'essai est de $0,68 \pm 0,22 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Le cultivar le plus efficace est Ameristand 801s ($0,88 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$), le cultivar le moins efficace est Magali ($0,39 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$). L'analyse de la variance des moyennes de l'efficacité de l'utilisation de l'eau ne montre aucune différence significative entre les cultivars. Ces derniers avec un PPDS à 5% de $0,40 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$, se classent en cinq groupes. Le premier groupe (A), comporte les cultivars (Ameristand 801s, Ecotipo siciliano, Sardi 10, Erfoud1, Demnat et Melissa) avec des valeurs comprises entre 0,79 et $0,88 \text{ KgMS} \cdot \text{m}^{-3}$. Le dernier groupe (E) comporte le cultivar Magali (**Fig. 58**)

Le meilleur rendement pour cette année en essai irrigué est celui du cultivar Ameristand801s avec une valeur de $8,59 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$. Par contre Magali est le cultivar le moins productif ($3,82 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$). La moyenne générale de l'essai est de $6,66 \pm 2,16 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$. Le test du PPDS à 5% avec une valeur de $3,92 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ montre que les valeurs moyennes des rendements se répartissent de la même façon que pour le paramètre efficacité de l'utilisation de l'eau. Le premier groupe (A) présente des valeurs comprises entre 7,69 et $8,59 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$. Le dernier groupe présente une valeur de $3,82 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$. Pour les autres valeurs, ils se chevauchent entre 4,49 et $7,52 \text{ tMS} \cdot \text{ha}^{-1}$ (**Fig. 58**).

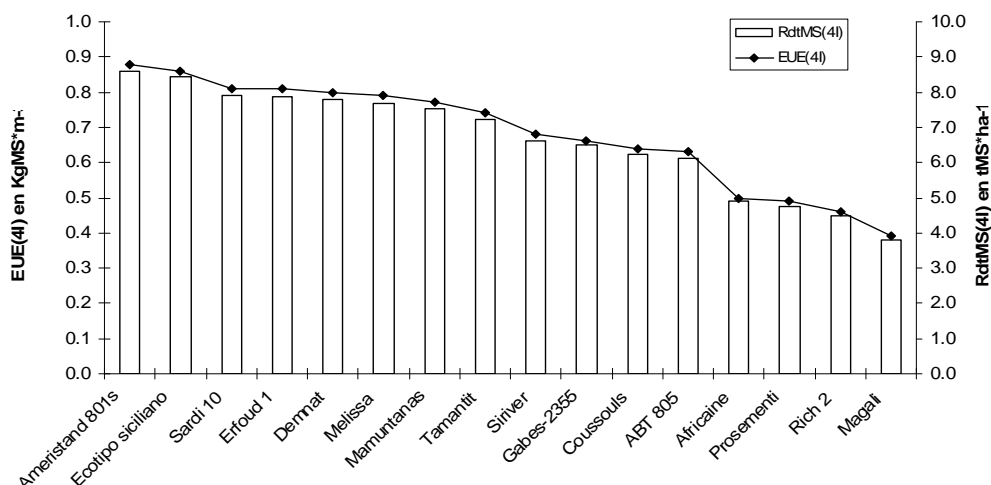


Figure 58: Variation de l'EUE et RdtMS en 4^{ème} année de production (Essai en irrigué)

III.4.3. Pérennité

En essai pluvial, les cultivars Gabes-2355 et Demnat 203 semblent supporter mal l'effet d'un stress hydrique (moins pérennes). En effet, le taux de régression du recouvrement linéaire avec une valeur comprise entre 61% et 62%, est le plus important en essai pluvial. Par contre, ils sont comptés parmi les plus pérennes en essai irrigué avec des valeurs respectives de 9,68% et 4,15%. Les cultivars Mamuntanas et ABT 805 avec un Trec% respectivement de 32,90% et 33,81%, sont considérés comme des cultivars pérennes c'est-à-dire qui supportent les contraintes environnementales de la région. Le cultivar Magali est le moins pérenne en régime irrigué avec un Trec% de 43,12%. Le cultivar Rich2 semble se comporter de la même façon pour les deux régimes hydriques (pluvial et irrigué) avec des valeurs respectives de 39,41% et 37,14%.

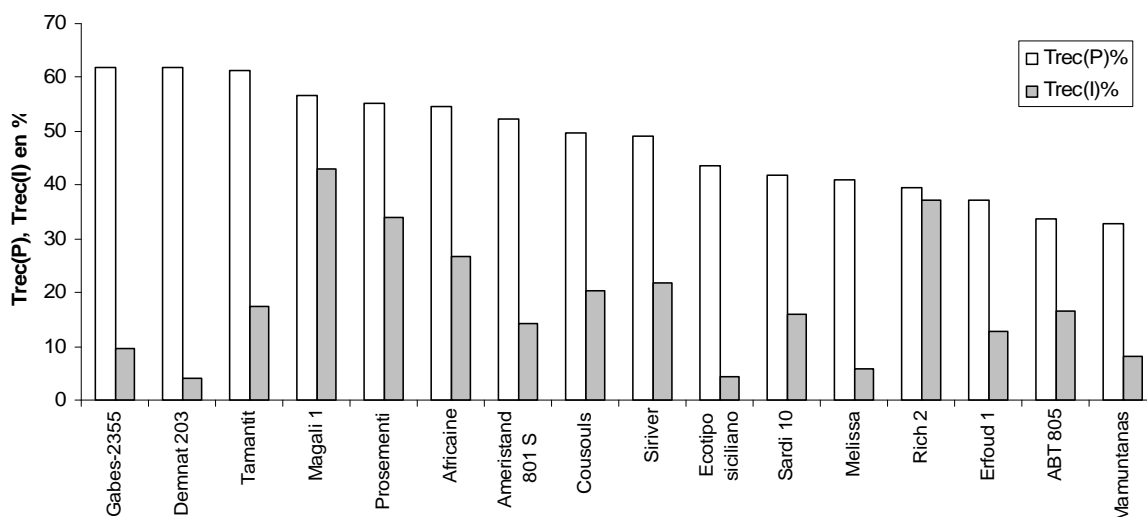


Figure 59: Variation du taux de régression du recouvrement linéaire (Essai Pluvial et Irrigué)

Il semble que le changement de comportement des cultivars de la 3^{ème} année à la 4^{ème} soit la conséquence de la persistance de la sécheresse avec une régression de 40,29% et une augmentation d'environ 5% de l'évapotranspiration.

Le cultivar Ameristand 801s se comporte mieux en régime irrigué. Il reste le plus productif (10,95 tMS*ha⁻¹ en 3^{ème} année et 8,59 tMS*ha⁻¹ en 4^{ème} année) et le plus efficient (2,44 KgMS*m⁻³ en 3^{ème} année et 0,88 KgMS*m⁻³ en 4^{ème} année).

Durant la 3^{ème} année de l'essai, le cultivar Rich2, se montre plus efficient en pluvial qu'en irrigué avec une valeur de 2,25 KgMS*m⁻³, en plus de son comportement (Trec%) indifférent pour les deux régimes hydriques.

Le cultivar Gabes-2355, semble mal supporter un stress hydrique naturel compte tenu de la régression importante de sa surface de recouvrement linéaire avec un Trec% compris entre 61-62%.

Le cultivar Mamuntanas semble supporter mieux un stress hydrique avec le Trec% le plus faible (32,90%). Son efficience de 2,16 KgMS*m⁻³ (3^{ème} année), 0,59 KgMS*m⁻³ (4^{ème} année) et son rendement de 8,34 tMS*ha⁻¹ (3^{ème} année), 1,24 tMS*ha⁻¹ (4^{ème} année), sont comptés parmi les meilleures valeurs enregistrées.

CONCLUSION

Conclusion

Ce travail nous a permis de connaître le comportement des seize cultivars de luzerne dans les conditions abiotiques du Bas Cheliff.

Le comportement des cultivars pour chaque essai varie pour les deux années de production (2006-2007 et 2007-2008). La cinétique de croissance, de la hauteur de végétation et du recouvrement linéaire, présente un comportement différent en fonction des saisons.

En pluvial le nombre de coupes est passé de quatre coupes pour la 3^{ème} année à cinq coupes pour la 4^{ème} année. Par contre pour l'essai en irrigué, le nombre de coupes est resté le même avec une valeur de six.

Pour les deux essais les rendements en pluvial sont faibles. Dans un confort hydrique, les cultivars maintiennent ou développent leurs recouvrements.

Le cultivar Ameristand 801s se comporte mieux en régime irrigué. Il reste le plus productif (10,95 tMS*ha⁻¹ en 3^{ème} année et 8,59 tMS* ha⁻¹ en 4^{ème} année) et le plus efficient (2,44 KgMS*m⁻³ en 3^{ème} année et 0,88 KgMS* m⁻³ en 4^{ème} année).

Les cultivars d'oasis, Tamentit, Gabes-2355 et Africaine, semblent mal acclimatés. Ils donnent les rendements et efficacités les plus faibles pour les deux essais. Ils supportent mal l'effet d'un stress hydrique compte tenu de la régression importante de leur surface de recouvrement linéaire et de leur pérennité. Par contre, ils sont comptés parmi les plus pérennes en essai irrigué.

Les rendements les plus importants des essais sont obtenus en deuxième année de production, et varient entre 6.10 tMS*ha⁻¹ et 13.35 tMS* ha⁻¹ (**Bellague et al., 2008**).

Le rendement en matière sèche, progresse de la 1^{ère} coupe à la 4^{ème} coupe. La production printanière et estivale est la plus importante, car la biomasse aérienne est proportionnelle à la quantité du rayonnement absorbé par le couvert végétal (**Lemaire et Allirand, 1993 in Khelifi et al., 2008**).

Il semble que le changement de comportement des cultivars de la 3^{ème} année à la 4^{ème} soit la conséquence de la persistance de la sécheresse avec une régression de la pluviométrie de 40,29% et une augmentation d'environ 5% de l'évapotranspiration.

La mortalité des plants (NPL) de la 3^{ème} à la 4^{ème} année est de 49.1% pour l'essai en pluvial et de 36.05% pour l'essai en irrigué. Elle met en évidence les stress extrêmes subis par les cultivars.

La corrélation linéaire entre les variables est très importante entre l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) et les variables morphologiques de la plante (hauteur de végétation, recouvrement linéaire, rendement et nombre de plants par ligne). Par contre elle est inversement proportionnelle au taux de matière sèche de la biomasse aérienne (MS%).

Le ratio et la sénescence n'ont aucun effet sur l'efficacité d'utilisation de l'eau. Ceci est dû à l'entrée des cultivars en dormance estivale. Elle est une forme d'évasion au stress subi pour une suspension temporaire de l'activité végétative apparente. Les jours longs, les

températures élevées et le stress hydrique sont les paramètres abiotiques responsables de l'induction de ce phénomène.

La mise en essais des seize cultivars au niveau d'une oasis clarifiera leur comportement et prendra en charge leurs dormances estivale et hivernale.

Le suivi de chacun des cultivars au niveau d'essais d'adaptation permettrait de maîtriser leurs stades phénologiques en fonction des conditions édaphoclimatiques des régions utilisatrices de luzerne pérenne pour connaître leurs performances réelles.

Un modèle prenant en charge les conditions abiotiques les plus importantes pour comparer le comportement des cultivars dans un réseau d'essais sera un outil de choix pour mettre en valeur les nombreux résultats obtenus.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- 1. Ababou A., 2003.** Etude Eco-pédologique et proposition d'un modèle d'aménagement des sols salés : Cas de la zone du Bas Cheliff, Nord-ouest Algérien. Mémoire de magister, Centre Universitaire Mustapha Stambouli Mascara (CUMSM). 160p.
- 2. Abdelgawad G., Ghaiba A., Ferdaous A., El-Chaabouni Z., Bouazziz A., 1996.** Utilisation de l'eau saumâtre pour l'irrigation de l'orge, la luzerne, le coton, l'oignon, la betterave sucrière, le maïs. Atelier sur l'utilisation des eaux saumâtres en agriculture pour les ingénieurs agronomes Algériens. ACSAD, ITDAS (BISKRA), 4-13 Décembre 1996.
- 3. Abdelgawad G., 2000.** Normes mondiales d'évaluation de l'aptitude des eaux d'irrigation dans les sols non salins et salins et point de vue du centre arabe sur ces normes. Atelier sur les techniques d'irrigation dans un milieu salin. ACSAD, ITDAS (BISKRA), 18-23 Novembre 2000.
- 4. Abdelguerfi A. et Abdelguerfi-Laouar M., 2002.** Les espèces fourragères et pastorales : Les utilisations au Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Edition FAO. Regional Office for Near East. 146p.
- 5. Abdelguerfi A. et Abdelguerfi-Laouar M., 2004.** Les ressources génétiques d'intérêt fourrager et/ou pastoral : Diversité, collecte et valorisation au niveau méditerranéen. Cahier Options Méditerranéennes, CIHEAM vol.62 : pp.29-41
- 6. Adoui S., 2007.** Efficience d'utilisation de l'eau sur les variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.) soumises à deux régimes hydriques. Mémoire Ing. INA, El-Harrach. 67p. et annexe.
- 7. Alboudi A., 1988.** Contribution à l'étude des contraintes dues au régime d'exploitation et au déficit hydrique sur la dynamique de repousse et la morphologie de différents types de luzerne (*Medicago sativa* L.). Thèse de doctorat, Académie de Montpellier, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Lusignan (France). 189p.
- 8. Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F. et Thomas A., 2006.** Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective (ESCo), Rapport, INRA (France), 380p.
- 9. Annerose D. et Cornaire B., 1991.** Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Vers une gestion des flux hydrique par le système de cultures. Séminaire international. Bamako, 9-13 décembre 1991. 137-150pp.
- 10. Annicchiarico P. 2007.** Lucerne shoot and root traits associated with adaptation to favourable or drought-stress environments and to contrasting soil types. *Field Crops Research* 102: 51-59.
- 11. Aydi S., Sassi S., Zribi K., Paere H., Drevon J.J. et Abdelly C., 2006.** Variabilité de la réponse de *Medicago truncatula* à la contrainte saline, en condition de fixation symbiotique de l'azote. Workshop international sur Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes : Applications biotechnologique, agronomiques et environnementales. Editeur Dr. Abdelguerfi A., Alger 19-22 Février 2006, 213-217pp
- 12. Bacchi O.O.S., Reichardt K. et Calvache M., 2000.** Les sondes à neutrons et à rayons gamma : leurs applications en agronomie. AIEA, Vienne, 71p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 13. Bacha F. et Ounane SM., 2006.** Etude de l'effet du stress hydrique sur les activités des enzymes nitrate réductase et nitrogénase de la culture du pois chiche (*Cicer arietinum* L.). Revue Recherche agronomique (INRAA) n°13, 2003. pp. 45-60
- 14. Bamouh A., 1998.** Gestion de la contrainte pluviométrique pour l'amélioration de la production végétale et de l'efficacité d'utilisation de l'eau. Bulletin de liaison du programme national de transfert de technologie en agriculture n°50, Maroc, Novembre 1998.
- 15. Bellague D., 1998.** Bilan d'activité : Caractérisation du climat. Station expérimentale INRAA-H'madna. Relizane-Algérie. p25.
- 16. Bellague D., Chedjerat A., Khedim A., Khelifi H.E., M'hammedi Bouzina M., Merabet A.B., Laouar M. et Abdelguerfi A., 2008.** Comportement et efficacité d'utilisation de l'eau de quelques cultivars de luzerne pérenne dans une région semi-aride en Algérie. In "Sustainable Mediterranean Grasslands and their Multi-Functions" Proceeding of 12th Meeting of the Sub-network on Mediterranean Forage Resources of the FAO-CIHEAM, Elvas (Portugal), 9-12 April 2008. pp.265-268.
- 17. Bellague D., M'hammedi Bouzina M. et Merabet B.A., 2009.** Synthèse de quatre années de production de luzerne pérenne (*Medicago sativa*) en milieu semi-aride (Hmadna, Algérie). Rapport 4^{ème} année, Projet PERMED. 10p.
- 18. Bensemmane L., et Bouzerzour, 2006.** Rythme de développement des variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum* Desf), analyse de la croissance-développement. Revue Recherche agronomique (INRAA) n°18-2006. pp.20-32
- 19. Bouzigaren A., Kallida R., et Al Faiz C., 2010.** Evaluation of drought tolerance variability in Mediterranean Alfalfa cultivars in the field under Moroccan conditions. In "Sustainable Use of Genetic Diversity in Forage and Turf Breeding". Editeur Huyghe C., France. Pp.283-287
- 20. Boulaine J., 1957.** Etude des sols des plaines du Chélif. 582p.
- 21. Bouthiba A., 1996.** Contribution à l'étude de l'irrigation de complément du blé dans la région du moyen Cheliff. Thèse de magister, Institut National d'Agronomie (INA) El-Harrach, Alger, Algérie. 160p.
- 22. Chaabena A., 2001.** Situation des cultures fourragères dans le sud-est septentrional du Sahara Algérien en caractérisation de quelques variétés introduites et populations Sahariennes de luzerne cultivée. Thèse de Magister, INA, Alger, 141p.
- 23. Chaabena A., Abdelguerfi A., Baameur M., 2004.** Comportement et caractérisation de quelques variétés de luzerne (*Medicago sativa* L.) dans la région de Ouragla. Revue Agricultures, vol.13, n°3. pp.271-276
- 24. Chamayou H., 1984.** Notions fondamentales de science du sol. INSA de Montpellier.259p.
- 25. Childers W.R., 2008.** Encyclopédie Canadienne (<http://www.thecanadianencyclopedia.com>)
- 26. CIRAD-GRET, 2002.** Mémento de l'agronome. Ed. Quae. 1691p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 27. Delgado E., 2006.** Research works on Mielgas (*Medicago sativa* L.). Possibilities to use for grazing and improve degraded soils in the Mediterranean region. Workshop international sur Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes : Applications biotechnologique, agronomiques et environnementales. Editeur Dr. Abdelguerfi A., Alger 19-22 Février 2006, pp.188-192
- 28. Doorenbos J., Pruitt W.O., 1975.** Les besoins en eaux des cultures. Bulletin d'Irrigation et drainage, FAO n°24. 197p.
- 29. Doré T., LeBail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J., 2006.** L'agronomie d'aujourd'hui, Edition QUAE, page 111-117
- 30. Douaoui A., 2006.** La salinisation dans la plaine du Bas-Cheliff : Acquis et perspectives. Deuxième Atelier régional du projet Sirma « Economie d'eau en système irrigués au Maghreb », Marrakech, Maroc, 29-31 mai 2006. 9p.
- 31. Durand J.L., 1987.** Modélisation de la production de luzerne et alimentation hydrique. Thèse, Institut National Agronomique (INA)-Paris-Grignon (France). 109p.
- 32. Duthil J. 1967.** La production fourragère. Ed, J.B Baillièrre et fils, Paris. 373p.
- 33. El-Boutahiri N., Thami Alami I., Ibriz M., Alfaiz C., 2008.** The effect of salinity and high temperature on biomass production of some alfalfa landraces. In "Sustainable Mediterranean Grasslands and their Multi-Functions" Proceeding of 12th Meeting of the Sub-network on Mediterranean Forage Resources of the FAO-CIHEAM, Elvas (Portugal), 9-12 April 2008. 293-297.
- 34. Farquhar GD. et Richards RA., 1984.** Isotopic composition of plant carbon correlates with water use efficiency of wheat genotypes. Australian Journal of Plant Physiology 11: 539-552.
- 35. Genier G., Guy P. et Prosperi J.M., 1992.** Les luzernes. Amélioration des espèces végétales cultivées. Edition Gallais A. et Bannerot H.. INRA, Paris. pp.323-338
- 36. Ghibeche I., 2008.** Efficience d'utilisation de l'eau sur quelques variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa* L) soumises à deux régimes hydriques (ETM, pluvial). Mémoire Ing. INA. El-Harrach. 54p. et annexe.
- 37. Guyot L. et Gibassier P., 1967.** Les noms des plantes. Edition PUF, Collection Que sais-je ? n°866, Paris, 77p.
- 38. Guyot G., 1999.** Climatologie de l'environnement, Cours et exercices corrigés. Ed. Dunod, Paris. 504p.
- 39. Guehl J.M., Picon C., Sénéquier C., Ferhi A., Loustau D. and Queyrens A. 1993.** Discrimination isotopique du carbone et efficience d'utilisation de l'eau chez les arbres forestiers. Colloque INRA : Les isotopes stables en recherche agronomique végétale. 1-10.
- 40. Hamadache et Boussadi, 1991.** Essai comparatif de onze variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*) en zone subhumide. Céréaliculture n°24 :25-31pp.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 41. Hayek T., Loumerem M., Nagaz K. et Thabet M., 2008.** Growth development and dry matter yield of 16 Lucerne genotypes cultivated in south Tunisia. In "Sustainable Mediterranean Grasslands and their Multi-Functions" Proceeding of 12th Meeting of the Sub-network on Mediterranean Forage Resources of the FAO-CIHEAM, Elvas (Portugal), 9-12 April 2008. pp.299-302.
- 42. Hireche-Adjal Y., 2006.** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L.) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de magister en sciences agronomiques, UHLB. Algérie. 83p.
- 43. Hnatyszyn M. et Guais A., 1988.** Les fourrages et l'éleveur; agriculture d'aujourd'hui: Science, techniques et applications. Paris. 440 p.
- 44. ITGC-ITCF, 1987.** La démarche expérimentale, de l'écriture à l'exploitation des résultats. Edité avec FERT. 124p.
- 45. Jebara M., Aouani M.E., Mhamedi R., Ghrir R. et Mars M., 2000.** Effect of salt on *Sinorhizobium* sp. isolates from Tunisia either in vitro or in association with *Medicago* sp. Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures. Volume 9, n° 2, 99-102, Mars - Avril 2000, Synthèse.
- 46. Kerras F., 1994.** Bilan d'activité, Amélioration des techniques culturales : Essai de comportement variétal de luzerne pérenne (3^{ème} année). Station de recherche Hmadna-Relizane, INRA Algérie. 20p.
- 47. Khelifi H.E., 2008.** Etude du comportement de quelques variétés ou populations de luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.) et de sulla (*Hedysarum coronarium* L.). Mémoire de Magister, INA, El-Harrach (Alger). 161p.
- 48. Khelifi H.E., Khedim A., Merabat B.A., Benmessaoud A., Hadj-Omar K., Nabi M., Alouane Y., Lazali M., Bellague D., Oumata S., Laouar M., M'hammedi Bouzina M. et Abdelguerfi A. 2008.** Résultats préliminaires de production et d'efficacité d'utilisation de l'eau chez des cultivars de luzerne pérenne (*Medicago sativa*) en régime hydrique pluvial et irrigué. In "Sustainable Mediterranean Grasslands and their Multi-Functions" Proceeding of 12th Meeting of the Sub-network on Mediterranean Forage Resources of the FAO-CIHEAM, Elvas (Portugal), 9-12 April 2008. pp.327-330.
- 49. Kotchi S.O., 2004.** Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge. Application à la culture de la pomme de terre. Université Laval (Canada). 115p.
- 50. Lapeyronie A., 1982.** Les productions fourragères. Edition Maisonneuve et Larose. 425p.
- 51. Laurent J.P., 2006.** Suivi de l'eau dans le sol et à l'interface sol/atmosphère : de la physique des sols à l'hydrogéophysique. Séminaire EOST-strasbourg, 13 avril 2006
- 52. Lelièvre F., 2006.** Quelques recommandations pour les expérimentations visant à mesurer en pots Water Use Efficiency sur la luzerne. Note technique (PERMED), 7p.
- 53. Lelièvre F. Satger S., et Volaire F., 2008.** Water use efficiency in a mild season and water cost of summer survival of perennial forage grasses in Mediterranean areas. In "Sustainable Mediterranean Grasslands and their Multi-Functions" Proceeding of 12th Meeting of the Sub-network on Mediterranean Forage Resources of the FAO-CIHEAM, Elvas (Portugal), 9-12 April 2008. 259-263.
- 54. Lemaire G., 2006.** La luzerne : Productivité et qualité, Workshop international sur Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes : Applications biotechnologique, agronomiques et environnementales. Editeur Dr. Abdelguerfi A., Alger 19-22 Février 2006, 174-182p

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 55. Lemaire G. et Pflimlin A., 2007.** Les sécheresses passées et à venir : quels impacts et quelles adaptations pour les systèmes fourragers ?, Fourrages 190, 163-180.
- 56. Loucif Seiad N., 2002.** Les ressources en eau et leurs utilisations dans le secteur agricole en Algérie. Comptes rendus: Conférence internationale sur les Politiques d'Irrigation. Algérie, Alger, 14 avril 2002: 298-309.
- 57. Maillard P. Tabourel F., Adam B., Dayau S., 1995.** Principes d'utilisation des marquages isotopiques en physiologie végétale. Actes de l'école chercheurs INRA en bioclimatologie. Le Croisic, 3-7 avril 1995. Tome1 : De la plante au couvert végétal. pp.245-255
- 58. Margat J., 2006.** Les notes du plan bleu n°4, environnement et développement en Méditerranée : Faire face aux crises et pénuries d'eau en Méditerranée. 04p.
- 59. Mauriès M., 1994.** La luzerne aujourd'hui. 1^{ère} édition France Agricole 254p.
- 60. Mbarki S., Labidi N., Jedidi N. et Abdely C., 2006.** Effet d'un amendement organique sur la croissance et le comportement nutritionnel de *Medicago sativa*, cultivée en présence de sel. Workshop international sur Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes : Applications biotechnologique, agronomiques et environnementales. Editeur Dr. Abdelguerfi A., Alger 19-22 Février 2006, pp.218-222
- 61. McDonald M., W S Atkins International et BNEDER, 1990.** Etude de l'avant projet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebket Benziane et du Réaménagement du Bas-Cheliff. Dossier I-D (Etude agro-Economique), Rapport I-D-1, Situation de référence. 169p.
- 62. Mefti M., Chebouti A., Bouzerzour H., M'hammedi Bouzina M., Aouani M.E., Abdelguerfi A., 2006.** Etude de l'effet du stress hydrique sur le développement de quelques populations de *Medicago polymorpha* (L.). Workshop international sur Diversité des fabacées fourragères et de leurs symbiotes : Applications biotechnologique, agronomiques et environnementales. Editeur Dr. Abdelguerfi A., Alger 19-22 Février 2006, pp.226-229
- 63. Norton MR., Lelievre F., Volaire F., 2006.** Summer dormancy in *Dactylis glomerata* L.: the influence of season of sowing and simulated mid-summer storm on two contrasting cultivars. Australian Journal of Agricultural Research **57**, 565-75.
- 64. Parcevaux S. et Huber L., 2007.** Bioclimatologie : Concept et applications. Edition Quae. 336p
- 65. Pecceti L., Carroni A.M., Annicchiarico P., Manunza P., Longu A., et Congiu G., 2008.** Adaptation summer survival and autumn dormancy of Lucerne in a south European Mediterranean region (Sardinia). In "Sustainable Mediterranean Grasslands and their Multi-Functions" Proceeding of 12th Meeting of the Sub-network on Mediterranean Forage Resources of the FAO-CIHEAM, Elvas (Portugal), 9-12 April 2008. pp.471-474.
- 66. Pindard A., 2000.** La relation stress hydrique – rendement du maïs en Bresse : quelle perspective de spatialisation? , Utilisation d'un simulateur de culture (STICS). Mémoire d'ingénieur, ENESA de Dijon (France). 60p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 67. Proserpi J.M., Oliviers I., Angevain M., Genier G. et Nansat P., 1993.** Diversité génétique, conservation et utilisation des ressources génétiques des luzernes méditerranéennes. Courrier de l'environnement de l'INRA. Sauve qui peut n°4 (S4). pp.17-24.
- 68. Quezel P. et Santa S., 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome I, Ed. Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Paris 7^e. 566p.
- 69. Richard L. 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USSS, USDA, Handbook 60. p160.
- 70. Ruelle P. et Rieul L., 2003.** Irrigation, Guide pratique, 3^{ème} édition Quae. 344p.
- 71. Rata M. et Mekhaneg A., 2002.** Cartographie numérique de l'étude des états de surface de la plaine du Bas-Cheliff. Mémoire d'ingénieur. UHBC Chlef. 140p.
- 72. Seklani H., Zoghalmi A., Mezni M. et Hassen H., 1996.** Synthèse des travaux de recherche réalisés sur les *Medicago* à l'institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie. Bilan et perspectives de la recherche, Actes de la réunion du groupe de travail méditerranée sur les *Medicago* du réseau interrégional FAO/CIHEAM, Hammamet (19-22 octobre 1995). Cahiers options méditerranéennes, CIHEAM, pp.31-37
- 73. Si-Kaddour A., 1996.** Bilan d'activité, Amélioration des techniques culturales : Essai de comportement variétal de luzerne pérenne (4^{ème} année). Station de recherche Hmadna-Relizane, INRA Algérie. 15p.
- 74. Silsbury JH., 1961.** A study of dormancy, survival and other characteristics in *Lolium*. Perenne L. at Adelaide, SA. Australian Journal of Agricultural Research 12: 1-9
- 75. Suttie J.M., 2004.** Conservation du foin et la paille pour les petits paysans et pasteurs. Collection FAO n°29, production végétale et protection des plantes. 301p.
- 76. Tardieu T., Cruiziat P., Clermont-Ferrand, Durand J.L., Triboï E. et Zivy M., 2006.** Perception de la sécheresse par la plante. Conséquences sur la productivité et sur la qualité des produits récoltés. ESCo "Sécheresse et agriculture". Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Rapport d'expertise réalisé par l'INRA. pp.49-67.
- 77. Topp G.C., Davis J.C., Annan, 1980.** Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. Water Resources Research, 16(3): 574-582
- 78. Thiébeau P., Pamaudeau V. et Guy P., 2003.** Quel avenir pour la luzerne en France et en Europe. Le courrier de l'environnement n°49, juin 2003. pp.29-46.
- 79. Vanpeene-Bruhier S., Piedallu C. et Delory I., 2002.** Réaménagement agricole des carrières de granulats. Edition Quae. 160 p.
- 80. Volaire F., 2002.** Drought survival, summer dormancy and dehydrin accumulation in contrasting cultivars of *Dactylis glomerata*. *Physiologia Plantarum*, 116: 42-51
- 81. Volaire F., et Norton M., 2006.** Summer dormancy in perennial temperate grasses. *Annals of botany* 98(5): 927-933

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

82. Yacono X., 1955. Colonisation des plaines du Cheliff (de Lavigerie au confluent de la Mina). Tome1, imprimerie Imbert, Alger. 444p.

ANNEXES

ANNEXE I : Essai en pluvial

ANNEXE II : Essai en Irrigué

ANNEXE I : Essai en Pluvial

ANNEXES

Tableau 1 : Anova de la hauteur de végétation (Essai pluvial : Coupe1).

Source	Ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	42,488	14,163	2,620	0,062
Cultivar	15	400,602	26,707	4,940	< 0.0001
Résidus	45	243,290	5,406		
Total	63	686,379			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 7,069

Tableau 2 : Anova recouvrement linéaire (Essai pluvial : Coupe1)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	2352,375	784,125	6,549	0,001
Cultivar	15	2541,250	169,417	1,415	0,182
Résidus	45	5388,125	119,736		
Total	63	10281,750			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 23,493

Tableau 3 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai pluvial : Coupe1)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	1,383	0,461	6,588	0,001
Cultivar	15	4,272	0,285	4,069	0,000
Résidus	45	3,149	0,070		
Total	63	8,804			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 0,799

Tableau 4 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai pluvial : Coupe1)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,140	0,047	5,406	0,003
Cultivar	15	0,556	0,037	4,287	< 0.0001
Résidus	45	0,389	0,009		
Total	63	1,086			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 0,280

Tableau 5 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai pluvial : Coupe1)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,695	0,232	4,496	0,008
Cultivar	15	1,584	0,106	2,049	0,032
Résidus	45	2,318	0,052		
Total	63	4,597			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 0,507

Tableau 6 : Anova de la hauteur de végétation (Essai pluvial : Coupe2).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	748,009	249,336	24,634	< 0.0001
Cultivar	15	583,099	38,873	3,841	0,000
Résidus	45	455,477	10,122		
Total	63	1786,585			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 12,253

ANNEXES

Tableau 7 : Anova recouvrement linéaire (Essai pluvial : Coupe2)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
BLOC	3	222,000	74,000	1,649	0,192
Cultivar	15	1281,750	85,450	1,904	0,049
Résidus	45	2020,000	44,889		
Total	63	3523,750			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 13,023			

Tableau 8 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai pluvial : Coupe2)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,833	0,278	4,113	0,012
Cultivar	15	2,403	0,160	2,373	0,013
Résidus	45	3,038	0,068		
Total	63	6,273			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,604			

Tableau 9 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai pluvial : Coupe2)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,088	0,029	3,759	0,017
Cultivar	15	0,309	0,021	2,626	0,006
Résidus	45	0,353	0,008		
Total	63	0,750			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,212			

Tableau 10 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai pluvial : Coupe2)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,387	0,129	2,633	0,061
Cultivar	15	1,336	0,089	1,818	0,062
Résidus	45	2,205	0,049		
Total	63	3,928			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,441			

Tableau 11 : Anova de la hauteur de végétation (Essai pluvial : Coupe3).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	145,864	48,621	5,697	0,002
Cultivar	15	187,528	12,502	1,465	0,160
Résidus	45	384,065	8,535		
Total	63	717,458			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 6,132			

Tableau 12 : Anova recouvrement linéaire (Essai pluvial : Coupe3)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	94,312	31,438	0,757	0,524
Cultivar	15	1225,438	81,696	1,968	0,041
Résidus	45	1868,188	41,515		
Total	63	3187,938			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 12,200			

ANNEXES

Tableau 13 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai pluvial : Coupe3)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,908	0,303	6,538	0,001
Cultivar	15	1,147	0,076	1,652	0,097
Résidus	45	2,082	0,046		
Total	63	4,137			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,481			

Tableau 14 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai pluvial : Coupe3)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,078	0,026	6,380	0,001
Cultivar	15	0,127	0,008	2,066	0,031
Résidus	45	0,184	0,004		
Total	63	0,389			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,152			

Tableau 15 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai pluvial : Coupe3)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	2,599	0,866	2,834	0,049
Cultivar	15	12,304	0,820	2,684	0,005
Résidus	45	13,752	0,306		
Total	63	28,655			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 1,296			

Tableau 16 : Anova de la hauteur de végétation (Essai pluvial : Coupe4).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	188,475	62,825	11,849	< 0,0001
Cultivar	15	138,822	9,255	1,746	0,076
Résidus	45	238,591	5,302		
Total	63	565,888			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 6,076			

Tableau 17 : Anova recouvrement linéaire (Essai pluvial : Coupe4)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	532,297	177,432	2,725	0,055
Cultivar	15	1249,734	83,316	1,279	0,254
Résidus	45	2930,453	65,121		
Total	63	4712,484			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 14,177			

Tableau 18 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai pluvial : Coupe4)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Modèle	18	1,411	0,078	1,599	0,102
Bloc	3	0,629	0,210	4,275	0,010
Cultivar	15	0,782	0,052	1,064	0,414
Résidus	45	2,205	0,049		
Total	63	3,616			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,399			

ANNEXES

Tableau 19 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai pluvial : Coupe4)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,073	0,024	4,237	0,010
Cultivar	15	0,097	0,006	1,134	0,356
Résidus	45	0,257	0,006		
Total	63	0,427			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,138			

Tableau 20 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai pluvial : Coupe4)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	1,099	0,366	3,633	0,020
Cultivar	15	1,741	0,116	1,151	0,343
Résidus	45	4,538	0,101		
Total	63	7,379			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,566			

Tableau 21 : Anova de la hauteur de végétation (Essai pluvial : Coupe5).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	120,065	40,022	11,438	< 0.0001
Cultivar	15	87,574	5,838	1,669	0,093
Résidus	45	157,457	3,499		
Total	63	365,097			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 4,839			

Tableau 22 : Anova recouvrement linéaire (Essai pluvial : Coupe5)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	89,063	29,688	0,669	0,576
Cultivar	15	709,938	47,329	1,067	0,412
Résidus	45	1996,938	44,376		
Total	63	2795,938			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 9,493			

Tableau 23 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai pluvial : Coupe5)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	1,640	0,547	11,814	< 0.0001
Cultivar	15	1,271	0,085	1,832	0,060
Résidus	45	2,082	0,046		
Total	63	4,993			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,573			

Tableau 24 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai pluvial : Coupe5)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,219	0,073	12,224	< 0.0001
Cultivar	15	0,161	0,011	1,806	0,064
Résidus	45	0,268	0,006		
Total	63	0,648			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,207			

ANNEXES

Tableau 25 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai pluvial : Coupe5)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	4,202	1,401	5,287	0,003
Cultivar	15	11,951	0,797	3,008	0,002
Résidus	45	11,920	0,265		
Total	63	28,073			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 1,350			

Tableau 26 : Anova de la hauteur de végétation (Essai pluvial : saison printanière).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	373,821	124,607	19,340	< 0.0001
Cultivar	15	257,045	17,136	2,660	0,006
Résidus	45	289,933	6,443		
Total	63	920,799			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 8,435			

Tableau 27 : Anova recouvrement linéaire (Essai pluvial : saison printanière)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	146,078	48,693	1,188	0,325
Cultivar	15	1191,734	79,449	1,938	0,044
Résidus	45	1845,047	41,001		
Total	63	3182,859			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 12,283			

Tableau 28 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai pluvial : saison printanière)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	3,350	1,117	5,951	0,002
Cultivar	15	6,468	0,431	2,297	0,016
Résidus	45	8,445	0,188		
Total	63	18,263			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 1,052			

Tableau 29 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS)(Essai pluvial: saison printanière)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,313	0,104	5,760	0,002
Cultivar	15	0,790	0,053	2,908	0,003
Résidus	45	0,815	0,018		
Total	63	1,917			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,353			

Tableau 30 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai pluvial: saison printanière)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,758	0,253	4,071	0,012
Cultivar	15	1,779	0,119	1,910	0,048
Résidus	45	2,794	0,062		
Total	63	5,332			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,535			

ANNEXES

Tableau 31 : Anova de la hauteur de végétation (Essai pluvial : saison estivale).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	148,272	49,424	15,080	< 0,0001
Cultivar	15	89,343	5,956	1,817	0,062
Résidus	45	147,489	3,278		
Total	63	385,104			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 5,177			

Tableau 32 : Anova recouvrement linéaire (Essai pluvial : saison estivale)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	220,449	73,483	1,515	0,223
Cultivar	15	880,777	58,718	1,211	0,299
Résidus	45	2182,113	48,491		
Total	63	3283,340			
th. 5% = 0,457		LSD 5% = 11,145			

Tableau 33 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai pluvial : saison estivale)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	4,138	1,379	7,853	0,000
Cultivar	15	3,876	0,258	1,471	0,157
Résidus	45	7,905	0,176		
Total	63	15,918			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,951			

Tableau 34 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai pluvial : saison estivale)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,512	0,171	7,942	0,000
Cultivar	15	0,484	0,032	1,504	0,145
Résidus	45	0,966	0,021		
Total	63	1,962			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,335			

Tableau 35 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai pluvial : saison estivale)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	6826,876	2275,625	5,948	0,002
Cultivar	15	10309,719	687,315	1,797	0,066
Résidus	45	17215,764	382,573		
Total	63	34352,358			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 43,963			

Tableau 36 : Anova de la hauteur de végétation (Essai pluvial).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	178,708	59,569	18,121	< 0,0001
Cultivar	15	145,064	9,671	2,942	0,003
Résidus	45	147,925	3,287		
Total	63	471,697			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 6,043			

ANNEXES

Tableau 37 : Anova recouvrement linéaire (Essai pluvial)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	321,392	107,131	2,021	0,124
Cultivar	15	1195,019	79,668	1,503	0,145
Résidus	45	2385,258	53,006		
Total	63	3901,669			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 13,078			

Tableau 38 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai pluvial)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	21,791	7,264	6,549	0,001
Cultivar	15	40,206	2,680	2,417	0,011
Résidus	45	49,913	1,109		
Total	63	111,910			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 2,644			

Tableau 39 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai pluvial)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	2,316	0,772	6,346	0,001
Cultivar	15	5,033	0,336	2,758	0,004
Résidus	45	5,474	0,122		
Total	63	12,824			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,910			

Tableau 40 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai pluvial)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,754	0,251	6,007	0,002
Cultivar	15	1,374	0,092	2,190	0,022
Résidus	45	1,882	0,042		
Total	63	4,011			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,490			

Tableau 41 : Anova de la sénescence (SEN), (Essai pluvial)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Blocs	3	22,727	7,576	1,887	0,145
Cultivars	15	44,054	2,937	0,732	0,740
Résidus	45	180,634	4,014		
Total	63	247,415			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 2,744			

Tableau 42 : Anova du ratio (Essai pluvial : saison estivale)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Blocs	3	0,010	0,003	1,258	0,300
Cultivars	15	0,029	0,002	0,738	0,734
Résidus	45	0,116	0,003		
Total	63	0,155			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,066			

ANNEXES

Tableau 43 : Anova du TEOS (RdtMS) (Essai pluvial)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Blocs	3	9,254	3,085	0,388	0,762
Cultivars	15	216,504	14,434	1,817	0,062
Résidus	45	357,530	7,945		
Total	63	583,287			

F th. 5% = 0,457 **LSD 5% = 5,046**

Tableau 44 : Anova du NPL (Essai pluvial)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Blocs	3	2,397	0,799	1,831	0,155
Cultivars	15	6,195	0,413	0,946	0,523
Résidus	45	19,636	0,436		
Total	63	28,228			

F th. 5% = 0,457 **LSD 5% = 0,984**

ANNEXE II : Essai en Irrigué

ANNEXES

Tableau 1 : Anova de la hauteur de végétation (Essai irrigué : Coupe1).

Source	Ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	406,747	135,582	35,696	< 0.0001
Cultivar	15	1195,987	79,732	20,992	< 0.0001
Résidus	45	170,922	3,798		
Total	63	1773,656			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 13,445			

Tableau 2 : Anova recouvrement linéaire (Essai irrigué : Coupe1)

Source	Ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	17,797	5,932	0,026	0,994
Cultivar	15	15168,484	1011,232	4,388	< 0.0001
Résidus	45	10369,953	230,443		
Total	63	25556,234			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 41,386			

Tableau 3 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai irrigué : Coupe1)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	3,924	1,308	1,661	0,189
Cultivar	15	118,912	7,927	10,066	< 0.0001
Résidus	45	35,438	0,788		
Total	63	158,274			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 3,722			

Tableau 4 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai irrigué : Coupe1)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,310	0,103	1,624	0,197
Cultivar	15	8,683	0,579	9,095	< 0.0001
Résidus	45	2,864	0,064		
Total	63	11,857			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 1,007			

Tableau 5 : Anova Efficacité de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai irrigué : Coupe1)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,064	0,021	1,624	0,197
Cultivar	15	1,801	0,120	9,095	< 0.0001
Résidus	45	0,594	0,013		
Total	63	2,459			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,459			

Tableau 6 : Anova de la hauteur de végétation (Essai irrigué : Coupe2).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	29,703	9,901	0,750	0,528
Cultivar	15	536,575	35,772	2,710	0,005
Résidus	45	594,043	13,201		
Total	63	1160,320			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 7,992			

ANNEXES

Tableau 7 : Anova recouvrement linéaire (Essai irrigué : Coupe2)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	178,125	59,375	0,240	0,868
Cultivar	15	10889,500	725,967	2,934	0,003
Résidus	45	11135,375	247,453		
Total	63	22203,000			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 35,331			

Tableau 8 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai irrigué : Coupe2)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	4,095	1,365	0,876	0,461
Cultivar	15	65,126	4,342	2,786	0,004
Résidus	45	70,118	1,558		
Total	63	139,339			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 2,794			

Tableau 9 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai irrigué : Coupe2)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,277	0,092	0,837	0,481
Cultivar	15	5,811	0,387	3,506	0,001
Résidus	45	4,973	0,111		
Total	63	11,061			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,829			

Tableau 10 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai irrigué : Coupe2)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,125	0,042	0,837	0,481
Cultivar	15	2,610	0,174	3,506	0,001
Résidus	45	2,233	0,050		
Total	63	4,967			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,555			

Tableau 11 : Anova de la hauteur de végétation (Essai irrigué : Coupe3).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	24,175	8,058	0,633	0,598
Cultivar	15	519,919	34,661	2,721	0,005
Résidus	45	573,303	12,740		
Total	63	1117,396			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 7,834			

Tableau 12 : Anova recouvrement linéaire (Essai irrigué : Coupe3)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	7,063	2,354	0,008	0,999
Cultivar	15	7376,938	491,796	1,681	0,090
Résidus	45	13162,938	292,510		
Total	63	20546,938			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 28,858			

ANNEXES

Tableau 13 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai irrigué : Coupe3)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	1,252	0,417	0,114	0,951
Cultivar	15	97,036	6,469	1,767	0,071
Résidus	45	164,761	3,661		
Total	63	263,049			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 3,329			

Tableau 14 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai irrigué : Coupe3)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,032	0,011	0,027	0,994
Cultivar	15	10,071	0,671	1,695	0,087
Résidus	45	17,824	0,396		
Total	63	27,927			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 1,067			

Tableau 15 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai irrigué : Coupe3)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,011	0,004	0,027	0,994
Cultivar	15	3,382	0,225	1,695	0,087
Résidus	45	5,985	0,133		
Total	63	9,378			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,619			

Tableau 16 : Anova de la hauteur de végétation (Essai irrigué : Coupe4).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	231,823	77,274	2,793	0,051
Cultivar	15	740,676	49,378	1,785	0,068
Résidus	45	1244,815	27,663		
Total	63	2217,314			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 10,473			

Tableau 17 : Anova recouvrement linéaire (Essai irrigué : Coupe4)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	45,172	15,057	0,054	0,983
Cultivar	15	10182,359	678,824	2,456	0,010
Résidus	45	12435,578	276,346		
Total	63	22663,109			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 33,963			

Tableau 18 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai irrigué : Coupe4)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	17,844	5,948	1,244	0,305
Cultivar	15	110,107	7,340	1,536	0,133
Résidus	45	215,112	4,780		
Total	63	343,062			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 3,799			

ANNEXES

Tableau 19 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai irrigué : Coupe4)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	1,000	0,333	0,911	0,443
Cultivar	15	8,005	0,534	1,459	0,162
Résidus	45	16,462	0,366		
Total	63	25,467			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 1,008			

Tableau 20 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai irrigué : Coupe4)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,348	0,116	0,911	0,443
Cultivar	15	2,783	0,186	1,459	0,162
Résidus	45	5,722	0,127		
Total	63	8,853			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,594			

Tableau 21 : Anova de la hauteur de végétation (Essai irrigué : Coupe5).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	118,164	39,388	3,286	0,029
Cultivar	15	331,481	22,099	1,844	0,058
Résidus	45	539,359	11,986		
Total	63	989,004			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 7,121			

Tableau 22 : Anova recouvrement linéaire (Essai irrigué : Coupe5)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	458,375	152,792	0,645	0,590
Cultivar	15	5710,250	380,683	1,607	0,110
Résidus	45	10663,125	236,958		
Total	63	16831,750			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 26,377			

Tableau 23 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai irrigué : Coupe5)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	3,708	1,236	1,316	0,281
Cultivar	15	36,004	2,400	2,555	0,008
Résidus	45	42,270	0,939		
Total	63	81,982			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 2,116			

Tableau 24 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai irrigué : Coupe5)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,253	0,084	0,651	0,587
Cultivar	15	4,855	0,324	2,494	0,009
Résidus	45	5,839	0,130		
Total	63	10,947			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,759			

ANNEXES

Tableau 25 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai irrigué : Coupe5)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,131	0,044	0,651	0,587
Cultivar	15	2,502	0,167	2,494	0,009
Résidus	45	3,010	0,067		
Total	63	5,642			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,545			

Tableau 26 : Anova de la hauteur de végétation (Essai irrigué : Coupe6).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	69,280	23,093	5,441	0,003
Cultivar	15	196,561	13,104	3,088	0,002
Résidus	45	190,984	4,244		
Total	63	456,825			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 5,476			

Tableau 27 : Anova recouvrement linéaire (Essai irrigué : Coupe6)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	882,422	294,141	1,542	0,217
Cultivar	15	5846,484	389,766	2,043	0,033
Résidus	45	8586,328	190,807		
Total	63	15315,234			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 27,548			

Tableau 28 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai irrigué : Coupe6)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	1,204	0,401	2,741	0,054
Cultivar	15	6,179	0,412	2,813	0,004
Résidus	45	6,590	0,146		
Total	63	13,973			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,913			

Tableau 29 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai irrigué : Coupe6)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,221	0,074	3,167	0,033
Cultivar	15	0,909	0,061	2,610	0,007
Résidus	45	1,045	0,023		
Total	63	2,175			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,357			

Tableau 30 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai irrigué : Coupe6)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,221	0,074	3,167	0,033
Cultivar	15	0,909	0,061	2,610	0,007
Résidus	45	1,045	0,023		
Total	63	2,175			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,357			

ANNEXES

Tableau 31 : Anova de la hauteur de végétation (Essai irrigué : saison printanière).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	19,557	6,519	0,793	0,504
Cultivar	15	464,600	30,973	3,768	0,000
Résidus	45	369,862	8,219		
Total	63	854,019			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 7,390			

Tableau 32 : Anova recouvrement linéaire (Essai irrigué : saison printanière)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	63,578	21,193	0,084	0,968
Cultivar	15	8714,359	580,957	2,310	0,015
Résidus	45	11316,422	251,476		
Total	63	20094,359			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 31,464			

Tableau 33: Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai irrigué : saison printanière)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	8,468	2,823	0,359	0,783
Cultivar	15	281,840	18,789	2,388	0,012
Résidus	45	354,108	7,869		
Total	63	644,415			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 5,722			

Tableau 34: Anova Rendement en matière sèche (RdtMS)(Essai irrigué: saison printanière)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,444	0,148	0,213	0,887
Cultivar	15	27,434	1,829	2,635	0,006
Résidus	45	31,237	0,694		
Total	63	59,116			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 1,773			

Tableau 35: Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai irrigué: saison printanière)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,043	0,014	0,213	0,887
Cultivar	15	2,649	0,177	2,635	0,006
Résidus	45	3,017	0,067		
Total	63	5,709			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,551			

Tableau 36 : Anova de la hauteur de végétation (Essai irrigué : saison estivale).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	78,165	26,055	2,703	0,057
Cultivar	15	293,892	19,593	2,033	0,034
Résidus	45	433,740	9,639		
Total	63	805,796			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 6,478			

ANNEXES

Tableau 37 : Anova recouvrement linéaire (Essai irrigué : saison estivale)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	200,181	66,727	0,316	0,813
Cultivar	15	6727,833	448,522	2,127	0,026
Résidus	45	9490,208	210,894		
Total	63	16418,222			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 27,953			

Tableau 38 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai irrigué : saison estivale)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	47,050	15,683	1,495	0,229
Cultivar	15	264,466	17,631	1,680	0,090
Résidus	45	472,214	10,494		
Total	63	783,730			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 5,927			

Tableau 39 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai irrigué : saison estivale)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	3,417	1,139	1,135	0,345
Cultivar	15	24,252	1,617	1,612	0,109
Résidus	45	45,139	1,003		
Total	63	72,807			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 1,767			

Tableau 40 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai irrigué : saison estivale)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,179	0,060	1,135	0,345
Cultivar	15	1,272	0,085	1,612	0,109
Résidus	45	2,367	0,053		
Total	63	3,818			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 0,405			

Tableau 41 : Anova de la hauteur de végétation (Essai irrigué).

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	65,295	21,765	3,733	0,018
Cultivar	15	322,342	21,489	3,685	0,000
Résidus	45	262,390	5,831		
Total	63	650,028			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 6,612			

Tableau 42 : Anova recouvrement linéaire (Essai irrigué)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	53,151	17,717	0,083	0,969
Cultivar	15	8016,326	534,422	2,509	0,009
Résidus	45	9586,079	213,024		
Total	63	17655,555			
F th. 5% = 0,457		LSD 5% = 30,168			

ANNEXES

Tableau 43 : Anova Rendement en matière fraîche (RdtMF) (Essai irrigué)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	29,970	9,990	0,261	0,853
Cultivar	15	1446,037	96,402	2,517	0,009
Résidus	45	1723,628	38,303		
Total	63	3199,634			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 12,902

Tableau 44 : Anova Rendement en matière sèche (RdtMS) (Essai irrigué)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	2,381	0,794	0,227	0,877
Cultivar	15	133,531	8,902	2,551	0,008
Résidus	45	157,049	3,490		
Total	63	292,960			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 3,915

Tableau 45 : Anova Efficience de l'utilisation de l'eau, EUE (Essai irrigué)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Bloc	3	0,025	0,008	0,227	0,877
Cultivar	15	1,396	0,093	2,551	0,008
Résidus	45	1,642	0,036		
Total	63	3,063			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 0,400

Tableau 46 : Anova de la sénescence (SEN), (Essai irrigué)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Blocs	3	798,630	266,210	10,831	< 0,0001
Cultivars	15	1376,290	91,753	3,733	0,000
Résidus	45	1106,064	24,579		
Total	63	3280,984			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 15,662

Tableau 47 : Anova du ratio (Essai irrigué : saison estivale)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Blocs	3	0,037	0,012	1,411	0,252
Cultivars	15	0,206	0,014	1,591	0,115
Résidus	45	0,389	0,009		
Total	63	0,632			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 0,166

Tableau 48 : Anova du TEOS (RdtMS) (Essai irrigué)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Blocs	3	48,591	16,197	2,106	0,113
Cultivars	15	165,854	11,057	1,438	0,171
Résidus	45	346,011	7,689		
Total	63	560,456			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 4,918

Tableau 49 : Anova du NPL (Essai irrigué)

Source	ddl	Somme des carrés	Carré moyen	F de Fisher	Pr > F
Blocs	3	0,511	0,170	0,186	0,905
Cultivars	15	20,760	1,384	1,510	0,142
Résidus	45	41,236	0,916		
Total	63	62,508			

F th. 5% = 0,457 LSD 5% = 1,549