

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba Benbouali de Chlef

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département Sciences Agronomiques et Biotechnologie



THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité : Sciences Agronomiques

Par

Djamal BELLAGUE

Thème :

EVALUATION DES PERFORMANCES DE QUELQUES CULTIVARS DE LUZERNE PERENNE DANS DES CONDITIONS DE SECHERESSE NATURELLE DANS LE BAS CHELIFF

Soutenue le 19/10/2017, devant le jury composé de :

Djamel SAIDI	Professeur	Université de Chlef	Président
Mahfoud M'HAMMEDI BOUZINA	Professeur	Université de Chlef	Rapporteur
Adda ABABOU	MCA	Université de Chlef	Examineur
Houcine Abdelhakim REGUIEG YSSAAD	Professeur	Université de Mostaganem	Examineur
Moulay BELKHODJA	Professeur	Université d'Oran 1	Examineur
Mohamed LAZALI	MCA	Université de Khemis-Miliana	Examineur
Abdelkader BOUTHIBA	Professeur	Université de Chlef	Invité

DEDICACES

Je dédie cette thèse

à ma MERE

à mon PERE

à mes FRERES et SOEURS

à ma FEMME

et à mes ENFANTS.

Remerciements

Mes gracieux remerciements s'adressent à DIEU, notre créateur tout puissant qui m'a donné la volonté, la patience et fourni l'énergie nécessaire pour mener à terme ce travail.

J'exprime mes plus vifs remerciements, ma reconnaissance toute particulière à l'égard de Monsieur **SAIDI Djamel**, Professeur à l'université Hassiba Ben Bouali de Chlef, pour avoir accepté de présider le jury.

Je tiens à exprimer ma grande considération et ma profonde reconnaissance à mon directeur de thèse Monsieur **M'HAMMEDI BOUZINA Mahfoud**, Professeur à l'université Hassiba Ben Bouali de Chlef. Je le remercie d'abord pour m'avoir fait confiance, en acceptant de m'encadrer et de me diriger, ensuite pour ses orientations judicieuses. Je tiens à le remercier pour sa grande patience et sa gentillesse. Merci bien Professeur, vous trouvez ici l'expression de ma gratitude et de mon profond respect.

Ma vive reconnaissance s'adresse également à Monsieur le Maître de conférences-A **ABABOU Adda**, à l'université Hassiba BenBouali de Chlef, pour m'avoir honoré, en acceptant d'examiner ce travail.

Qu'il me soit aussi permis de remercier sincèrement Monsieur **REGUIEG YSSAAD Houcine** et Monsieur **BELKHODJA Moulay**, Professeurs à l'université de Mostaganem et d'Oran 1, pour avoir bien voulu accepter de faire partie du jury.

Qu'il me soit aussi permis de remercier sincèrement Monsieur **LAZALI MOHAMED**, Maître de conférence-A à l'université de Khemis-Miliana, pour avoir bien voulu accepter de faire partie du jury.

Mes remerciements s'adressent également au personnel du corps des chercheurs et du personnel de soutien de la station expérimentale INRAA Hmadna pour l'aide précieuse et la sympathie qui m'ont été apportées pour la réalisation de ce travail.

Sans oublier de remercier spécialement Monsieur GACEMI Abdelhamid pour sa contribution précieuse. Merci cher frère.

RESUME

La sécheresse est l'un des stress abiotiques qui réduisent la production agricole dans le bassin méditerranéen. Le choix et la sélection des variétés de cultures performantes qui s'adaptent aux conditions de stress hydrique ont fait l'objet de nombreuses études. Dans ce contexte, seize cultivars de luzerne pérenne de différentes origines (Algérie, Australie, France, Italie, Maroc, Tunisie et USA) sont testés sous deux régimes hydriques (irrigué et pluvial) dans la plaine du Bas-Cheliff en Algérie. Les tests portent d'un côté sur le comportement interannuel et intra-annuel du matériel végétal, et d'un autre côté sur la mesure des performances des cultivars par des indices de tolérance à la sécheresse.

Les résultats obtenus lors de cette étude montrent une variabilité intra-annuelle et interannuelle du comportement des cultivars, ainsi qu'entre les modes de conduite. Il est apparent que les paramètres étudiés sont fonction du cultivar (origine et caractéristiques), de l'âge (année de production), du régime hydrique (pluvial et irrigué) et des conditions climatiques (pluie et évapotranspiration). Il semble que les cultivars Ameristand 801S d'origine des USA, Ecotipo siciliano et Mumantanas originaires de l'Italie et Erfoud1 originaire du Maroc, se sont bien adaptés au climat du Bas-Cheliff. Par contre, les cultivars des oasis (Tamantit et Africaine) et Prosementi d'origine d'Italie sont mal acclimatés. Les rendements maximaux de 8.34 t ha⁻¹ et 13.35 t ha⁻¹, sont atteints respectivement par le cultivar Mamuntanas en 3^{ème} année pluvial et par le cultivar Ameristand801S en 2^{ème} année irrigué.

L'analyse factorielle discriminante de l'ensemble des paramètres mesurés sur les deux essais, confirme l'existence d'une discrimination interannuelle. En effet, sur chacun des trois groupes homogènes formés, les individus correspondants sont ceux d'une année bien distincte.

L'étude des performances des cultivars testés sur les deux dernières années de production, par l'intégration de l'indice de tolérance à la sécheresse (STI), de la méthode de Fernandez (1992) et de l'analyse factorielle discriminante (AFD), confirme la rentabilité et l'adaptabilité à la sécheresse de Mamuntanas, Ameristand 801S, Ecotipo siciliano et Erfoud1.

L'utilisation combinée des indices de tolérance à la sécheresse, l'analyse factorielle discriminante, la pérennité et l'ANOVA des rendements cumulés des deux dernières années de production, confirment la performance des cultivars Ameristand 801S, Ecotipo siciliano et Mumantanas en régime irrigué et le cultivar Erfoud 1 en régime pluvial.

Mots clés: Bas-Cheliff, *Medicago sativa*, indices de sécheresse, comportement, performance

ABSTRACT

Drought is one of the abiotic stresses which reduce agricultural production in the Mediterranean basin. The choice and selection of varieties performing crops that adapt to water stress was the subject of numerous studies. In this context, sixteen alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars from different origins (Algeria, Australia, France, Italy, Morocco, Tunisia and USA) were studied under two water regimes (irrigated and rainfed) in the Lower-Cheliff plain in Algeria. On the one hand, the tests examine the inter-annual and intra-annual behavior of the plant material over 4 years of experimentation. On the other hand, the performance of the cultivars is measured through eight drought tolerance indices over the last two years of experimentation.

The results obtained in this study show an intra-annual and inter-annual variability of the behavior of cultivars and between the conduct's modes. It is apparent that the parameters studied are a function of cultivar (origin and characteristics), age (year of production), water regime (rainfed and irrigated) and climatic conditions (rain and evapotranspiration). It seems that the original American cultivars Ameristand 801S, Ecotipo Siciliano and Mumantanas from Italy and Erfoud1 from Morocco, have adapted well to the climate of Lower-Cheliff. By contrast, cultivars oases (Tamantit and Africa) and Prosementi from Italy are badly acclimated. The maximum yields of 8.34 t ha⁻¹ and 13.35 t ha⁻¹ are attained respectively by the Mamuntanas cultivar in 3rd rainfed year and by the Ameristand 801S cultivar in the 2nd irrigated year.

The FDA with all the parameters measured on the two tests confirms the existence of inter-annual discrimination. Indeed, on each of the three homogeneous groups formed, the corresponding individuals are those of a distinct year.

The performances study of the cultivars tested over the last two years of production, by the integration of the drought tolerance index (STI), the Fernandez method (1992) and the FDA, confirms the profitability and adaptability to the drought of Mamuntanas, Ameristand 801S, Ecotipo Siciliano and Erfoud1.

The combined use of drought tolerance indices, discrimination factor analysis, durability and ANOVA of the cumulative yields of the last two years of production, confirm the performance of the cultivars Ameristand 801S, Ecotipo Siciliano and Mumantanas under irrigated regime, and the Erfoud 1 cultivar under rainfed conditions.

Key words: Lower-Cheliff, *Medicago sativa*, drought indices, behavior, performance

ملخص

الجفاف هو أحد العوائق الغير حيوية التي تقلل من الإنتاج الزراعي. إن اختيار و انتقاء أصناف المزروعات الفعالة التي تتلاءم مع عوامل شح المياه، في هذا السياق تمت عدة دراسات. في هذا الإطار تم تجريب ستة عشر صنف من الفصاة مختلفة المنشأ (الجزائر، أستراليا، فرنسا، إيطاليا، المغرب، تونس و الولايات الأمريكية المتحدة) تحت نظامين للسقي (سقي و ماطر) في سهل شلف الأسفل بالجزائر. من ناحية تم اختبار سلوك الأصناف خلال السنوات و خلال السنة. من جهة أخرى قياس فعالية الأصناف بواسطة مؤشرات تحمل الجفاف. النتائج المحصل عليها تبين تغيرات ما بين السنوات و خلال السنة الواحدة لسلوك الأصناف الذي له علاقة خاصة بميزات هذا الموروث النباتي، نظام الري المطبق، ظروف المناخ و سنة المحصول.

النتائج المحصل عليها خلال هذه الدراسة، تبين تغير سلوك الأصناف خلال السنة الواحدة و بين السنوات و أيضا بين أنماط التسيير. من الواضح أن العوامل التي تمت دراستها هم بدلالة الصنف (الأصل والخصائص)، والعمر (سنة الإنتاج)، ونظام الري (ماطر و سقي) والظروف المناخية (المطر، التبخروالنتح). يبدو أن الأصناف Ameristand 801S الأمريكي الأصل، و Ecotipo siciliano و Mumantanas الإيطالي الأصل أيضا Erfoud1 المغربي الأصل، قد تكيفت بشكل جيد مع مناخ سهل الشلف الأسفل. بالعكس إن أصناف الواحات (Tamantit et Africaine) و Prosementi إيطالية الأصل تأقلمت بشكل سيئ.

المحاصيل القصوى 8.34 طن في الهكتار و 13.35 طن في الهكتار، بلغت على التوالي من قبل صنف Mamuntanas في السنة الثالثة (ماطر) و صنف Ameristand 801S في السنة الثانية (سقي). التحليل العاملي التمييزي (AFD) لجميع العوامل المقاسة في الاختبارين الاثنين يؤكد وجود تمييز بين السنوات. بالفعل في كل المجموعات المتجانسة الثلاثة المتشكلة، الأفراد المتكونة تمثل كل سنة على حدا. إن دراسة فعالية الأصناف التي تم اختبارها خلال العامين الأخيرين من الإنتاج، من خلال دمج مؤشر تحمل الجفاف (STI)، وطريقة Fernandez (1992)، والتحليل العاملي التمييزي، يؤكد الربحية والقدرة على التكيف مع الجفاف لأصناف Mamuntanas، Ecotipo siciliano و Ameristand 801S و Erfoud1.

إن الاستخدام المشترك لمؤشرات تحمل الجفاف، والتحليل العاملي التمييزي، والاستدامة، وتحليل التباين الأحادي (ANOVA) للمحاصيل التراكمية للسنتين الأخيرتين من الإنتاج، يؤكد فعالية الأصناف Ameristand801S و Ecotipo siciliano و Mamuntanas تحت نظام السقي و صنف Erfoud1 تحت نظام الماطر.

كلمات المفتاح : الشلف الأسفل، الفصاة، مؤشرات الجفاف، سلوك، فعالية

N°	Liste des figures	Page
1	Localisation de la zone d'étude	4
2	Evolution mensuelle de la pluie et ETo (période 1993/94-2005/06)	5
3	Courbe Ombrothermique de Bagnouls et Gaussens (période 1993/94-2005/06)	6
4	Les principales ressources en eau superficielle	8
5	Carte de la qualité des eaux de la plaine du bas Cheliff (2005)	8
6	Principaux aquifères du Bas-Cheliff	9
7	Les périmètres irrigués de la plaine du Bas Chélif	10
8	Les classes d'occupation du sol dans la wilaya de Relizane	11
9	Carte d'occupation du sol de la plaine du Bas-Chélif	12
10	Morphologie de la luzerne <i>Medicago sativa</i> L	13
11	Culture de la luzerne dans le monde	15
12	Evolution de la superficie et du rendement de la luzerne	16
13	Répartition de la luzerne cultivée dans la wilaya de Relizane	17
14	Localisation du site expérimental (Station de recherche INRAA, Relizane)	27
15	Température et pluie mensuelles des 4 années d'expérimentation	28
16	Déficit pluviométrique mensuel les quatre campagnes agricoles	28
17	Localisation des postes pluviométriques (Bas-Cheliff)	30
18	Dispositif expérimental	36
19	Droite d'étalonnage de la sonde à neutron CPN503	38
20	Variation annuelle des pluies par poste pluviométrique	44
21	Répartition des pluies selon la méthode de nombre des écarts types	45
22	Les fréquences de la sécheresse (méthode du nombre d'écart type, 1973-2010)	46
23	Evolution du SPI de la région d'étude pour la période 1973-2010	47
24	Les fréquences de la sécheresse (méthode SPI, 1973-2010)	48
25	La sécheresse selon SPI et RDI (saisonnier et annuel, 1985-2010)	49
26	SPI et du RDI de la station INRAA-Hmadna (PV012803, 1985-2010)	50
27	Evolution du rendement des cultivars (pluvial, 4 années)	53
28	Evolution du rendement des cultivars (irrigué, 4 années)	54
29	Evolution temporelle de la densité de plants en pluvial	57
30	Evolution temporelle de la densité de plants en irrigué	57
31	Le taux de régression (Treg) des cultivars en irrigué et pluvial	58
32	Répartition des cultivars en classes de recouvrement (pluvial et irrigué)	60
33	Evolution de l'efficacité d'utilisation de l'eau des cultivars en pluvial	61

34	Evolution de l'efficience d'utilisation de l'eau des cultivars en irrigué	61
35	Evolution interannuelle du rendement (pluvial et irrigué)	64
36	Evolution interannuelle de la densité de plants (pluvial et irrigué)	66
37	Evolution interannuelle du recouvrement linéaire (pluvial et irrigué)	67
38	Evolution interannuelle de l'EUE (pluvial et irrigué)	68
39	Classification ascendante hiérarchisée des cultivars de luzerne	69
40	Plan F1-F2 de l'analyse factorielle discriminante	70
41	Représentation tridimensionnelle des cultivars (3 ^{ème} année de production)	79
42	Représentation tridimensionnelle des cultivars (4 ^{ème} année de production)	80
43	Plan F1-F2 de l'analyse factorielle discriminante (3 ^{ème} année)	81
44	Plan F1-F2 de l'analyse factorielle discriminante (4 ^{ème} année)	82
45	Classification hiérarchisée ascendante des cultivars (3 ^{ème} année)	82
46	Classification hiérarchisée ascendante des cultivars (4 ^{ème} année)	83

N°	Liste des tableaux	Page
1	Les étages bioclimatiques en fonction de la pluie	5
2	Station de mesure de la qualité de l'eau du Bas Cheliff	7
3	Caractéristiques des postes pluviométriques retenus	31
4	Classification climatique par la méthode du nombre d'écart type	32
5	Catégorie de sécheresse selon McKee et al. (1993)	34
6	Caractéristiques des cultivars du projet PERMED	35
7	Composition chimique moyenne de l'eau d'irrigation	37
8	Formules de calcul des indices de tolérance à la sécheresse	41
9	Caractéristiques statistiques des postes pluviométriques (1973-2010)	43
10	Fréquences des années sèches et humides selon la méthode d'écart type	45
11	Rendement de matière sèche des cultivars (4 année, pluvial et irrigué)	52
12	Densité de plants des cultivars (4 années, pluvial et irrigué)	56
13	Le recouvrement linéaire des cultivars (4 années, pluvial et irrigué)	59
14	L'efficacité d'utilisation de l'eau des cultivars (3 années, pluvial et irrigué)	62
15	Analyse de la variance inter-annuelle et statistiques descriptives	63
16	Résultats des fonctions discriminantes	70
17	Distance de Mahalanobis	71
18	Valeurs moyennes des paramètres pour chaque groupe homogène	71
19	Rendements moyens et indices de résistance/ tolérance des cultivars de luzerne (pluvial et irrigué) en 3 ^{ème} année de production	75
20	Rendements moyens et indices de résistance/ tolérance des cultivars de luzerne (pluvial et irrigué) en 4 ^{ème} année de production	76
21	Matrice de corrélation (Yp, Ys, EUE et les indices)	78
22	Test du Lambda de Wilks (approximation de Rao)	81
23	Résultats des fonctions discriminantes	83
24	Distance de Mahalanobis	84
25	Discrimination des groupes homogènes d'une AFD après validation croisée	84
26	Caractéristiques moyennes des groupes de l'AFD après validation croisée	85

Liste des annexes

Annexe 1. La sonde à neutron CPN503

Annexe 2. Le projet PERMED

Annexe 3. Analyse de la variance interannuelle de la pluie (période 1973-2010)

Annexe 4. Analyse de la variance inter-poste pluviométrique (8 PV, période 1973-2010)

Annexe 5. Paramètres de la méthode d'écart type

Annexe 6. Appréciation de l'indice du nombre d'écart type (8 PV, période 1973-2010)

Annexe 7. Ajustement des séries pluviométriques à la lois Gamma/Normal

Annexe 8. Appréciation de la sécheresse selon le SPI et le RDI du poste PV012803 (Station de recherche-INRAA-Hmadna, période 1985-2010)

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : Etude du milieu physique (la plaine du Bas-Cheliff)	4
I.1. Situation géographique de la zone d'étude	4
I. 2. Caractéristiques climatiques de la région	4
I.3. Ressources et qualité des eaux	6
I. 4. Caractéristiques du sol	11
I. 5. Occupation du sol	11
CHAPITRE II. Aperçu bibliographique (la luzerne pérenne : <i>Medicago sativa L.</i>)	13
II.1. La luzerne cultivée	13
II.1.1. Description et classification	13
II.1.2. Origine et répartition géographique	14
II.1.3. La luzerne en Algérie	15
II.1.4. Intérêt de la luzerne	17
II.1.5. Exigences de la luzerne	18
II.1.6. Principaux critères de choix de la luzerne	19
II.2. La pérennité	20
II.2.1. La dormance	20
II.2.2. Le stress	20
II.2.2.1. Stress hydrique	20
II.2.2.2. Stress salin	24
II.2.2.3. Stress hydro-salin	24
II.2.2.4. Stress thermique	25
II.2.2.5. Effet de l'âge sur la production	25
II.3. Efficience de l'utilisation de l'eau	25
II.3.1. Définition	25
II.3.2. Méthode d'amélioration de l'efficience de l'utilisation de l'eau	25
II.3.3. Estimation de la consommation en eau	26
CHAPITRE III. Matériels et méthodes	27
III.1. Site expérimental et conditions pédo-climatiques	27
III.2. Les pluies	29
III.2.1. Données, homogénéisation et comblement des lacunes	29
III.2.2. Méthodes de calcul de l'indice de sécheresse météorologique	31

III.3. Matériel végétal et dispositif expérimental	34
III.4. Etude du comportement de la luzerne	37
III.4.1. Rendement et efficacité d'utilisation de l'eau	37
III.4.2. Densité de plants et pérennité	39
III.4.3. Le recouvrement linéaire	39
III.5. Mesure des performances de la luzerne	39
III.6. Analyses statistiques	42
CHAPITRE IV. Résultats et discussion	43
IV.1. Caractérisation de la sécheresse	43
IV.1.1. Traitement des pluies annuelles (1973-2010)	43
IV.1.2. Méthode du nombre d'écart type (1973-2010)	44
IV.1.3. Indice de précipitation standardisée (SPI, 1973-2010)	46
IV.1.4. Indice SPI et RDI (période 1985-2010)	48
IV.1.5. Conclusion	50
IV.2. Etude du comportement de la luzerne	51
IV.2.1. Analyse de la variance	51
IV.2.1.1. Analyse de la variance simple	51
IV.2.1.1.1. Rendement en matière sèche ($t\ ha^{-1}$)	51
IV.2.1.1.2. Densité de plants ($Plt\ m^{-2}$)	55
IV.2.1.1.3. Le recouvrement linéaire (%)	58
IV.2.1.1.4. L'efficacité d'utilisation de l'eau ($Kg\ m^{-3}$)	60
IV.2.1.2. Analyse de variance à mesures répétées	62
IV.2.1.2.1. Rendement en matière sèche	62
IV.2.1.2.2. Densité de plants	65
IV.2.1.2.3. Recouvrement linéaire	66
IV.2.1.2.4. Efficacité d'utilisation de l'eau	67
IV.2.2. Etude de l'analyse factorielle discriminante	68
IV.2.2.1. Classification ascendante hiérarchisée (CAH)	68
IV.2.2.2. Analyse factorielle discriminante	69
IV.2.3. Conclusion	71
IV.3. Evaluation des performances de la luzerne pérenne	73
IV.3.1. Comparaison des cultivars en fonction des indices de tolérance	73
IV.3.2. Analyse des corrélations	77
IV.3.3. Représentation de la dispersion tridimensionnelle et analyse des groupes	77

IV.3.4. Analyse factorielle	80
IV.3.5. Conclusion	86
CONCLUSION GENERALE	87
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	89
ANNEXES	102

INTRODUCTION GENERALE

Le climat au Maghreb a connu un changement brutal qui a coïncidé avec la fameuse sécheresse du Sahel des années 70 (Tabet Aoul, 2008). En Algérie, ce changement est caractérisé par l'apparition de phénomènes extrêmes allant des inondations en région Centre et Est aux sécheresses plus ou moins sévères en région Ouest (Hassini et al., 2015). Ce climat, en particulier l'évènement extrême de la sécheresse est un élément déterminant qui touche les productions agricoles et au premier rang la production fourragère (Itier et Seguin, 2007).

Donc, la sécheresse est une partie normale du climat et peut se produire sous n'importe quel régime climatique dans le monde (OMM, 2016). Mais, le terme général de sécheresse recouvre des notions différentes (Amigues et al., 2006), elle n'a pas de définition universelle (OSS, 2009). Elle se distingue des autres phénomènes naturels par l'absence d'une définition précise et incontestée (OMM, 2006). La majorité des définitions publiées avance que la sécheresse est toujours liée à un déficit de la pluviométrie. Toutefois, on parle d'aridité lorsque ce déficit est systématique.

Au niveau d'un bassin versant, une sécheresse météorologique persistante, caractérisée par une réduction-absence et/ou mauvaise répartition de la pluviométrie (Bootsma et al., 1996), se manifeste en sécheresse hydrologique par la réduction des ressources en eau superficielle et souterraine. Par conséquent, la disponibilité en eau (irrigation et réserve hydrique du sol) pour la culture est réduite et les rendements régressent, c'est la sécheresse agricole.

Selon l'époque d'apparition de la sécheresse hydro-agricole (hydrologique et agricole) par rapport au cycle cultural, on distingue : la sécheresse automnale liée à un retour retardé des pluies; la sécheresse automnale-hivernale liée à un déficit pluviométrique (P-ETP) marqué; la sécheresse printanière souvent irrégulière et la sécheresse estivale habituelle dans les régions arides et semi arides. Souvent les sécheresses exceptionnelles sont à l'origine de la conjonction d'une sécheresse hivernale et/ou printanière (Amigues et al., 2006). Par conséquent l'étude de la sécheresse repose sur l'étude du couple pluie-évapotranspiration (annuel et saisonner) à travers des indices de sécheresse météorologique. Citons à titre non exhaustif, l'indice de précipitation standardisé (SPI) et l'indice de reconnaissance de sécheresse (RDI).

La sécheresse est considérée comme la principale cause qui conduit à une chute importante des rendements (Abdelkefi et Marrakchi, 2000); et en pénurie d'eau, le secteur urbain est favorisé par rapport au secteur agricole, ainsi les cultures à fort besoin en eau comme la luzerne, se trouvent concurrencées (Bouazzama et al., 2015).

Pour faire face ou se protéger de la sécheresse, les agriculteurs pensent immédiatement à l'irrigation. Mais actuellement, l'économie de l'eau s'impose, tout en valorisant le mètre cube utilisé. En agriculture, le choix et la sélection des variétés de cultures performantes qui s'adaptent aux conditions de sécheresse a fait l'objet de nombreuses études.

La luzerne est reconnue comme une très ancienne plante cultivée pour sa production fourragère (Michaud et al., 1988). Elle est considérée comme étant l'une des plantes fourragères les plus répandues dans le monde et sa culture remontrient à plus de 9000 ans (Mauriès, 1994). Chaabena et al. 2006, avancent qu'elle est l'espèce fourragère la plus utilisée dans les régions sahariennes surtout à Ouargla et Oued Righ.

La luzerne (*Medicago sativa* L.), espèce fourragère pérenne très productive, dotée d'un enracinement profond, est considérée comme une espèce adaptée à la sécheresse (Lemaire, 2006). Elle améliore la fertilité en azote du sol (Latrach et al., 2014), protège les sols vulnérables à l'érosion éolienne et hydrique (Abdelguerfi et Abdelguerfi-Laouar, 2002 ; Afsharmanesh, 2009) et peut améliorer la durabilité des systèmes culture-élevage dans le bassin méditerranéen (Annicchiarico et al., 2011).

La production de biomasse chez la luzerne est proportionnelle à la consommation en eau. Cette relation varie avec le climat (Jefferson et Cutforth, 1997), les caractéristiques variétales (Myer et al., 1991) et l'année de production (Mauriès, 1994).

Pour la sélection de cultivars de plus en plus performants, certains chercheurs utilisent les conditions favorables (Betran et al., 2003), d'autres des conditions de stress (Mohammadi et al., 2011). Un troisième groupe considère que le test dans des conditions de stress et non stress, est le point de départ pour l'identification des cultivars souhaités face à une sécheresse imprévisible (Sio-Se Mardeh et al., 2006; Nouri et al., 2011).

La sensibilité à la sécheresse est souvent mesurée en fonction de la diminution des rendements dans des conditions de stress (Blum, 1988). La quantification du degré de tolérance et/ou résistance des cultures à la contrainte sécheresse, passe par plusieurs

indices. Rosielle et Hamblin (1981), calculent l'indice de tolérance (TOL) qui représente la différence du rendement sous stress et non stress en faisant intervenir la production moyenne (MP). L'indice de tolérance à la sécheresse (STI) et la production moyenne géométrique (GMP) sont proposés par Fernandez (1992). En 2002, Farshadfar et Sutka, offrent l'indice de tolérance à la sécheresse modifié (MSTI) qui est le (STI) multiplié par un coefficient de correction (Ki) pour les conditions de stress et non stress. Clarke et al. (1992), proposent un indice de supériorité (Pi). Moosavi et al. (2008), élaborent l'indice de tolérance abiotique (ATI).

L'objectif de ce travail est d'étudier, le comportement annuel et interannuel de 16 cultivars de luzerne pérenne issus de plusieurs origines, sur deux essais sous le climat du Bas-Cheliff sur quatre années d'expérimentation, un conduit en pluvial et l'autre en irrigué (à l'évapotranspiration maximale). Les paramètres: rendement en matière sèche, recouvrement linéaire, densité de plants et l'efficacité de l'utilisation de l'eau seront analysés. Nous évaluerons les performances via quelques indices de sécheresse. La caractérisation de la sécheresse météorologique dans le Bas-Cheliff sera faite sur une série de pluviométrie de plus de 25 ans.

Le présent travail est composé de quatre chapitres :

- Chapitre I : Etude du milieu physique comportera les conditions climatiques, ressources en eau, sol et végétales de la région d'étude du Bas-Cheliff.
- Chapitre II/ Aperçu bibliographique aperçu sur la culture de la luzerne pérenne, situation dans le monde, en Algérie et dans le Bas-Cheliff.
- Chapitre III. Le matériel et méthode, la pluviométrie pour la caractérisation de la sécheresse et les cultivars de luzerne pérenne pour les essais.
- Chapitre IV : Résultats et discussions

CHAPITRE I

Etude du milieu physique (la plaine du Bas-Cheliff)

I.1. Situation géographique de la zone d'étude

La station expérimentale INRAA Hmadna occupe une superficie de 77 ha et fait partie de la zone du Bas-Cheliff d'une superficie de 2750 km² située au Nord-Ouest de l'Algérie. C'est la partie ouest du grand bassin hydrographique Cheliff-Zahrez. Le Bas-Cheliff est composé de quatre sous bassin versants (Ouarizane, Oued Rhiau, Jdiouia et Tarhia). Il tire son nom de l'oued principal qui le traverse de l'est à l'ouest. Ses coordonnées sont 0°40'0" et 1°6'8" de longitude Est et 34°3'12" et 36°5'57" de latitude Nord. Il est limité par le périmètre du moyen Chéllif à l'Est, le périmètre de la mina à l'Ouest, les monts du Dahra au Nord et les monts de l'Ouarsenis au sud (Figure 1)

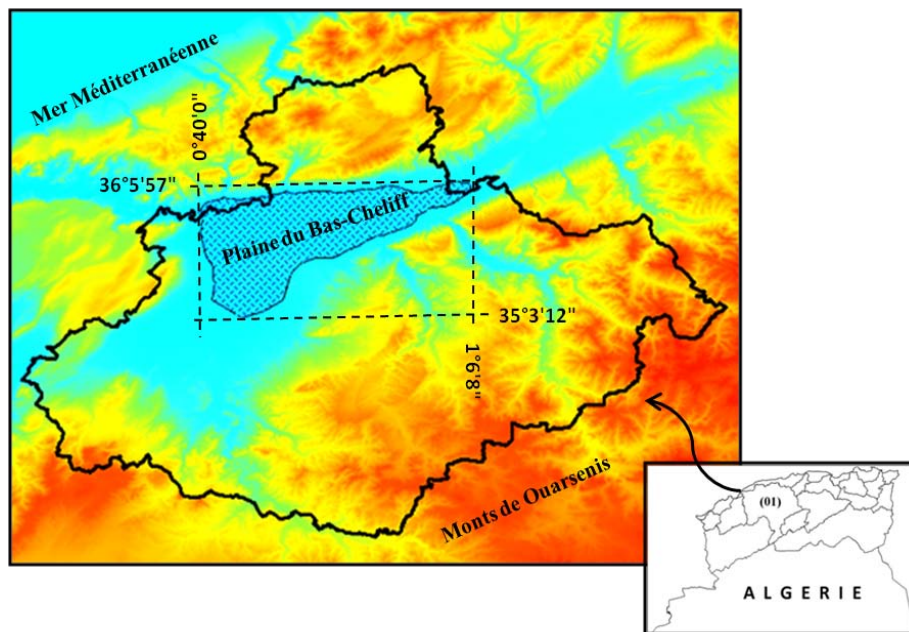


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

I.2. Caractéristiques climatiques de la région

La plaine du Bas-Cheliff est caractérisée par un climat spécial, rude et contrasté, célèbre en Algérie, cité comme une curiosité météorologique (Seltzer, 1946), qualifié par « le four du tell » ou encore par « une portion du Sahara égarée dans le tell » (Yacono, 1955 ; Boulaine, 1957).

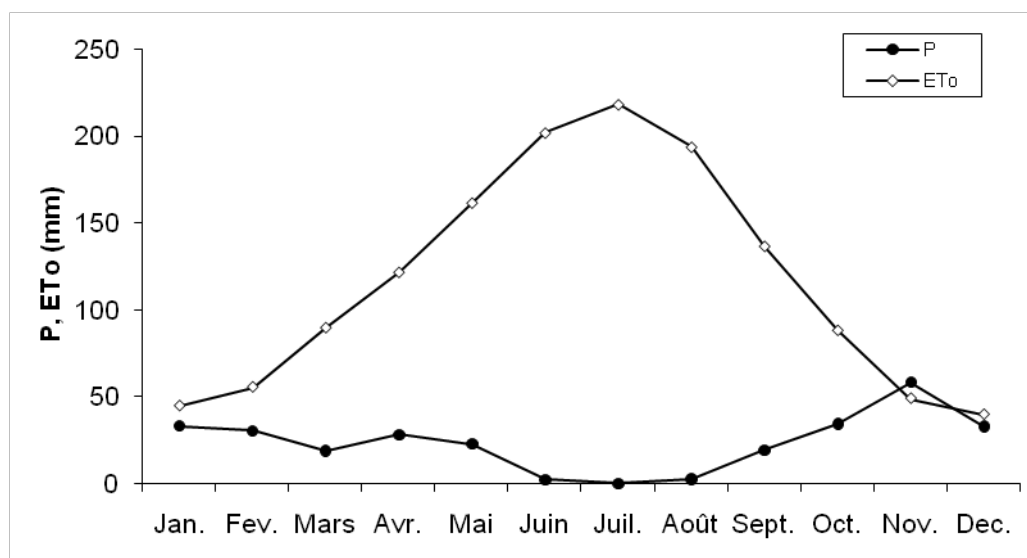
D'après la classification de Koppen fondée sur les précipitations et les températures, le climat de notre zone d'étude est du type méditerranéen (Code: Csa), chaud tempéré à été sec et chaud (Climate-data.org, 2016).

Selon la classification de Le Houerou et al. (1977) du bioclimat en fonction de la pluie (tableau 1), la zone du Bas-Cheliff bascule entre l'étage bioclimatique aride (supérieur, moyen et inférieur) et semi aride.

Tableau 1. Les étages bioclimatiques en fonction de la pluie

Pluie (mm)	Etages bioclimatiques méditerranéens	
600-800	Subhumide	
400-600	Semi-aride	
300-400	Aride	Supérieur
200-300		Moyen
100-200		Inférieur
<100	Saharien	

L'étude des données climatiques des 13 campagnes agricoles (1993/94 à 2005/2006) de la station expérimentale de l'INRAA-Hmadna considérée comme représentative du Bas-Cheliff, révèle une température maximale absolue de 48.70 °C et une température minimale absolue de -4 °C. La pluie moyenne annuelle de 282.19mm est confrontée à une évapotranspiration qui dépasse les 1200 mm (Figure 2). En général, les vents moyens mensuels varient entre 1.20 ms⁻¹ et 2.15 ms⁻¹, la durée d'insolation varie de 3.32 à 9.01 heures et l'humidité relative moyenne de l'air fluctue entre 59.15% et 75.39% (Bellague, 2011).

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

La courbe ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) pour la même période, fait apparaître une période sèche d'environ 8 mois. Elle débute de la fin février jusqu'à la fin octobre (Figure 3).

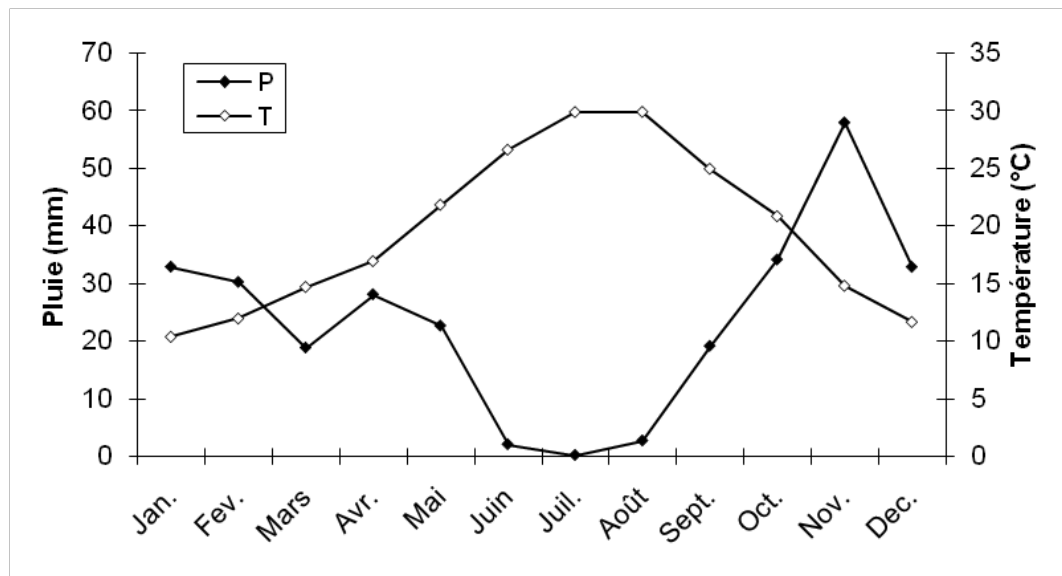


Figure 3. Courbe ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (période 1993/94-2005/06)

I.3. Ressources et qualité des eaux

I.3.1. Ressources en eau superficielle

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 (Figure 4). Les composantes du réseau hydrographique qui alimente le bassin sont (McDonald et al., 1990b):

* **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 Khettab à la confluence de Oued Mina et Oued Cheliff et se termine dans la mer par le coté est de Mostaganem.

L'analyse qualitative des eaux de la station hydrométrique de Boukadir sur la période 1969-78, révèle une salinité variant entre 1.1 g l^{-1} (1.50 dS m^{-1}) en hiver et 1.4 g l^{-1} (1.91 dS m^{-1}) 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. La salinité de l'eau dans cet oued varie entre 0.5 g l^{-1} environ pour les débits les plus forts et 2 g l^{-1} pour les débits d'étiage.

* **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^{-1} (1.70 dS m^{-1}) en hiver et de 2.31 g l^{-1} (3.15 dS m^{-1}) en été.

* **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 Razzaz et Oued Tarhia.

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 analyses de son eau en 1990, donnent un pH de 8.31 et une conductivité électrique de 1.94 dS m⁻¹.

* **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. Il présente une eau avec une conductivité électrique de 1.73 dS m⁻¹.

* **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.

En plus de l'étude qualitative des eaux pour irrigation, une autre étude est réalisée par Kadouri et al. (2005) en vue de les utiliser dans le secteur de l'alimentation en eau potable (AEP). Dans ce but, un échantillonnage d'eau réalisé par l'agence national des ressources hydrique (ANRH) au court de la campagne 2003 au niveau des stations de qualité existantes, a fait l'objet de quelques analyses biochimiques entre autre DBO5 et azote (Tableau 2).

Tableau 2. Stations de mesure de la qualité de l'eau du Bas Cheliff

Code station	Sous Bassin Versant	Classe
01.24.10	Merdjat Sidi Abed	Polluée
01.26.01	Oued Rhiou	Polluée
01.28.06	Tarhia	Très polluée

La carte (Figure 5) dressée par Kadouri et al., 2005, nous montre les tronçons des oueds et accumulation contaminées par les types de pollution. Les eaux du barrage Gargar et Merdjat Sidi Abed, sont polluées par l'azote et le phosphore. Les eaux d'Oued Rhiou et Oued Chlef (tronçon Boukadir-jonction oued Tarhia) sont très polluées et son utilisation pour l'alimentation en eau potable (AEP) nécessite un traitement très poussé.

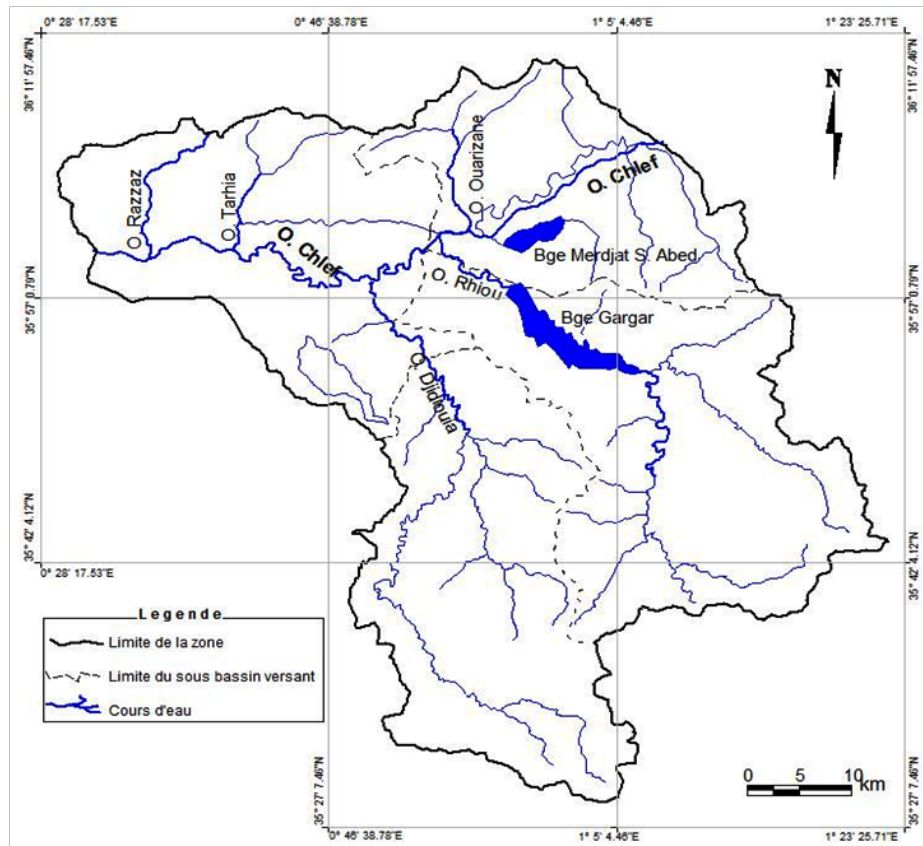


Figure 4. Les principales ressources en eau superficielle

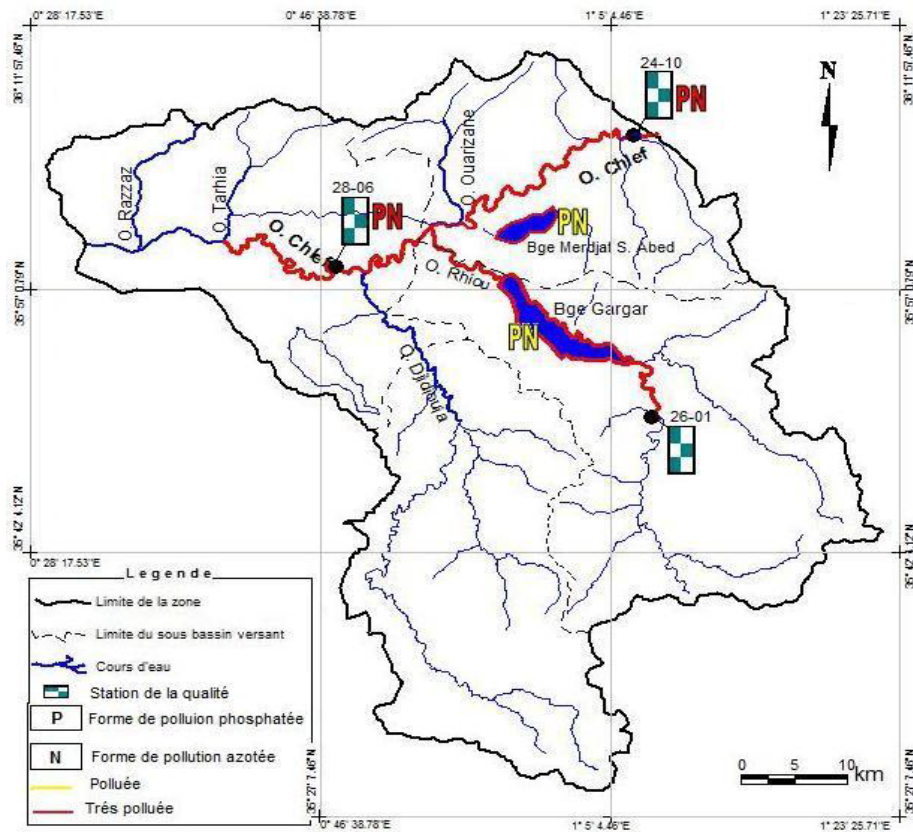


Figure 5. Carte de la qualité des eaux de la plaine du bas Cheliff (2005)

I.3.2. Ressources en eau souterraine

D'après McDonald et al. (1990b) dans la plaine du Bas-Cheliff, les ressources en eaux souterraines sont situées dans trois aquifères (Figure 6):

***L'aquifère continental du Quaternaire-Pliocène :** caractérisé par un débit compris dans la fourchette $0.5-42 \text{ l s}^{-1}$ et une moyenne de 14.2 l s^{-1} . La profondeur de ses forages est très variable selon les régions où elle est de 12.2 m au niveau de Jdiouia et peut atteindre les 193m au niveau de Mazouna. Généralement la nappe dont l'épaisseur dépasse 100 m, est une eau potable. Par contre la nappe dont l'épaisseur ne dépasse pas 50 m, est saline.

***L'aquifère marin du Pliocène :** La nappe est d'une épaisseur ne dépassant pas 43m. Les eaux de cette nappe sont qualifiées de salées. La profondeur de la nappe varie de 55m au niveau de la région Ouarizane et plus de 400m au niveau de la région de Sebkheth Benziane.

***L'aquifère de l'intérieur du Miocène calcaire:** situé tout le long de la limite sud de la plaine, productifs à une profondeur comprise entre 37 et 60 m.

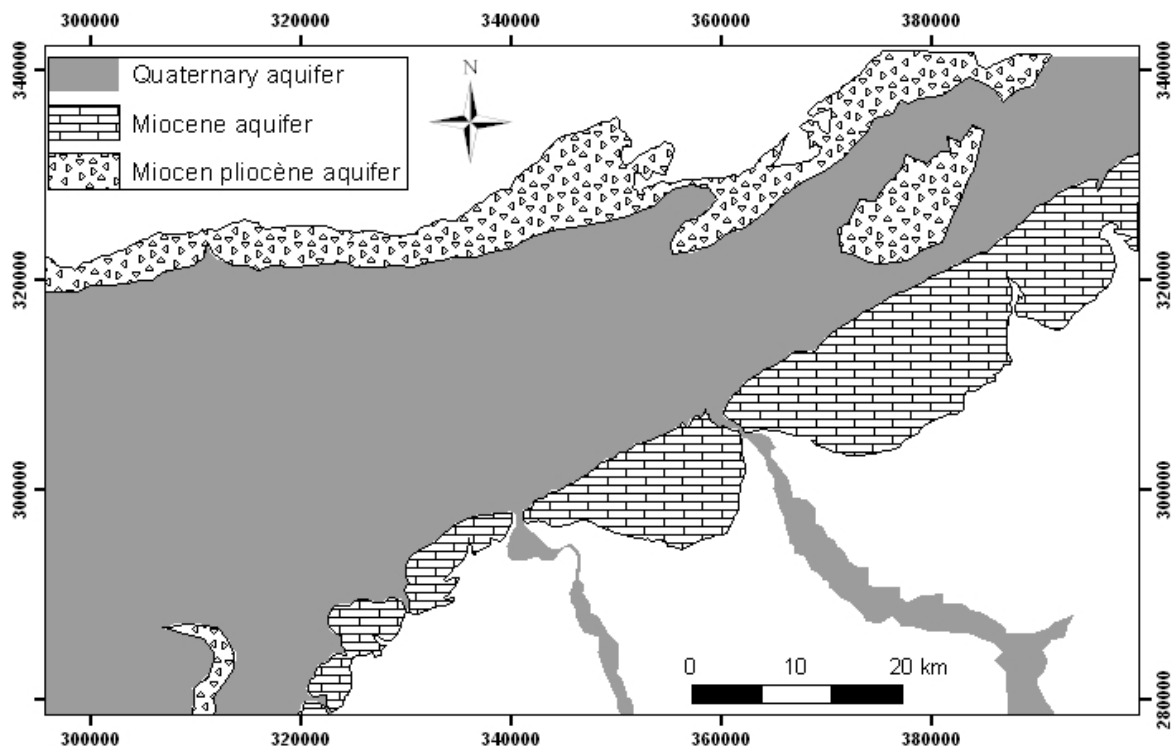


Figure 6. Principaux aquifères du Bas-Cheliff (Bradai et al., 2012)

D'après (McDonald et al., 1990b), les ressources en eaux souterraines dans le Bas Cheliff ne sont pas bien quantifiées. Durant les années 90, les eaux souterraines sont utilisées pour satisfaire les besoins en eau potable, domestique et industrielle et sont parfois exploitées pour

l'irrigation. Mais, Actuellement, malgré leurs qualités médiocres, elles sont utilisées pour l'irrigation. En effet, l'analyse qualitative de 56 échantillons d'eau souterraine utilisée pour l'irrigation dans la plaine du Bas-Cheliff pour la période de juillet 2006, à travers quelques paramètres entre autres: la salinité (exprimée par la conductivité électrique CE) et le taux de sodium adsorbé (SAR), révèle une CE moyenne de 3.55 dS m^{-1} et un SAR moyen de 8.69, ce qui indique une salinité très forte, à faible danger de sodisation (Bradai et al., 2009 ; Bradai et al., 2012). Bradai et al. (2016), on refait la même étude sur 88 échantillons d'eau souterraine prélevés sur des puits de l'aquifère quaternaire, sur des profondeurs comprises entre 60m et 120 m, on trouvé une salinité (CE) qui varie de 1.2 dS m^{-1} et 7.03 dS m^{-1} , avec une moyenne de 3.34 dS m^{-1} . D'après la classification de Richards (1954) l'ensemble des échantillons d'eau sont répartis dans les classes salines (C3, C4 et C5) respectivement avec les pourcentages de 34.1%, 47.7% et 18.2%. Dans ces conditions, Hartani et al. (2008) avancent que l'eau à une $\text{CE} < 4 \text{ dS m}^{-1}$ est couramment utilisée en Algérie et d'après Durand (1983), cette qualité ne constitue pas de danger tant qu'un lessivage naturel par les pluies se produit ou une dose soit apportée occasionnellement.

Ces ressources en eau sont à la disposition de plusieurs périmètres où l'irrigation est fréquente. Les plus importants sont: le périmètre de Ouarizane, le périmètre de Oued Rhiou, le périmètre de Djediouia et le périmètre de Hmadna (Figure 7).

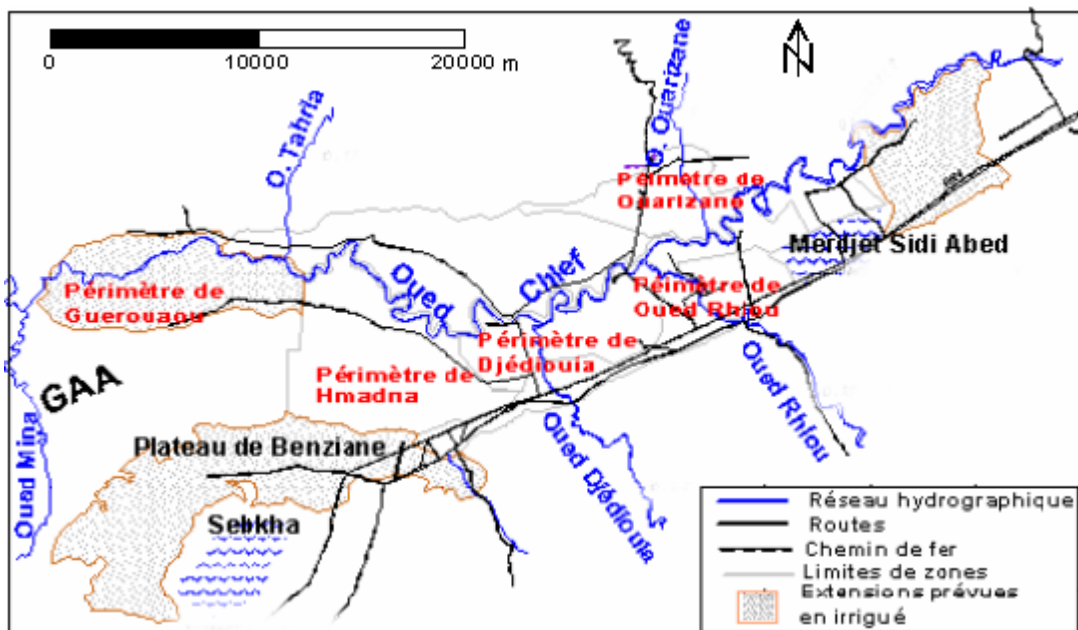


Figure 7. Les périmètres irrigués de la plaine du Bas Chélif (Douaoui, 2005)

I.4. Caractéristiques du sol

Les sols de la plaine du Bas-Cheliff sont qualifiés comme salins (Boulaine, 1957). En effet, l'étude de Walter et al. (2001) sur un nombre de 5141 échantillons de sols pris dans la plaine du Bas-Cheliff, selon la classification de United State Salinity Laboratory Staff (USSL, 1954), révèle que 64% des sols sont classés parmi les sols salés à très salés et 36% des sols sont considérés comme non à légèrement salés. En effet, Saidi (2010), sur des échantillons représentatifs du Bas-Cheliff, a trouvé une salinité comprise entre 2 et 42 dS/m en présence d'une alcalinité exprimée par le pourcentage de sodium échangeable (ESP) comprise entre 3 et 53%.

Selon le référentiel pédologique (AFES, 1995), les principaux types de sols de la plaine sont des fluvisols, des vertisols et des salisols (Douaoui et al., 2004, Saidi et al., 2008).

La texture dominante des sols de la plaine du Bas-Cheliff est fine à très fine (Boulaine, 1957 ; Saidi et al., 1999), avec 61.11% de texture limoneuse argileuse à limoneuse sableuse et 38.89% de texture argileuse à argilo-limoneuse (Rata, 2010).

I.5. Occupation du sol

L'étude faite par l'INSID (2011) via le projet « Carte d'occupation du sol » dans le but d'établir une carte d'occupation du sol du nord d'Algérie, a abouti à des cartes pour chaque wilaya. Concernant la wilaya de Relizane dont la plaine du Bas-Cheliff fait partie, plusieurs classes d'occupation du sol sont identifiées (Figure 8). On trouve la classe « Grande culture en sec » qui regroupe les céréales (blés, cultures fourragères sous toutes ses formes), les cultures industrielles, les légumes secs. Cette classe qui représente 50.07% de la superficie de la wilaya, est marquante au niveau de la plaine du Bas-Cheliff et la vallée de la Mina.

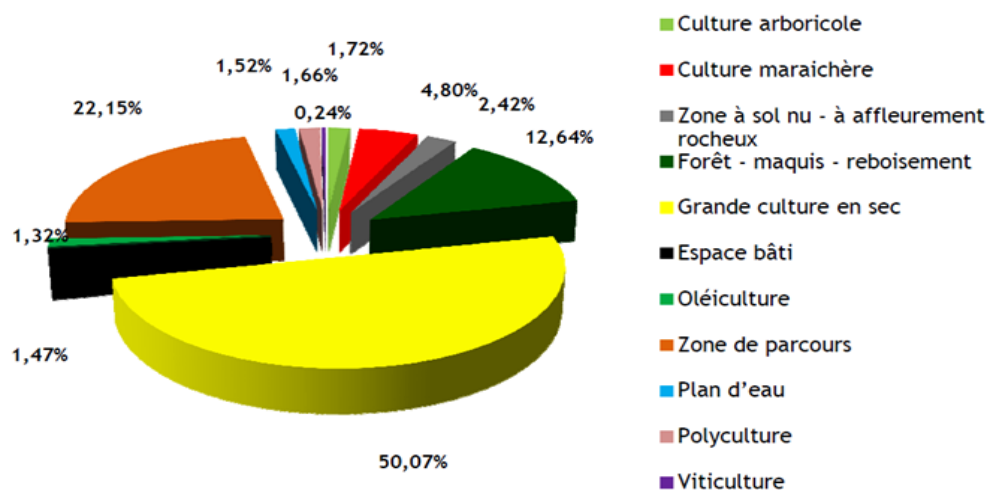


Figure 8. Les classes d'occupation du sol dans la wilaya de Relizane

L'occupation des sols dans le Bas-Chéiff (Figure 9) comprend des terres cultivées en irrigué (maraichage, arboriculture et quelques cultures fourragères: luzerne et avoine), des terres cultivées en sec (céréales essentiellement du blé dur et orge), des terres en jachère et des terrains abandonnés qui sont soit couverts par la végétation halophyte soit totalement dépourvus de végétation (Yahiaoui, 2011).

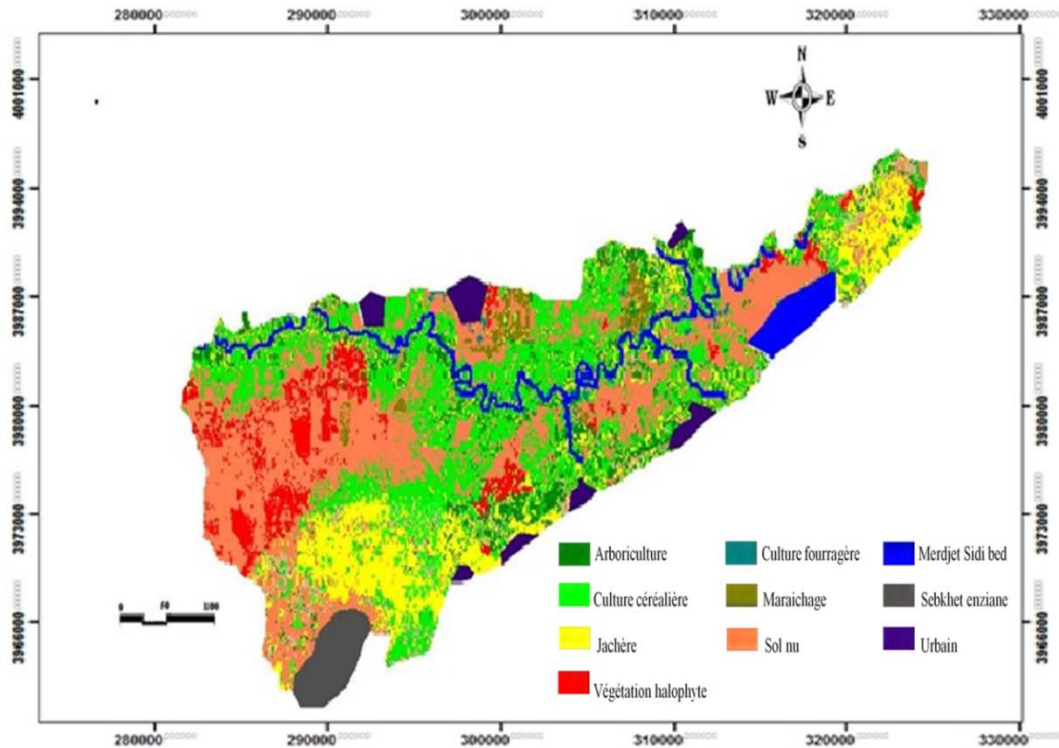


Figure 9. Carte d'occupation du sol de la plaine du Bas-Chéiff (Yahiaoui, 2011)

L'étude floristique réalisée par Dubuis et Simonneau (1959) sur toutes les espèces de végétaux supérieurs spontanés et sub-spontanés de la station expérimentale INRAA-Hmadna (ex station hydro agricole en période coloniale) sur une période d'une douzaine années (1946 à 1958), a identifié plusieurs légumineuses fourragères dont: les *Medicago* (*intertexta*, *celiaris*, *truncatula* et *hispida*), les *melilotus* (*sulcata*, *sicula*, *segetalus* et *indica*) et les *Trifolium* (*alexandrinum*, *tomentosum* et *resupinatum*), et des groupements de végétation constituées d'espèces halophytes. L'étude de Ababou et al. (2009) sur l'analyse des associations végétales dans la plaine du Bas-Cheliff, révèle une dominance des familles des Chénopodiaceae, Asteraceae, Poaceae et à un degré moindre les fabaceae. Dont on trouve les espèces: *Medicago sativa* L., *Melilotus officinalis* L. et *Scorpiurus muricatus* L.. La composition et la répartition de la végétation dans le Bas-Cheliff est fonction des caractéristiques physiques et chimiques du sol (Ababou et al., 2013).

Les halophytes (*Suaeda* et *Salsola*) se retrouvent un peu partout, mais elles se concentrent à l'ouest de la plaine surtout dans les sols salés de la dépression fermée de Gaa (Mokhtari, 2009).

CHAPITRE II

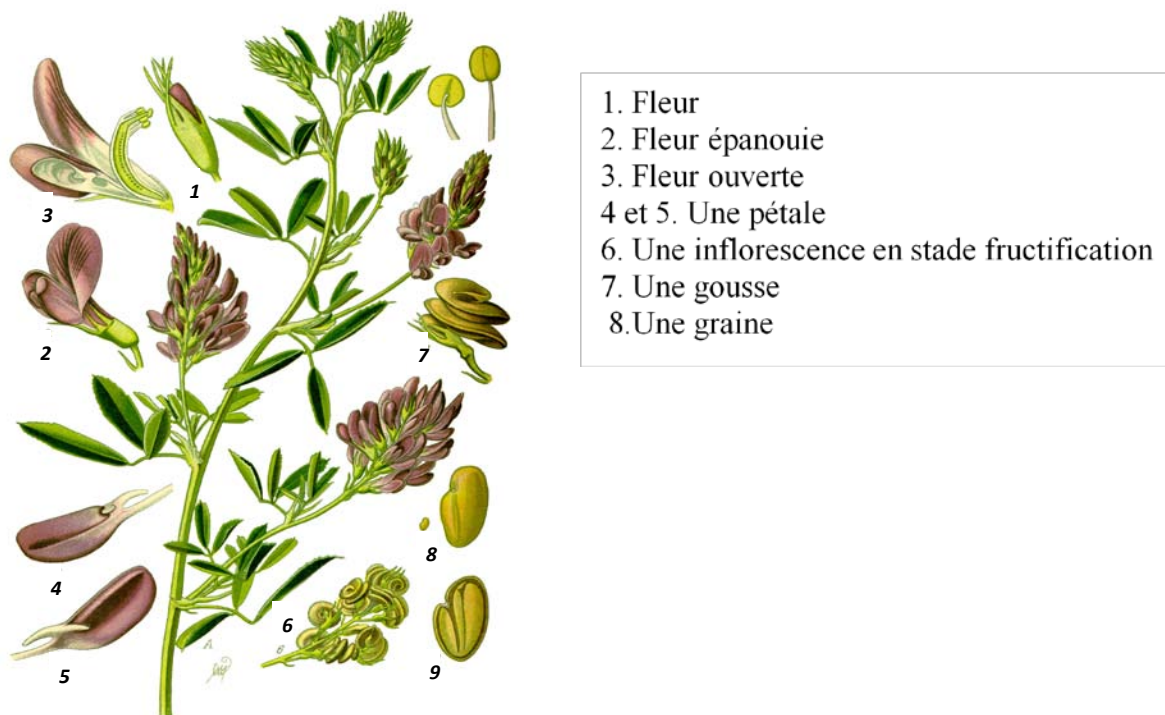
Aperçu bibliographique (la luzerne pérenne)

II.1. La luzerne cultivée

II.1.1. Description et classification

II.1.1.1. 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 (Figure 10) et la racine avec un pivot central et des racines secondaires. Elle est herbacée vivace de 30 à 70 cm de hauteur.



1. Fleur
2. Fleur épanouie
3. Fleur ouverte
- 4 et 5. Une pétale
6. Une inflorescence en stade fructification
7. Une gousse
8. Une gousse
8. Une graine

Figure 10 : Morphologie de la luzerne *Medicago sativa* L. (Childers, 2008)

II.1.1.2. 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* est un hybride issu 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 (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.

II.1.2. Origine et répartition géographique 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) (Figure 11).

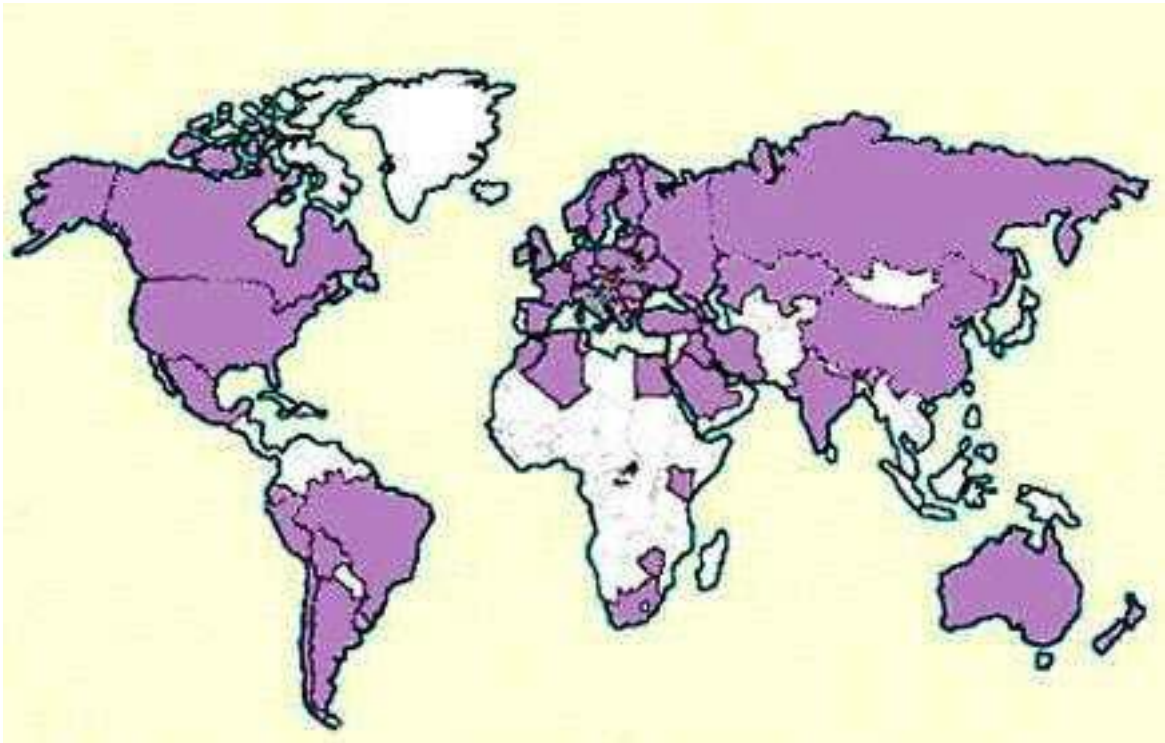


Figure 11. Culture de la luzerne dans le monde (www.futura-sciences.com)

Le nom américain « *Alfalfa* » est d'origine arabe qui signifie « meilleur fourrage ». Les Italiens continuent à l'appeler ainsi. Les Espagnols l'appelés 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).

II.1.3. La luzerne en Algérie

La plante de la luzerne s'adapte au climat du nord africain par sa résistance au froid et à la sécheresse (Lery, 1982).

En Algérie, la part de la superficie consacrée à la luzerne (*Medicago sativa*) par rapport à celle réservée aux cultures fourragères est très faible. En effet, pour la période 1995-1997,

elle varie entre 0.37 à 0.71% pour le territoire national et entre 4.4% et 25.1% pour la région du sahara (Chaabena et Abdelguerfi, 2001). Alors que pour la période 2001-2009, elle varie entre 0.56 et 1.12%. Les rendements de la luzerne pour la période de 2001-2009, est en croissance et elle varie entre 29.3 Qx ha⁻¹ et 80.2 Qx ha⁻¹ du fourrage consommé. Par contre, la superficie inter annuelle fluctue entre 980 ha et 4263 ha (Figure 12).

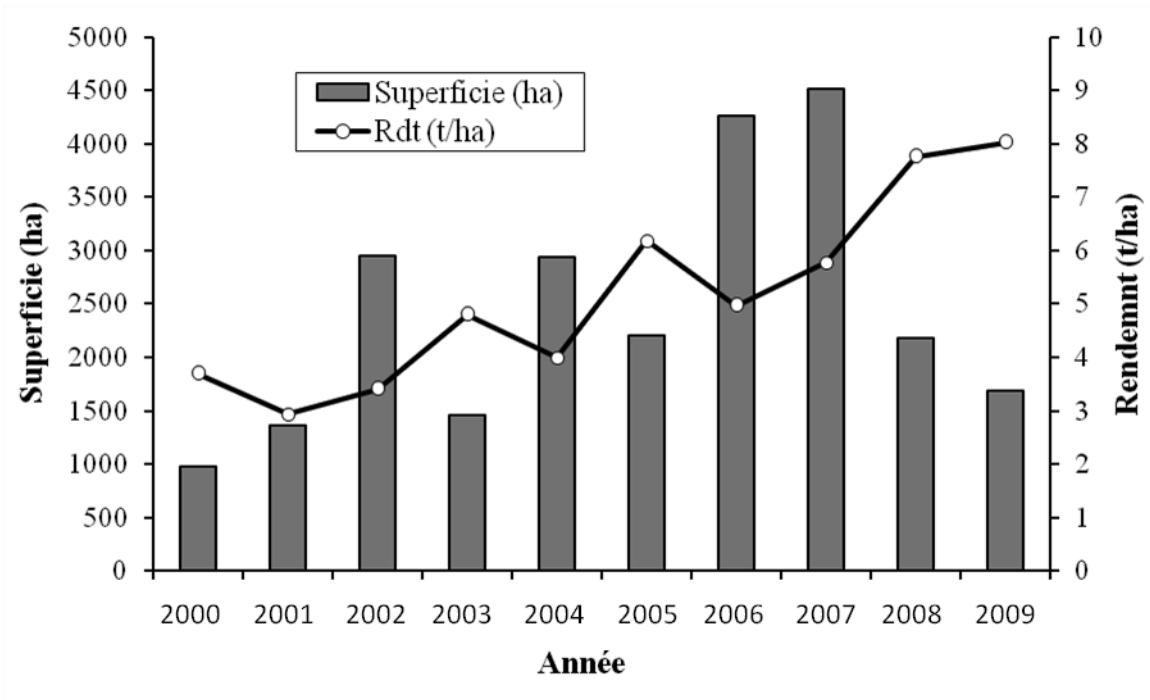


Figure 12. Evolution de la superficie et du rendement de la luzerne (BSA, 2009 modifié)

Dans la wilaya de Relizane, les premiers essais sur luzerne ont commencés au milieu des années 50 dans la station de recherche INRAA-Hmadna (ex station hydro agricole), dont ils ont testés des variétés provenant de France, de la Russie, d’Egypte, de la Lybie et de l’Algérie (Simonneau et al., 1956). Depuis, la pratique de la luzerne est restée timide, jusqu’à la fin du projet PERMED en 2008 et l’arrivée du projet de coopération Algéro-Bretagne « ALBAN » en 2011, où quelques éleveurs de bovins s’intéressés à intégrer la luzerne pour l’alimentation de leurs cheptels.

Suite à une enquête faite au niveau du groupe d’appui aux éleveurs producteurs de laits (GAPEL, Relizane) sous la tutelle de l’ONIL (office national interprofessionnel de lait), chargé du suivi des éleveurs adhérents au projet « ALBAN », on a constaté que la majorité des exploitants sont des éleveurs hors sol, c’est-à-dire qu’ils ne possèdent pas de terre. Alors que dans moins de 25% des exploitants d’une superficie agricole utile (SAU) de 478.25 ha, la luzerne occupe 7% du fourrage cultivé, à dominance orge/blé et avoine.

L'installation des petites luzernières d'une superficie qui ne dépasse pas en moyenne le 1ha, est déclenchée dans les communes de la wilaya où l'élevage est plus au moins important (Figure 13).



Figure 13. Répartition de la luzerne cultivée dans la wilaya de Relizane

II.1.4. Intérêt de la luzerne

La luzerne (*Medicago sativa* L.), espèce fourragère pérenne est cultivée essentiellement pour la production fourragère (Michaud et al., 1988) avec un potentiel productif en matière sèche de 12 à 15 t ha⁻¹ (Genier et al., 1992). C'est une culture couvre-sol (Vanpeene-Bruhier et al., 2002), protectrice contre l'érosion éolienne et hydrique (Abdelguerfi et Abdelguerfi-Laouar, 2002).

La luzerne possède un système racinaire très développé et profond, peut dépassé les 1.5 m et permet de fragmenter le sol en améliorant sa structure (Thiébeau et al., 2003). Ainsi, il contribue à l'amélioration de la perméabilité hydraulique et évite la compaction et l'engorgement du sol.

La luzerne est une légumineuse, a la capacité de prélever préférentiellement l'azote minéral du sol avant d'utiliser celui de sa fixation symbiotique grâce à la symbiose racinaire réalisée avec une bactérie fixatrice de l'azote de l'air (*Rhizobium meliloti* L.) pour assurer ses besoins en cet élément (Thiébeau et al., 2004), ainsi elle contribue à l'épuration des nitrates des eaux de drainage. Pour une production de 13 tMS ha⁻¹ an⁻¹, elle exporte environ 370 KgN ha⁻¹ an⁻¹, avec un plus de 120 à 220 Kg N ha⁻¹ an⁻¹ respectivement par rapport au trèfle violet et au pois protéagineux (Muller et al., 1993). De plus, à la mise fin d'une luzernière, les résidus en racine et pivot peut contenir jusqu'à 160 Kg N ha⁻¹ an⁻¹ (Justes et al., 2001), sont rétrocedés progressivement et valorisés par la culture du blé (Beaudoin et al., 1992).

II.1.5. Exigences de la luzerne

II.1.5.1. 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). La température atmosphérique de 27°C est l'optimum pour la croissance des semis, mais elle diminue à 22°C à mesure que les pousses se développent (Fick et al., 1988). Kendall et al. (1991) cités par Tull (2010), avance que la température édaphique entre 21°C et 25°C, favorise la croissance des racines.

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). Pendant la saison de croissance intense, la compétition pour la lumière dans le couvert végétal conduit à la domination des pousses provenant de la couronne sur celles initiées à partir des tiges auxiliaires (Gosse et al., 1988).

II.1.5.2. 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. La luzerne est intolérante aux inondations prolongées qui affecte le développement des racines (Steduto et al., 2012). Ainsi, des pourritures peuvent se développer et conduisent à une réduction des populations végétales (Sheaffer al., 1988).

II.1.5.3. 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).

II.1.5.4. 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).

II.1.6. 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 défoliation de la luzerne est fonction de sa sensibilité à la verticilliose provoquée l'agent *Verticillium albo-atrum*. Elle constitue un handicap pour la production de la luzerne et aboutit à la mort de la plante (Genier et al., 1992). Dès la 2^{ème} année de production, la différence de production entre une luzerne sensible et autre non sensible, peut atteindre les 25% à 30% (Ghibeche, 2008).

La résistance aux nématodes : Le blocage de la croissance et la mort de la plante, est la conséquence de la désorganisation tissulaire provoquée par les nématodes des tiges (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.

II.2. La pérennité

II.2.1. 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 11.5 (1 = dormance élevée ; 11.5 = dormance faible). Une plante qui a un indice faible, correspond à celle qui entre tôt en dormance automnale et qui démarre tard au printemps.

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.

II.2.2. Le 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.

II.2.2.1. Stress hydrique

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. L'étude de l'adaptation des plantes à la sécheresse fait intervenir la physiologie, l'agronomie et la génétique (Merabet et Bouthiba, 2005 ; Bouthiba, 2007). Selon Ludlow (1989) et Volaire et al. (2009), cités par Volaire et al. (2016), les espèces herbacées combinent plusieurs stratégies pour faire face à une sécheresse, dont l'esquive par la floraison précoce, l'évitement de la déshydratation et la tolérance à la déshydratation des organes de survie. Annerose et Cornaire (1991), définissent les trois formes de stratégies par:

- L'esquive, 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, 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).

L'espèce qui a un système racinaire pérenne très développé (exemple de luzerne), qui par évitement 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).

II.2.2.1.1. Détection du stress hydrique

Le diagnostic visuel du flétrissement du feuillage de la plante ne peut seul déceler l'existence ou non d'un stress hydrique. Parmi les mesures qui peuvent détecter ce stress, on cite:

II.2.2.1.1.1. 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 :

- La microphotométrie qui consiste en la mesure des micros variations de tout organe sensible au stress hydrique.
- 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.

II.2.2.1.1.2. 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 desquelles 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.

II.2.2.1.2. 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.

II.2.2.1.3. 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).

Le stress hydrique agit sur :

II.2.2.1.3.1. 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).

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 (Bensemene et Bouzerzour, 2006).

II.2.2.1.3.2. 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 assimilés qui favoriseraient la croissance du système racinaire qui par la suite améliore l'état hydrique de la plante.

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'entre-nœuds par tige, la longueur des entre-nœuds et des ramifications sont réduits (Duru et Langlet, 1993).

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.

II.2.2.1.3.3. La phénologie de la plante

Moise (1976), 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 (15 jours) après semi, ce qui a été

trouvé par Chaabena et al. (2004) sur la population de luzerne pérenne Aoulef dans les conditions pédo-climatiques sahariennes (Ouargla, Algérie).

II.2.2.2. 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, limite le développement d'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 6 g l⁻¹). Après deux mois de culture, ont remarqué 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.

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 et dépérissent pour une dose maximale de 10g l⁻¹.

II.2.2.3. 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).

II.2.2.4. 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.

II.2.2.5. 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.

II.3. Efficience de l'utilisation de l'eau

II.3.1. Définition

L'efficience d'utilisation de l'eau est un indicateur employé dans plusieurs secteurs scientifiques utilisant la source d'eau comme acteur principal de production. En agriculture, elle rend compte des pertes en eau à plusieurs niveaux de son utilisation (Kambou et al., 2014). L'efficience de l'utilisation de l'eau mesure l'efficacité des processus de consommation de l'eau disponible à la plante pour produire une biomasse (Hillel., 1997).

Pour un agronome, l'efficience d'utilisation de l'eau est le rapport entre la production d'un végétal et l'eau consommée. Pour un physiologiste, elle est le rapport entre la photosynthèse et la transpiration et pour son estimation, la technique de discrimination isotopique du carbone est utilisée (Farquhar et Richards, 1984) pour traduire la part de l'eau pour l'activité photosynthétique (Doré et al., 2006).

II.3.2. Méthode d'amélioration de l'efficience de l'utilisation de l'eau

Le principe d'amélioration de l'efficience d'utilisation de l'eau repose sur la minimisation des pertes d'eau d'irrigation et maximiser les productions agricoles. D'après Bamouh (1998), cela peut se faire par :

- Le choix de la culture adaptée à la sécheresse. Dans un but de coïncider la période reproductive où l'activité biologique est intense, avec la saison pluvieuse. Dans les zones semi-arides, la précocité des variétés de culture est préférable, pour des rendements meilleurs et stables. Pour les cultures fourragères pérennes, le choix peut être fait sur la base de l'indice de dormance. Ceux à faible dormance hivernale et une dormance estivale élevée, sont recherchées. En effet, elles ont la précocité d'entrer en dormance et un redémarrage déclenché avec le début des premières pluies.
- La diminution de la perte d'eau par évaporation, surtout au début du cycle de la culture annuelle ou au début des repousses des cultures pérennes où le sol est généralement humide. La réduction peut se faire, soit par le système de mulching, densité de semi suffisante pour un couvrement rapide du sol, utilisation des géotypes à indice foliaire qui maximise l'interception de la radiation solaire.

II.3.3. Estimation de la consommation en eau

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

$$ET = P + I + DS \quad (01)$$

Dans laquelle,

- P (mm) est la pluviométrie durant Δt ,
- I (mm) représente les apports éventuels par irrigation durant Δt .
- $\Delta S = S1-S2$, variation du stock hydrique du sol (mm) en deux instants (T1 et T2)

Le stock d'eau dans le profil de sol est estimé par la méthode neutronique, en utilisant une sonde à neutron (Annexe 1).

CHAPITRE III
Matériels et méthodes

Dans ce chapitre, nous avons commencé, en premier lieu, par la présentation du matériel climatique pour la caractérisation de la sécheresse météorologique, à travers quelques indices appliqués sur une série de données pluviométriques et d'évapotranspiration. En second lieu, on a présenté le matériel végétal testé dans les conditions expérimentales de notre site d'étude (Station de recherche INRAA-Hmadna), pour étudier son comportement et sa performance.

III.1. Site expérimental et conditions pédo-climatiques

D'après la classification de Koppen fondée sur les précipitations et les températures, le climat de notre site d'étude est du type méditerranéen (Code: Csa), chaud tempéré avec été sec et chaud (Hufty, 2001).

Notre expérimentation s'est déroulée à la station de l'Institut National de Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) située à 35°54' (Lat. Nord) et 00°54' (Long. Est), dans la plaine du Bas-Cheliff, au nord ouest de l'Algérie, à une altitude de 48 mètres (Figure 14).



Figure 14. Localisation du site expérimental (Station de recherche INRAA, Relizane)

Les données climatiques enregistrées durant les quatre années montrent une progression de la pluviométrie de la 1^{ère} année à la 3^{ème} année, puis une régression en 4^{ème} année. En effet, par rapport à la 1^{ère} année (242.70 mm), on a enregistré une augmentation de 34.32% et 38.85% respectivement pour la 2^{ème} et 3^{ème} année, et une réduction de 6.43% en 4^{ème} année. Les températures moyennes mensuelles des quatre années de production, sont sensiblement les mêmes et elles varient entre 19.52 °C et 19.79 °C. La répartition mensuelle des températures et de la pluie est représentée dans la figure 15.

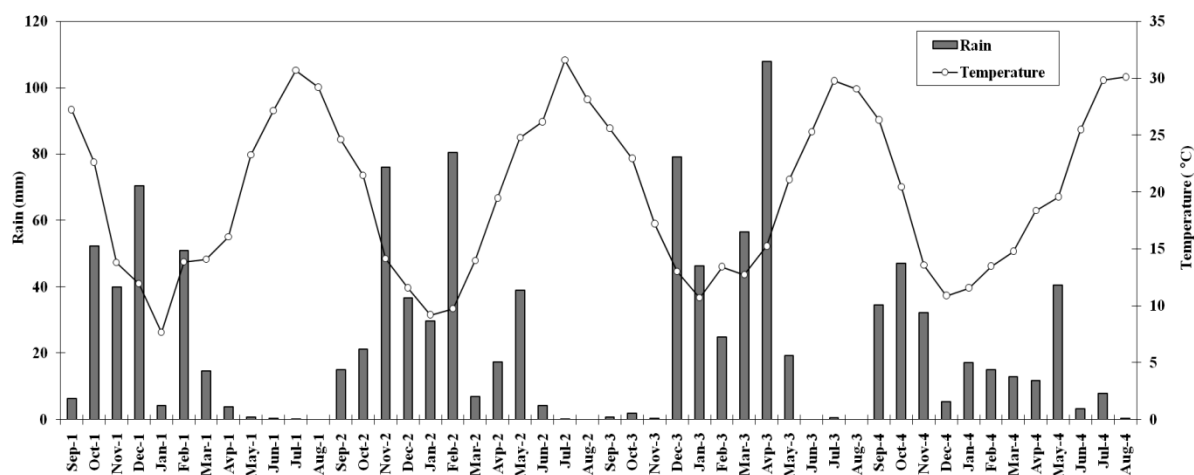


Figure 15. Température et pluie mensuelles des 4 années d'expérimentation

La demande climatique définie par l'évapotranspiration est calculée avec la formule de Penman-Monteith, en fonction des paramètres climatiques enregistrés à la station agrométéorologique de la station de recherche INRAA Hmadna, sa valeur dépasse 1200 mm. Elle prend les valeurs de 1391.26, 1244.20, 1247.30 et 1308.60 mm respectivement pour les quatre années de production. Le déficit pluviométrique mensuel varie entre -223.1 mm +44.2 mm. Sur les quatre campagnes d'expérimentation, on a enregistré un déficit de pluie sur les 83.33% des mois de la période (Figure 16)

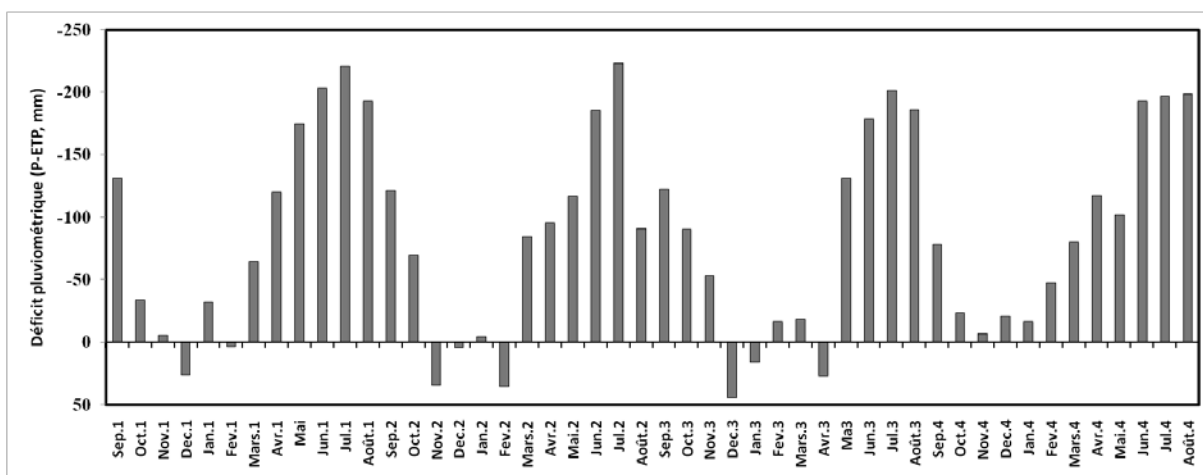


Figure 16. Déficit pluviométrique mensuel les quatre campagnes agricoles

L'analyse physico-chimique du sol de la parcelle expérimentale sur une profondeur de 35 cm, révèle une texture argilo-limoneuse (47.19% d'argile, 42.11% de limon et 10.7 de sable), de pH 7.95, une conductivité électrique de la pâte saturée égale à 3.45 dS m⁻¹, et une densité apparente moyenne de 1.48. Selon l'étude de McDonald et al. (1990a) et le système de

classification WRB (2006) il s'agit d'un vertisol. D'un autre côté, Boulaine (1957) le présente comme un sol d'origine alluvial à caractère salin.

La parcelle expérimentale est équipée d'un ancien réseau de drainage souterrain en poterie installé à une profondeur d'environ 1.5 mètres et d'un piézomètre à une profondeur de 3.50 mètres. Durant la 1^{ère} année d'expérimentation, la nappe fluctue entre 1.50 à 1.77 mètres. Par contre à partir de la 2^{ème} année, le niveau piézométrique oscille entre 2.10 à 3.12 mètres.

III.2. Les pluies

La sécheresse est une partie normale du climat, et elle peut se produire dans n'importe quel régime climatique dans le monde (OMM, 2016). La majorité des définitions publiées avancent que la sécheresse est toujours liée directement ou indirectement à un déficit de la pluviométrie. Il existe plusieurs types de sécheresse, on cite la sécheresse météorologique et pour la caractériser, les données de pluie sur une grande période sont nécessaires.

III.2.1. Données, homogénéisation et comblement des lacunes

L'ensemble des données pluviométriques à l'exception de celles de la station de recherche INRAA-Hmadna, ont été fournies par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH). Le nombre de stations pluviométriques retenues pour cette étude est en fonction de la disponibilité des données pluviométriques sur une longue période, celles présentant les moins de lacunes, représentatives du sous bassin versant et cernant notre zone d'étude. Ainsi huit stations pluviométriques sur un total de 29 ont été choisies (Figure 17). Parmi les stations pluviométriques, seule celle de INRAA-Hmadna permet le calcul de l'évapotranspiration potentielle.

Les données recueillies sont souvent entachées d'anomalies comme sources d'hétérogénéités de la série. Donc, elles ne peuvent être utilisées tels qu'elles sont. Pour cela, il faut tester leurs homogénéités et combler les valeurs manquantes. Parmi les méthodes d'homogénéisation, Beaulieu et al (2007) cite la méthode graphique de double masse ou double cumul de Kohler (1949). C'est une méthode longtemps utilisée, simple et qui ne nécessite pas de calcul particulier (Laborde, 2009). Elle consiste à faire une régression linéaire simple sur les valeurs cumulées de la série de base en fonction des valeurs cumulées d'une série de référence. Ainsi, si les coupes de points formés sont disposées aléatoirement autour de la droite de régression établie, on peut dire que les séries sont homogènes. Par contre, il y a une hétérogénéité dans le cas d'existence d'une cassure de la pente de la droite de régression. Pour notre étude, on a pris la série du poste pluviométrique de la station de recherche INRAA-Hmadna

comme série de base homogénéisée et les autres postes comme séries de références à homogénéiser.

Le comblement des lacunes est réalisé en utilisant des régressions linéaires entre stations voisines sur une période de 38 campagnes agricoles (Septembre-Août) s'étalant de 1973/74 à 2010/2011.

Le tableau 3, présente les caractéristiques de chaque poste pluviométrique à savoir entre autres, les coordonnées Lambert Nord Algérie et altitude (X, Y et Z), les sous bassins versant d'appartenance (SB) et l'éloignement vertical par rapport à la mer (EM).

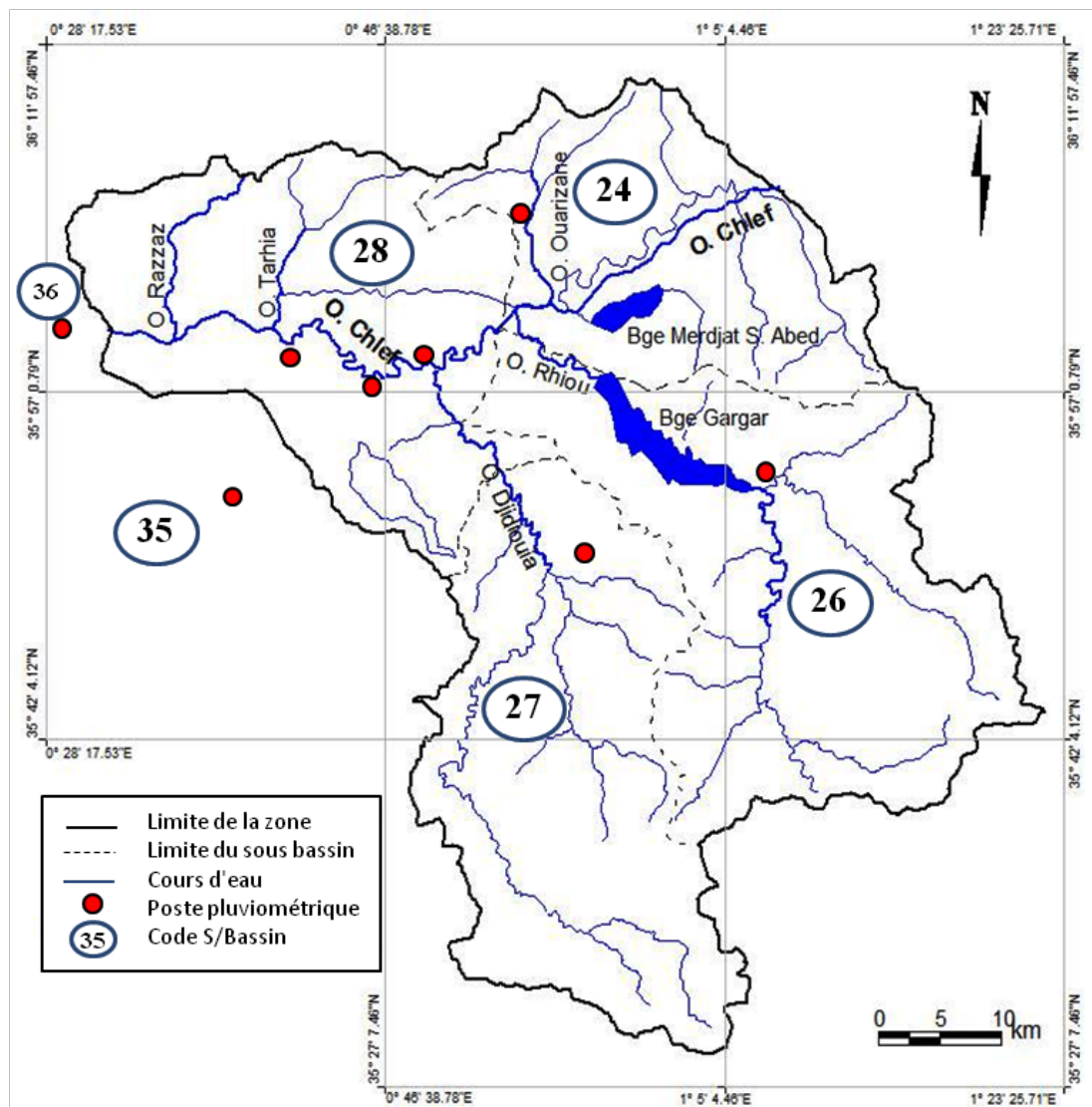


Figure 17. Localisation des postes pluviométriques (Bas-Cheliff)

Tableau 3. Caractéristiques des postes pluviométriques retenus (ABH-CZ, 2015)

Poste pluviométrique	Code	Sous bassin versant	X (km)	Y (km)	Z (m)	EM (km)
Ourizane village	012409	Oued Cheliff - Ouarizane	338.00	306.50	60.00	34.50
Ammi Moussa	012605	Oued Rhiou - Tleta	256.40	286.15	140.00	66.00
Ouled Ayche	012704	Oued Djdiouia	343.30	282.20	281.00	60.00
Hmadna INRAA	012803	Oued Cheliff - Tarhia	324.90	292.95	48.00	42.30
Domaine Si lakhdar	012804	Oued Cheliff -Tarhia	319.30	298.70	45.00	36.00
Djdiouia	012806	Oued Cheliff -Tarhia	329.20	298.30	54.00	35.00
Saline Oued Djamaa	013504	Oued Mina aval	315.50	283.30	60.00	45.00
Oued El-Kheir	013606	Cheliff Maritime	291.55	297.60	105.00	16.00

III.2.2. Méthodes de calcul de l'indice de sécheresse météorologique

On faisant intervenir le facteur pluie et pluie-évapotranspiration comme pivot du phénomène de la sécheresse, trois approches ont été appliquées pour l'apprécier dans le Bas-Cheliff : la méthode du nombre d'écart type, l'indice standardisé de précipitation (SPI) et l'indice de reconnaissance de sécheresse (RDI).

III.2.2.1. Méthode du nombre d'écart type

C'est une méthode employée à l'échelle annuelle. Elle a été utilisée par plusieurs auteurs pour l'étude de la sécheresse météorologique, dont on cite à titre d'exemple non exhaustif: Aghrab (2005), Stour et Agoumi (2008) et Jouilil et al. (2013). Elle se base sur la position de la pluviométrie actuelle par rapport à un intervalle de confiance (IC) définie par une limite inférieure (Li) et une limite supérieure (Ls). Pour un niveau de confiance de $(1-\alpha)$ de 95%, IC est exprimé par :

$$IC = P_m \pm 1.96 * \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (02)$$

P_m : Pluviométrie moyenne annuelle

σ : Ecart type

n : Taille de l'échantillon

La limite inférieure de l'intervalle de confiance est considérée comme seuil de sécheresse. C'est-à-dire lorsque la pluie annuelle enregistrée est inférieure à cette limite, l'année correspondante est qualifiée climatiquement sèche. Également, lorsque une pluie annuelle est supérieure à la limite supérieure, l'année correspondante est qualifiée comme humide. Alors, on dit qu'une année est normale lorsque la pluie est comprise entre les deux limites. Entre les trois seuils qui indiquent la période sèche, normale et humide, il ya des subdivisions qui sont fonction du nombre d'écart type (-2σ , $-\sigma$, $+\sigma$ et $+2\sigma$). Cette classification est illustrée par le tableau suivant :

Tableau 4. Classification climatique par la méthode du nombre d'écart type (Aghrab, 2005)

Classe de sécheresse	Des écarts types*
Extrêmement humide	$P_i > P_m + 2\sigma$
Sévèrement humide	$P_m + \sigma < P_i < P_m + 2\sigma$
Modérément humide	$L_s < P_i < P_m + \sigma$
Normale	$L_i < P_i < L_s$
Modérément sèche	$P_m - \sigma < P_i < L_i$
Sévèrement sèche	$P_m - 2\sigma < P_i < P_m - \sigma$
Extrêmement sèche	$P_i < P_m - 2\sigma$

* P_i : Pluie de la période i ; P_m : Pluie moyenne; σ : Ecart type; L_i et L_s : Limite inférieure et supérieure de l'intervalle de confiance pour un risque d'erreur de 5%.

III.2.2.2. Indice standardisé de précipitation et indice de reconnaissance de sécheresse

L'indice standardisé de précipitation (SPI, standardized precipitation index) est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer (OMM, 2012). Il est très utilisé pour la caractérisation de la sécheresse météorologique (Hayes et al., 1999 ; Wu et al., 2005; Soro et al., 2014). Pour son calcul, les précipitations sur une longue période constituent les seules données requises. La série de pluies enregistrées est ajusté à une distribution de probabilité qui est ensuite transformée en une distribution normale (McKee et al., 1993; Edwards and McKee 1997). Thom (1958) a trouvé que la distribution gamma s'adaptait bien aux séries chronologiques de pluies. La distribution gamma est définie par sa fonction de densité de fréquence ou de probabilité.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{avec } x > 0 \quad \alpha > 0 \quad \beta > 0 \quad (03)$$

Dans laquelle α et β sont respectivement les paramètres de forme et d'échelle, x est la quantité de précipitation et $\Gamma(\alpha)$ est la fonction gamma. Les paramètres α et β du gamma sont estimés pour chaque station et pour chaque échelle de temps d'intérêt. Ils sont obtenus par la méthode du maximum vraisemblance : Avec n nombre d'observations

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad \beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (04)$$

Ensuite, les paramètres obtenus sont utilisés pour déterminer la probabilité cumulée d'un événement d'une pluie observée. Puisque la fonction gamma n'est pas définie pour des pluies nulles ($x=0$), la probabilité cumulée devient :

$$H(x) = q + (-q) * G(x) \quad (05)$$

Dans laquelle q est la probabilité de pluie nulle et $G(x)$ est la probabilité cumulée de la fonction Gamma incomplète. Si m est le nombre de zéros dans une série de pluie, alors q peut être estimé par m/n . La probabilité cumulée $H(x)$, est ensuite transformée en une variable aléatoire normale standardisée Z qui correspond à l'indice SPI. Pour cela, Naresh et al., (2009) cite la méthode d'approximation de Abramowitz et Stegun (1965) suivante :

$$Z = \text{SPI} = \text{sign} \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad (06)$$

$$\text{Pour } 0 < H(x) \leq 0.5, \quad \text{sign} = -1 \quad \text{et } t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{H(x)^2} \right)}$$

$$\text{Pour } 0.5 < H(x) \leq 1.0, \quad \text{sign} = +1 \quad \text{et } t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(1 - H(x))^2} \right)}$$

$$c_0=2.515517, c_1=0.802853, c_2=0.01038, d_1=1.432788, d_2=0.189269 \text{ et } d_3=0.001308$$

L'indice de reconnaissance de sécheresse (RDI, reconnaissance drought index) est un indice qui utilise la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle (Tsakiris et Vangelis, 2005; Tsakiris et al., 2007; Tsakiris et al. 2008; Tigkas et al., 2014). Pour son calcul, le rapport Pluie/ETP est pris en considération comme valeur initiale pour i ème année et k mois, par la relation suivante :

$$\alpha_k^i = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k ETP_{ij}} \quad (07)$$

Avec : P_{ij} et ETP_{ij} sont respectivement la pluie et l'évapotranspiration potentielle pour la i ème année et le j ème mois.

La transformation de la valeur initiale en RDI est la même que le SPI.

Les valeurs positives de SPI reflètent les conditions humides et les valeurs négatives montrent la sécheresse météorologique (Wilhite, 2000; McKee et al., 1993). Cette classification définit les catégories de sécheresse selon les valeurs du SPI indiquées dans le tableau 5.

Tableau 5. Catégorie de sécheresse selon McKee et al. (1993)

Catégorie de sécheresse	Valeur SPI
Extrêmement humide	> 2.00
Sévèrement humide	1.5 à 1.99
Modérément humide	1.00 à 1.49
Normale	-0.99 à 0.99
Modérément sèche	-1.00 à -1.49
Sévèrement sèche	-1.50 à -1.99
Extrêmement sèche	< -2.00

III.3. Matériel végétal et dispositif expérimental

Dans le cadre du projet PERMED (annexe 2), le choix a été fait sur seize cultivars de luzerne pérenne (*Medicago sativa*) performants provenant de plusieurs pays ayant un type de climat méditerranéen: un de l'Algérie (Tamantit), deux de l'Australie (Sardi10 et Siriver), trois d'Italie (Ecotipo siciliano, Prosementi et Mamuntanas), trois de France (Melissa, Magali et Coussouls), quatre du Maroc (Africaine, Erfoud1, Demnat 203 et Rich2), un de la Tunisie (Gabès-2355) et deux des USA (ABT 805 et Ameristand 801S) tableau 6.

Ces cultivars sont mis en test sur deux essais, un conduit en régime pluvial et l'autre en irrigué à l'évapotranspiration maximale (ETM). Le semis à la main est réalisé le 17/10/2004 avec une dose de 25 kg/ha.

Le dispositif expérimental adopté pour les deux essais est un bloc aléatoire à quatre répétitions. Chaque parcelle élémentaire a une surface de 5 m² (200 cm x 250 cm, avec 10 lignes séparées de 20 cm). 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 en pluvial et au milieu de chaque bloc pour l'essai en irrigué (Figure 18).

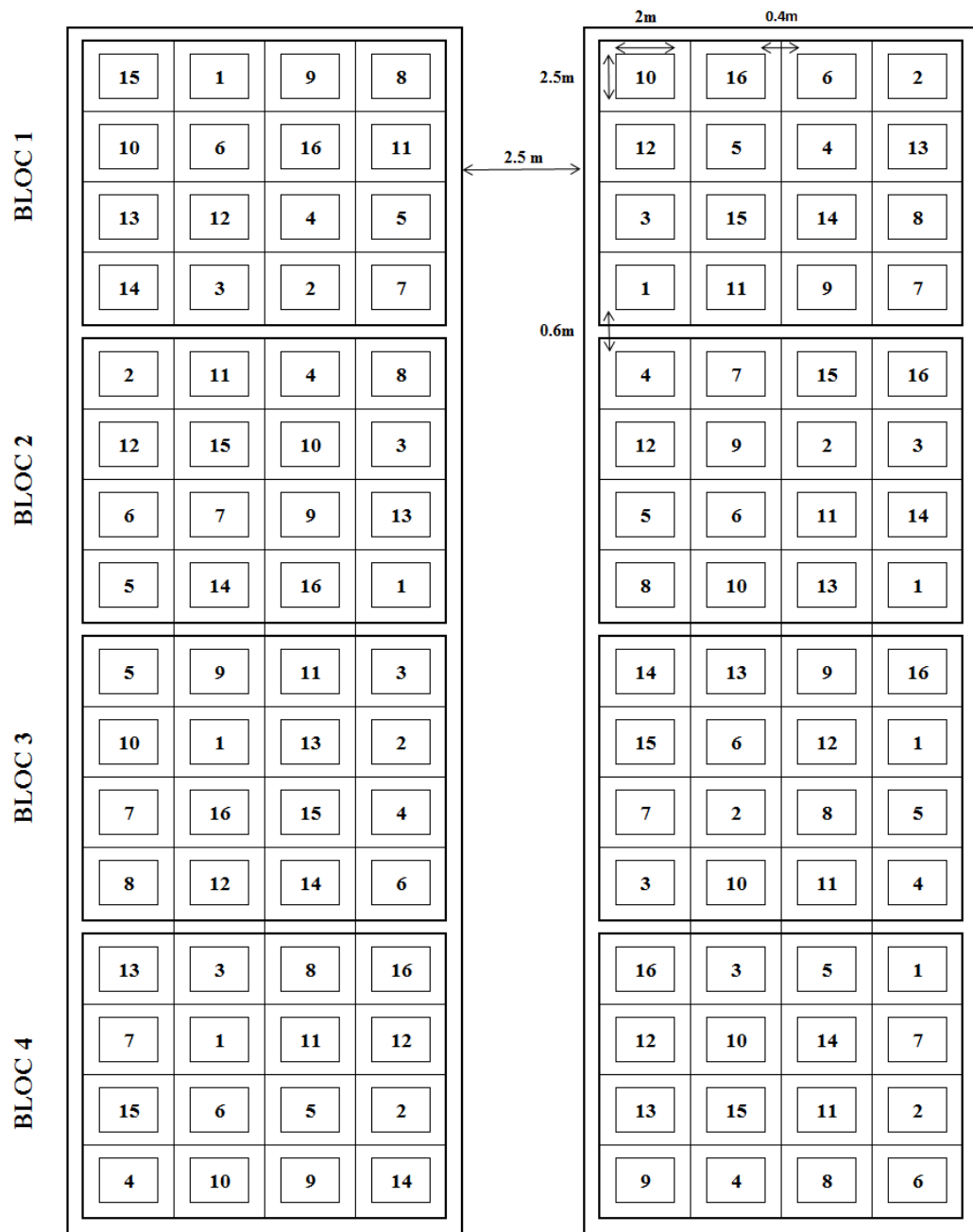
Les irrigations par aspersion pour l'essai en irrigué sont assurées chaque semaine. Les besoins en eau sont estimés par la formule $ETM = Kc \times ETo$, évapotranspiration de référence (ETo) de Penman monteith moyenne calculée sur une période de treize ans. Le coefficient Kc, de 0.8 représente une valeur un peu inférieure à la moyenne sur l'ensemble de la saison végétative en milieu sec, avec un vent léger à modéré (Doorenbos et Pruitt, 1975). C'est une valeur minimum pour ne pas provoquer un drainage (Lelièvre, 2006).

Tableau 6. Caractéristiques des cultivars du projet PERMED

Provenance	Cultivars	Site origine	Type (1)	Climat (2)	Dormance A (1)	Caractéristiques
Algérie	Tamantit	Tamantit	Lan	BWh	9	Oasien, supporte les coupes fréquentes, conduit en irrigué
Tunisie	Gabès-2355	Gabès	Lan	BWh	10	Oasien, relativement résistant au sel
Maroc	Demnat 203	Demnat	Lan	Csa	11.5	Montagne de l'Atlas, productif dans les conditions de ferme
	Erfoud 1	Erfoud	Lan	BWh	9	Oasien, productif en stress hydro-salin
	Rich2	Rich	Lan	BWh	8	Oasien, tolère le stress hydro-salin
	Africaine	-----	-----	-----	5.5	Inscrit par INRA Maroc en 1986-1996
France	Magali	Magali	Com	BWh	6.5	Adapté au climat méditerranéen, conduit en pluvial et irrigué
	Melissa	Melissa	Com	Cfa	8	Adapté au climat chaud du sud de la France
	Coussouls	Sud de France	Com	Csa	4.5	Tolère le pâturage, conduit en pluvial et en irrigué
Italie	Prosementi	Bologne	Com	Cfa	6	Résiste au froid et à la sécheresse
	Mamuntanas	Sardaigne	Lan	Csa	7	Cultivé en pluvial
	Ecotipo siciliano	Sicile	Lan	Csa	6.5	Cultivé en pluvial
Australie	Sardi 10	Près d'Adelaide	Com	Csa	10	-----
	Siriver	Canberra	Com	Cfb	9	Résistant aux pucerons
USA	Ameristand 801S	Arizona	Com	BWh	8	Tolère le stress hydro-salin
	ABT 805	USA	Com	-----	8	Tolère le pâturage

(1) Pecetti et al. (2012), Lan : Landrace et Com : Commerciable

(2) Climate-data.org (BW : climat désertique, Cs : climat méditerranéen et Cf : climat tempéré chaud)



Essai en irrigué

Essai en pluvial

n°	Cultivars	n°	Cultivars
1	Ecotipo siciliano	9	Africaine
2	Prosementi	10	Gabès-2355
3	ABT 805	11	Magali 1
4	Ameristand 801S	12	Melissa
5	Mamuntanas	13	Coussouls
6	Tamantit	14	Rich 2
7	Sardi 10	15	Erfoud 1
8	Siriver	16	Demnat 203

Figure 18. Dispositif expérimental

La quantité d'eau apportée à chaque parcelle est la différence entre les besoins en eau et les précipitations. Les irrigations sont déclenchées juste après les premières pluies et arrêtées pendant neuf semaines à partir de la fin du mois de juin.

L'eau d'irrigation provient d'un forage proche du site expérimental. D'après les analyses chimiques de cette eau (Tableau 7) et l'USSL (1954) en fonction de la conductivité électrique et le SAR, la qualifie très mauvaise à risque d'alcalinisation moyenne (C4S2).

Tableau 7. Composition chimique moyenne de l'eau d'irrigation

	Anions (meq/l)				Cations (meq/l)			CE	SAR	pH
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	dS/m		
Eau forage	4.60	5.67	12.52	0.04	15.27	6.21	4.40	3.33	5.53	7.56

Le déclenchement de la fauche (à 5 cm du sol) pour l'obtention du rendement en tonnes/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

III.4. Etude du comportement de la luzerne

L'étudier du comportement de la luzerne peut se faire par plusieurs indices d'ordre morphologique et physiologique. Dans notre cas, on a utilisé quelques paramètres mesurés et/ou estimés, affectés par le phénomène de sécheresse.

III.4.1. Rendement et efficacité d'utilisation de l'eau

Le rendement en matière sèche est un caractère essentiel pour les espèces fourragères, car c'est un objectif essentiel pour les utilisateurs (Huyghe, 2002). Khelifi (2008), cite l'utilisation de Tefiani (1985) et Chergui (1990) de l'efficacité d'utilisation de l'eau pour des études sur la luzerne.

Dans cette étude, le rendement en matière sèche est le cumul des rendements de la campagne complète.

Dans notre expérimentation, pour chaque parcelle élémentaire, le rendement est estimé par la production des six rangs du milieu sur une longueur de 2 mètres, représentant une superficie de 2.40 m².

Ainsi, l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) est calculée en rapportant le rendement par rapport à la consommation de l'eau correspondante (Cooper et al., 1987; Zwart et Bastiaanssen, 2004). Elle a été calculée en prenant en compte le rendement en matière sèche et exprimée en kg/m^3 par la formule suivante :

$$EUE (\text{KgMS m}^{-3}) = \frac{\text{Rendement en matière sèche}}{\text{Evapotranspiration}}, \quad (ET = \text{eau consommée}) \quad (08)$$

Après chaque coupe, le profil hydrique d'un mètre de profondeur est mesuré à l'aide de la sonde à neutrons CPN503 (CPN International, Concord, Californie, USA) précédemment étalonnée (Figure 19). La différence entre les profils de deux coupes successives, la pluie et l'irrigation sont quantifiés pour estimer la consommation d'eau par l'équation du bilan hydrique simplifié. L'efficacité pour chaque essai est le rapport de l'eau consommée sur la production de la campagne correspondante.

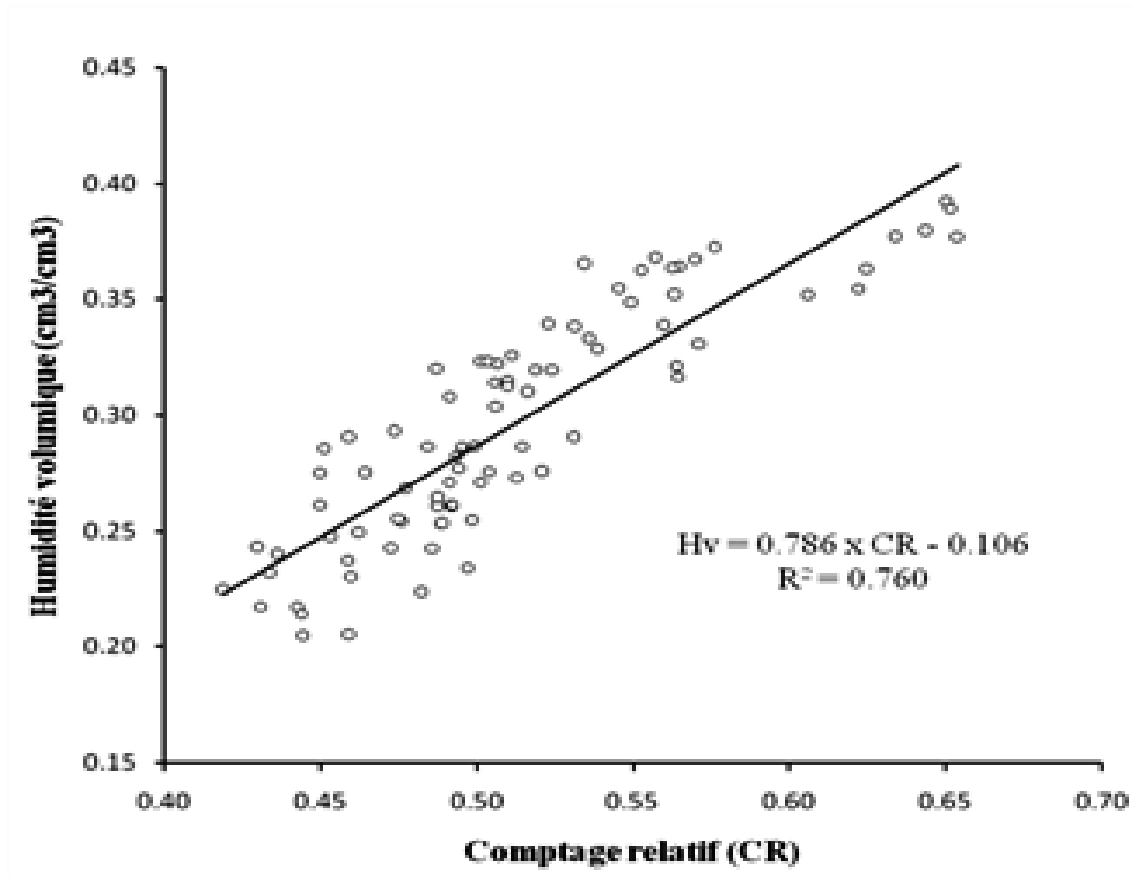


Figure 19. Droite d'étalonnage de la sonde à neutron CPN503

III.4.2. Densité de plants et pérennité

La densité de plants par unité de surface (Dp plt m^{-2}) est un indice qui peut nous renseigner sur la survie d'une année à l'autre. Elle est mesurée au début de chaque année d'expérimentation.

Mezni et al. (1999), ont utilisé la densité de plants comme paramètre pour l'estimation de la survie sur trois cultivars de luzerne pérenne conduit sous stress salin.

Lelièvre et al. (2008) ont utilisé ce paramètre pour étudier la survie de 16 cultivars de graminées pérennes sur quatre années de production.

La pérennité peut être définie par le taux de régression ($Treg$) de la densité de plants. Il représente le rapport de l'écart de la Dp de deux années successives sur l'initial.

Dans notre cas, on a pris les résultats des deux dernières campagnes. Il est calculé par la formule suivante :

$$Treg(\%) = \frac{Dp(i-1) - Dp(i)}{Dp(i-1)} * 100 \quad (09)$$

Avec : $Dp(i-1)$, Densité de plants de l'année d'ordre $i-1$ (3^{ème} année de production)

$Dp(i)$, Densité de plants de l'année d'ordre i (4^{ème} année de production)

III.4.3. Le recouvrement linéaire

Le recouvrement linéaire 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. Le recouvrement moyen par coupe, est utilisé pour cette étude. Ce caractère a été utilisé pour étudier la mortalité des plants de quelques graminées pérennes conduites sous stress hydrique (Volaire, 1995), pour étudier le comportement de trois graminées face à une sécheresse estivale (Khedim et al., 2008), pour étudier le comportement de quelques cultivars de luzerne pérenne (Khelifi et al., 2008) et pour étudier l'effet du déficit hydrique sur l'induction à la dormance estivale de quelques graminées pérennes (Volaire et al., 2009).

III.5. Mesure des performances de la luzerne

Les données concernant le rendement de la matière sèche et de l'efficacité de l'utilisation de l'eau des deux dernières années 2007 et 2008, sont ré-analysées en mettant l'accent sur l'étude de la performance des cultivars par des indices de tolérance à la sécheresse.

Pour la sélection de cultivars de plus en plus performants, certains chercheurs utilisent les conditions favorables (Betran et al., 2003), d'autres des conditions de stress (Mohammadi et al., 2011). Un troisième groupe considère que le test dans des conditions de stress et non stress, est le point de départ pour l'identification des cultivars souhaités face à une sécheresse imprévisible (Sio-Se Mardeh et al., 2006; Nouri et al., 2011).

La sensibilité à la sécheresse est souvent mesurée en fonction de la diminution des rendements dans des conditions de stress (Blum, 1988). La quantification du degré de tolérance et/ou résistance des cultures à la contrainte sécheresse, passe par plusieurs indices. Rosielle et Hamblin (1981), calculent l'indice de tolérance (TOL) qui représente la différence du rendement sous stress et non stress en faisant intervenir la production moyenne (MP). L'indice de tolérance à la sécheresse (STI) et la production moyenne géométrique (GMP) sont proposés par Fernandez (1992). En 2002, Farshadfar et Sutka, offrent l'indice de tolérance à la sécheresse modifié (MSTI) qui est le (STI) multiplié par un coefficient de correction (Ki) pour les conditions de stress et non stress. Clarke et al. (1992), proposent l'un indice de supériorité (Pi). Moosavi et al. (2008), élaborent l'indice de tolérance abiotique (ATI).

Ces indices sont appliqués pour évaluer les performances de seize cultivars de luzerne pérenne en conditions pluvial et irrigué.

La tolérance au stress est approchée par le calcul de l'indice de stress à la contrainte hydrique de Fischer et Maurer (1978). Il est calculé par :

$$SI = 1 - \frac{\bar{Y}_s}{\bar{Y}_p} \quad (10)$$

En plus de cet indice, huit autres indices de tolérance à la sécheresse incluant, la tolérance (TOL), la production moyenne (MP), la moyenne harmonique (HM), la production moyenne géométrique (GMP), l'indice de tolérance à la sécheresse (STI), l'indice modifié de tolérance à la sécheresse (MSTI), l'indice de supériorité (Pi) et l'indice de tolérance abiotique (ATI), sont calculés par les formules suivantes :

Tableau 8. Formules de calcul des indices de tolérance à la sécheresse

n°	Formules	Références
11	$TOL = Yp - Ys$	Rosielle et Hamblin (1981)
12	$MP = \frac{Yp + Ys}{2}$	Rosielle et Hamblin (1981)
13	$HM = 2 * \frac{Yp * Ys}{Yp + Ys}$	Chakherchaman et al. (2009)
14	$GMP = \sqrt{Yp * Ys}$	Fernandez (1992)
15	$STI = \frac{(Yp + Ys)}{\bar{Y}p^2}$	Fernandez (1992)
16	$MSTI = K_i STI \quad K_1 = \left(\frac{Yp}{\bar{Y}p}\right)^2 ; K_2 = \left(\frac{Ys}{\bar{Y}s}\right)^2$	Farshadfar et Sutka (2002)
17	$Pi = \sum_{j=1}^n \frac{(Xij - Mj)^2}{2n}$	Lin et Binns (1988) Clarke et al. (1992)
18	$ATI = \frac{Yp - Ys}{(\bar{Y}p)/(\bar{Y}s)} * \sqrt{Yp * Ys}$	Moosavi et al. (2008)

Avec une représentation dans les conditions du stress et non stress (pluvial et irrigué), du rendement pour chaque cultivar (Ys et Yp), du rendement moyen général ($\bar{Y}s$ et $\bar{Y}p$) et des coefficients de corrections (K_2 et K_1).

Dans la formule de Clarke et al. (1992), le terme Xij représente le rendement de chaque cultivar (i) dans les conditions (j) et Mj représente le rendement maximal dans les conditions (j). Dans notre cas, i représente le nombre de cultivars (i=1 à 16), j représente le nombre d'essai (j=1 pour l'essai en pluvial et j=2 pour l'essai en irrigué) et le terme n représente le nombre d'environnement (n=2).

Les valeurs élevées des indices de tolérance/résistance à la sécheresse ainsi que les rendements (MP, HM, GMP, STI, K_1 STI, K_2 STI, ATI, Yp et Ys), sont affectées aux cultivars les plus performants et reçoivent le rang 1. Par contre les faibles valeurs de l'indice TOL et Pi correspondent aux cultivars les plus performants et reçoivent le rang 1.

Fernandez (1992), en fonction des valeurs de Yp , Ys et STI, classe les cultivars en quatre groupes suivant leurs performances dans les conditions de stress et non-stress. Le groupe A représente les cultivars qui expriment une supériorité uniforme à la fois dans les conditions de stress et non stress. Le groupe B correspond aux cultivars qui ne sont favorables que dans les conditions de non-stress. Le groupe C englobe les cultivars qui donnent des rendements relativement élevés que dans les conditions de stress. Enfin, le groupe D représente les cultivars ayant une mauvaise performance dans les deux conditions de stress et non-stress.

III.6. Analyses statistiques

L'analyse de la variance (ANOVA classique et ANOVA à mesures répétées) avec le test de la plus petite différence significative (PPDS, $p < 0.05$) et l'analyse factorielle discriminante (AFD) des paramètres mesurés et estimés, sont réalisées par le logiciel XLSTAT-2014 (Addinsoft, Brooklyn, New York, USA).

L'étude statistique des séries de pluie, sont analysées par le logiciel Hydrognomon 4.1.0(.26) (Logiciel de l'analyse statistique des séries chronologiques hydro-climatiques, N.T. Université of Athens, 2012).

Pour le calcul des indices de sécheresse météorologique, le logiciel DrinC Version 1.2 (Drought indices Calculator, National Technical University of Athens, Greece, 2007) est utilisé.

CHAPITRE IV
Résultats et discussion

IV.1. Caractérisation de la sécheresse météorologique

IV.1.1. Traitement des pluies annuelles (1973-2010)

L'analyse de la variance (ANOVA) au seuil de signification de 5%, révèle une différence interannuelle et inter-poste très hautement significative (annexe 3 et 4) avec des coefficients de variation (CV%) respectives de 24.59% et 10.07%. En effet, la moyenne des pluies des huit postes pluviométriques s'établit à 297.23 mm/an avec des valeurs annuelles allant de 168.08 mm en 1992 à 468.70 mm en 2008 et des valeurs par poste allant de 253.41 mm (PV013504) à 348.22 mm (PV012605) (Tableau 9). La fluctuation des pluies annuelles au tour de leurs moyennes varie d'un poste à un autre avec des CV% compris entre 26.80 % et 35,47 % (Figure 20).

Tableau 9. Caractéristiques statistiques des postes pluviométriques (1973-2010)

PV	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
012409	73.20	597.30	327.32	116.09
012604	192.30	544.81	348.22	94.73
012704	114.8	477.90	269.96	91.30
012803	170.21	471.70	297.82	79.81
012804	153.40	488.39	287.75	85.99
012806	152.47	470.30	294.15	82.63
013504	95.00	380.80	253.41	68.81
013606	168.60	468.90	299.17	77.92

L'étude de la sécheresse sur le bassin versant du Chélif (Code 01) réalisée par Meddi et Meddi (2004), sur une série de pluviométrie de 30 ans (1968-1997) de 218 postes pluviométriques, confirme le degré d'importance de la variabilité des précipitations de notre région d'étude. En effet, ils ont trouvé un CV% des moyennes annuelles de 30% et CV% intra-annuelle qui varie entre 29% et 51% plus important que le notre.

L'Amplitude pluviométrique définie par la différence entre le maximum absolu et le minimal absolu, prend une moyenne de 347.51 mm et elle varie entre le minimum de 285.8 mm pour le PV012409 et un maximum de 524.1 mm pour le PV013504.

On se basant sur la classification du climat en fonction de la pluie, l'étage bioclimatique des sous bassins correspondants aux postes pluviométriques évolue de l'aride moyen (200-300mm) à l'aride supérieur (300-400mm).

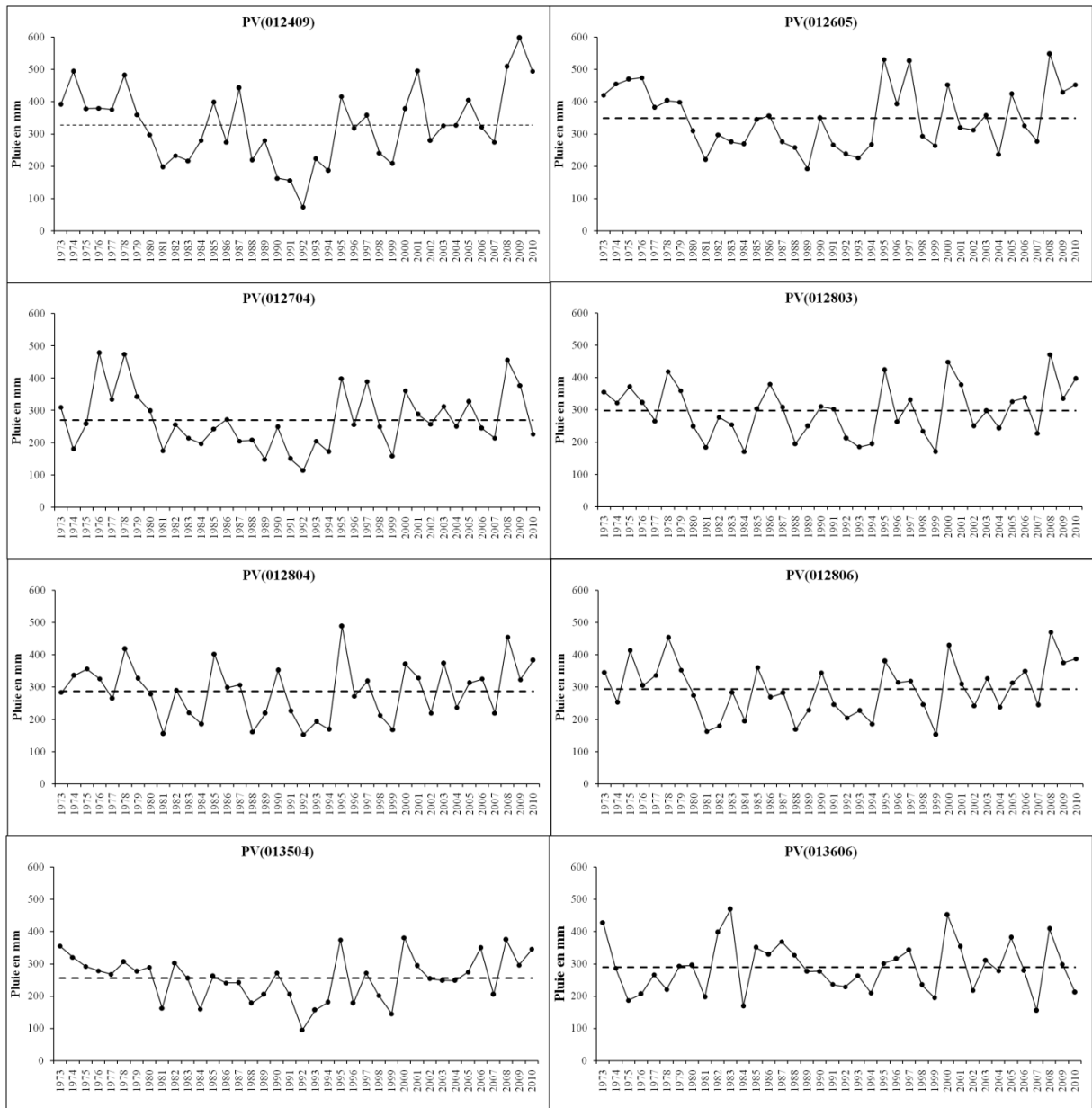


Figure 20. Variation annuelle des pluies par poste pluviométrique

IV.1.2. Méthode du nombre d'écart type (1973-2010)

L'application de cette méthode au niveau de notre région d'étude pour la période 1973-2010, avec les paramètres requis (Pm, σ , IC, Li et Ls) (Annexe 6 et 6), n'a montré aucune sécheresse extrême sauf en 1992 pour le poste PV013504 (sous bassin versant Mina aval) et PV012409 (sous bassin versant Ouarizane) avec des pluies annuelles respectives de 95mm et 73mm. La fluctuation des pluies annuelles dans les classes de sécheresse sont représenté dans la figure 21.

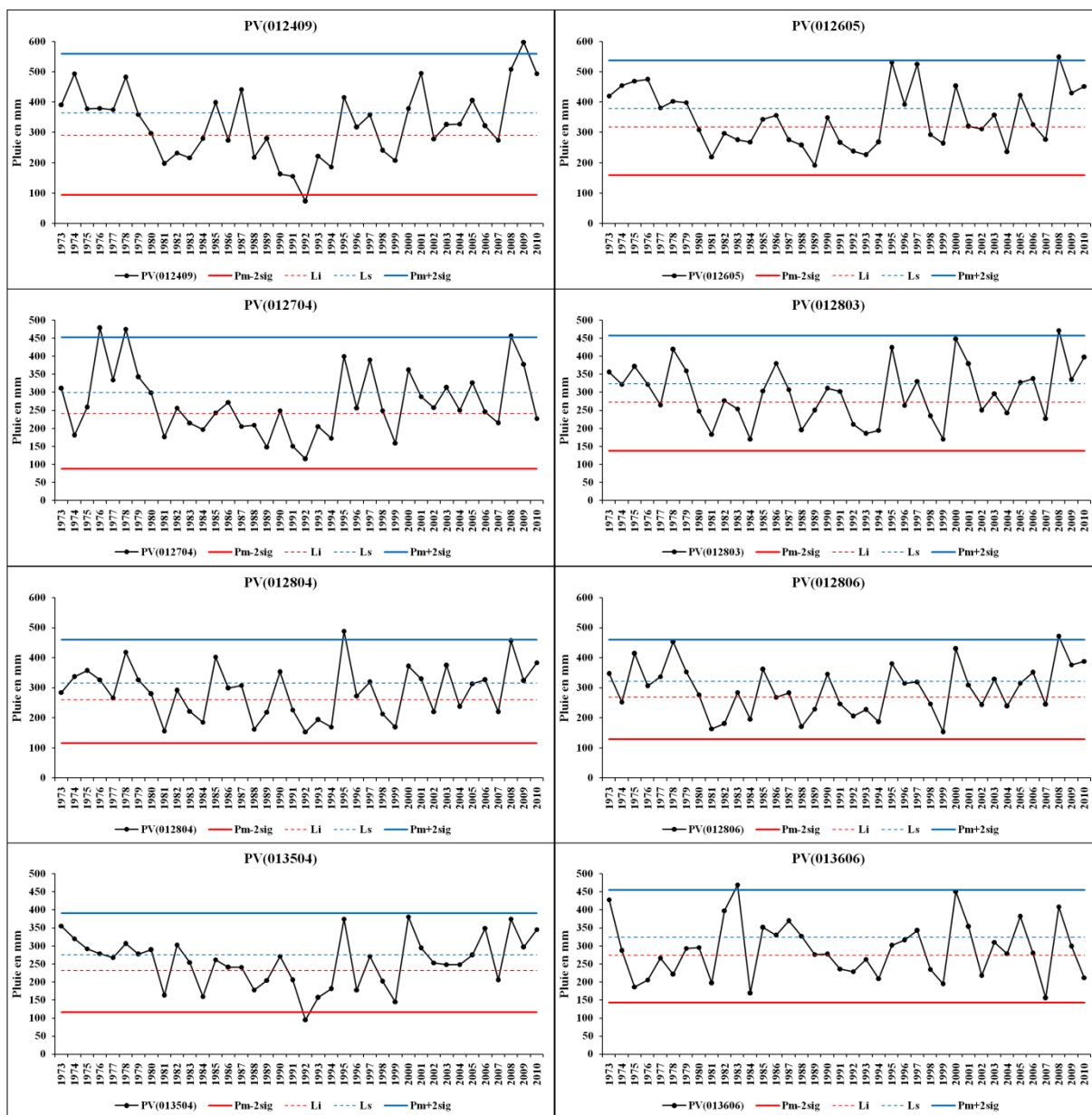


Figure 21. Répartition des pluies selon la méthode de nombre des écarts types

Généralement, les fréquences des années sèches varient entre 34.21÷44.74% et les années humides varient entre 34.21÷42.11%, sont équitablement réparties au tour des fréquences des années normales (15.79÷31.58 %) (Tableau 10). Les fréquences moyennes des années sèches, normales et humides prennent les valeurs respectives de 39.14%, 23.68% et 37.17% (Figure 22).

Tableau 10. Fréquences des années sèches et humides selon la méthode d'écart type

Classe de sécheresse	PV(012409)	PV(012605)	PV(012704)	PV(012803)	PV(012804)	PV(012806)	PV(013504)	PV(013606)
Sèche	44.74	36.84	42.11	39.47	39.47	39.47	36.84	34.21
Normale	15.79	28.95	21.05	23.68	23.68	23.68	21.05	31.58
Humide	39.47	34.21	36.84	36.84	36.84	36.84	42.11	34.21

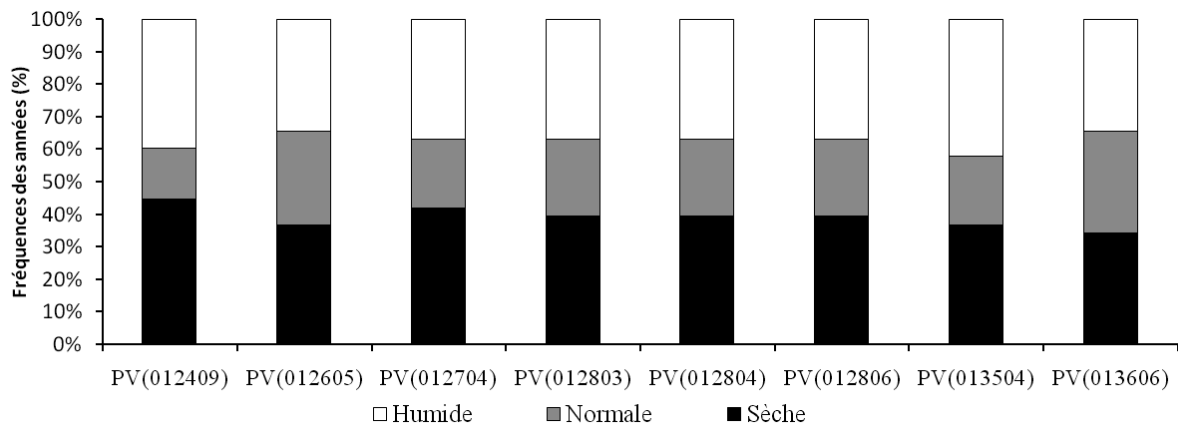


Figure 22. Les fréquences de la sécheresse (méthode du nombre d'écart type, 1973-2010)

Il semble que les trois postes pluviométriques du sous bassin versant Tarhia (code 0128), se comportent de la même façon. En effet, leurs fréquences du niveau de sécheresse sont identiques ainsi que leurs pluies moyennes annuelles ($287.75 \div 297.82$ mm) sont sensiblement les mêmes.

IV.1.3. Indice de précipitation standardisée (SPI, 1973-2010)

L'ajustement des séries de pluies par le test de Kolmogorov-Smirnov à un niveau de signification $\alpha=5\%$ par le biais du logiciel Hydrognomon, montre que l'ensemble des données des postes pluviométriques obéit à la loi gamma plus que la loi normale (Annexe 7).

Les SPI annuels calculés pour l'ensemble des postes pluviométriques, indiquent un début de sécheresses observées durant l'année 1981/82, dont les valeurs fluctuent entre -1.80 et -1.10 respectivement pour le PV012704 et PV012806 (Figure 23, annexe 8). Les postes pluviométriques les plus touchés sont ceux du bassin versant de Tarhia (code 0128), avec des SPI inférieurs à -1.50, dont la valeur de -1.58 (sécheresse modérée) correspond au poste PV012803 (station de recherche INRAA-Relizane). Amrani (2011), en travaillant sur la sécheresse dans le bassin versant Chlef-Zahrez sur une période de 37 ans (1968-2004), remarque une sécheresse de la majorité de la région Bas-Cheliff durant la période 1980/1989, surtout sur le sous bassin versant Tarhia. Dans la partie ouest de l'Algérie, les précipitations enregistrées depuis 1930 montrent de nombreuses années déficitaires sur l'ensemble des décennies 1980 et 1990 (Talia A., 2003; Talia et Meddi, 2004).

Suite à une étude sur l'analyse du régime climatique du nord Algérie sur une période de 73 ans (1936-2008), Taibi (2011) remarque que les décennies 1980 et 1990 sont les plus déficitaires. Smadhi et Zella (2012), en poursuivant la variabilité des précipitations sur le nord d'Algérie sur la période de 40 ans (1970-2009), remarquent la diminution des précipitations de 1981 à 1993 puis augmente en 2002.

De plus, on assiste à une augmentation des pluies à partir de l'année 2001. Cette constatation est confortée par les travaux de Benaini et Achite (2015) sur la variabilité spatio-temporelle des précipitations annuelles d'une période de 40 ans (1970-2010) sur 155 postes pluviométriques au Nord-Est de l'Algérie. En effet sur la plus part des postes étudiés, une augmentation de la pluie annuelle apparait à partir de l'année 2001.

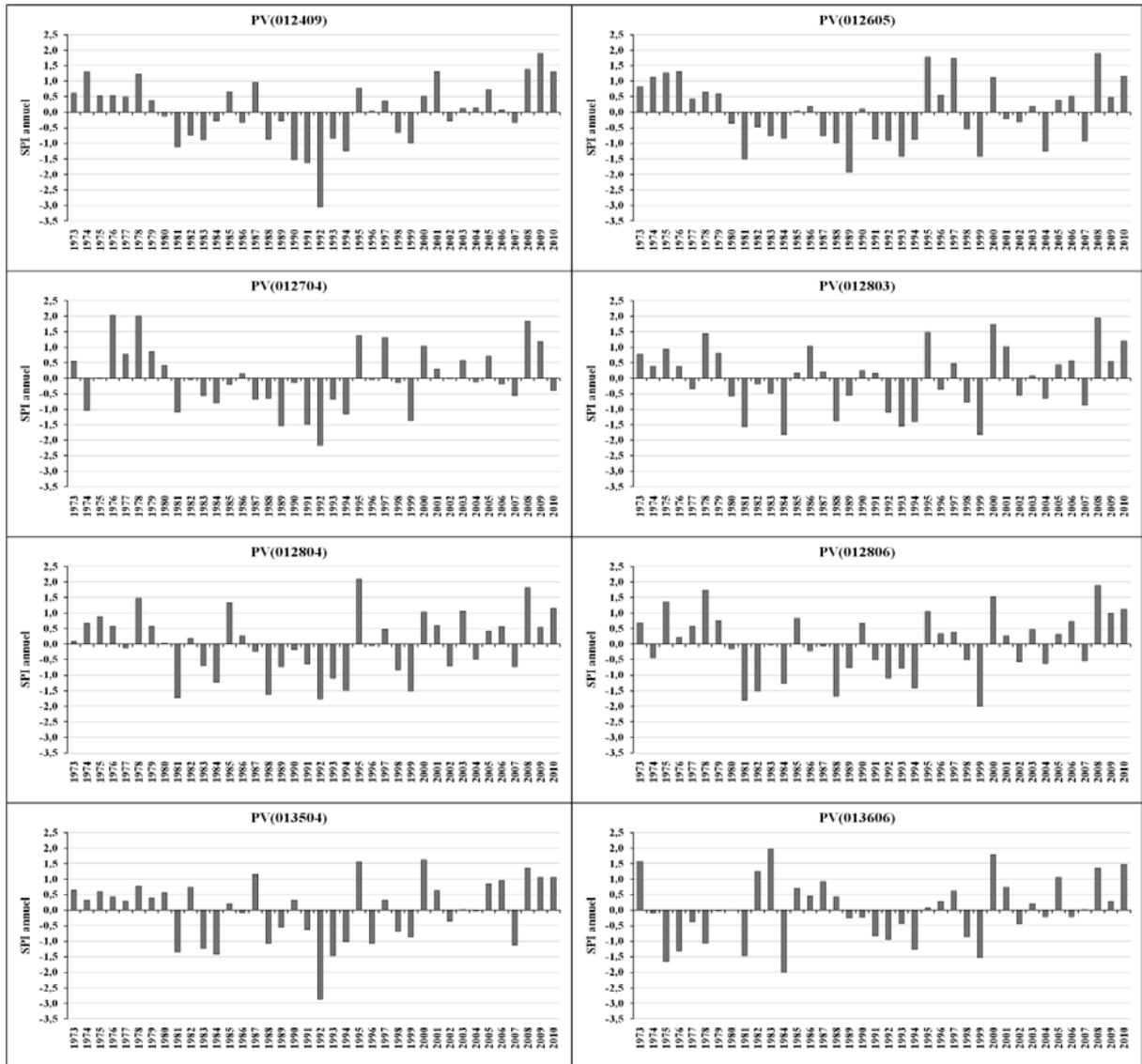


Figure 23. Evolution du SPI de la région d'étude pour la période 1973-2010

Meddi et Meddi (2007), étudient la variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie et constatent une réduction de la pluviométrie dans la décennie 1970 sur la quasi-totalité des postes pluviométriques étudiés. Ceci est avéré par l'enregistrement d'un déficit pluviométrique le plus sévère sur une série de pluie de 121 ans (1877-1997) du poste pluviométrique d'Oran qui s'étale de 1977 à 1988. De plus Taibi (2011) avance que le déficit pluviométrique augmente de l'Est à l'ouest du nord d'Algérie, respectivement avec des valeurs de 11%, 16% et 26%.

La caractérisation de la sécheresse des postes pluviométriques du sous bassin versant Tarhia par le SPI, montre une répartition égale des fréquences des années sèches et des années humides autour des fréquences des années normales. Elles prennent des valeurs moyennes respectives de 18.09%, 17.76% et 64.14%. Les valeurs par poste pluviométrique varient entre 13.16% et 23.68% pour les années sèches, entre 15.79% et 21.05% pour les années humides et entre 60.53% et 71.05 pour les années normales (Figure 24).

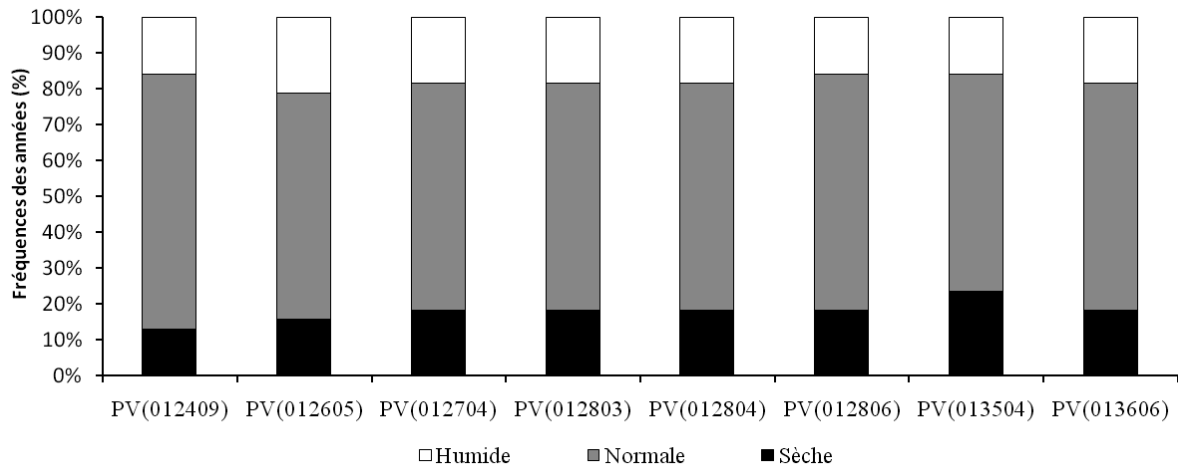


Figure 24. Les fréquences de la sécheresse (méthode SPI, 1973-2010)

IV.1.4. Indice SPI et RDI (période 1985-2010)

En vue d'étudier la sécheresse (indices SPI et RDI) dans le sous bassin versant Tarhia où le site d'expérimentation fait partie, le poste pluviométrique PV012803 (Hmadna-INRAA) a été choisi pour sa représentativité dans la région d'étude. En effet, les trois postes pluviométriques existants (PV012803, PV12804 et PV012806), possèdent des caractéristiques sensiblement identiques. Les coefficients de variations entre ces trois postes sont très faibles et prennent la valeur de 9.35% pour les altitudes, 10.47% pour l'éloignement vertical par rapport à la mer, 6.29% pour les pluies minimales, 2.17% pour les pluies maximales et 1.74 pour les pluies moyennes annuelles. De plus le PV012803 possède une série de température sur une période de 26 ans (1985-2010), qui servira au calcul de l'indice de reconnaissance de la sécheresse (RDI).

Les valeurs annuelles et saisonnières de l'indice SPI et RDI, indiquent une répartition identique des fréquences des années sèches et humides autour des années normales (Figure 25).

Les fréquences des années sèches varient entre 7.69% et 19.23% selon l'indice SPI et entre 7.69% et 23.08% selon l'indice RDI. Par contre, les années humides fluctuent entre 11.54% et 19.23% pour l'indice SPI et entre 15.38% et 23.08 pour l'indice RDI.

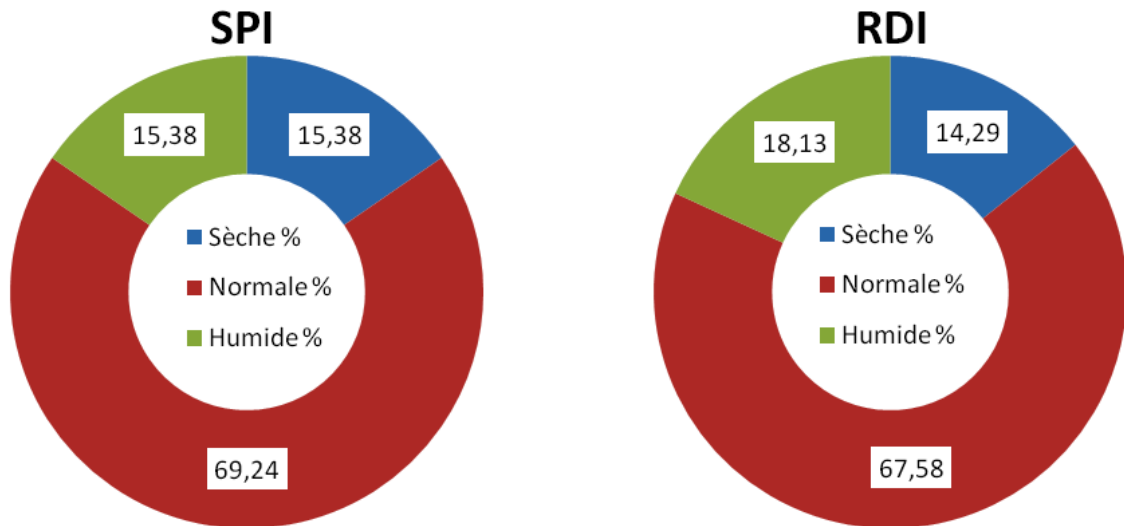


Figure 25. La sécheresse selon SPI et RDI (saisonnier et annuel, 1985-2010)

Sur la période des quatre années d'expérimentation du projet PERMED (2004-2007), la caractérisation de la sécheresse par les pluies annuelles (septembre-Août) selon SPI et le RDI, n'a détectée aucune sécheresse et l'ensemble des années étés normales. Par contre les pluies saisonnières ont discriminées entre les deux méthodes de caractérisation de la sécheresse (SPI et RDI). En effet, sur le cumul des trois saisons (automne, hiver et printemps), les quatre années sont normales avec un SPI qui varie entre -0.92 et -0.54, alors que le RDI classe la 1^{ère} et la 4^{ème} année comme modérément sèche avec des valeurs de -1.25 et -1.33. Pour la saison hiver-printemps, le SPI et RDI considèrent la 4^{ère} année plus sèche que la 1^{ère} année. Sur les années considérées comme normales, on assiste à une sécheresse printanière pour la 1^{ère} année, une sécheresse automnale pour la 3^{ème} année et une sécheresse hivernale pour la 4^{ème} année, alors que la 2^{ème} année est une année normale (Figure 26, annexe 9). Comme conséquence de ces sécheresses saisonnières, un déficit hydrique est enregistré. En effet, Amichi et al. (2011), avance qu'entre l'année 2004 et 2008, les disponibilités en eau dans les retenues n'ont permet d'irriguer qu'environ 7% par an la superficie classée du périmètre du Bas-Cheliff et la priorité est donnée pour les plantations arboricoles avec des doses de survie, au détriment des plantations annuelles. Dans cette situation, en climat semi-aride, la variation interannuelle et la répartition irrégulière des pluies au cours de la saison de croissance, sont à l'origine des chutes de rendement des cultures conduites en pluvial (Bouthiba et Debaeke, 2009).

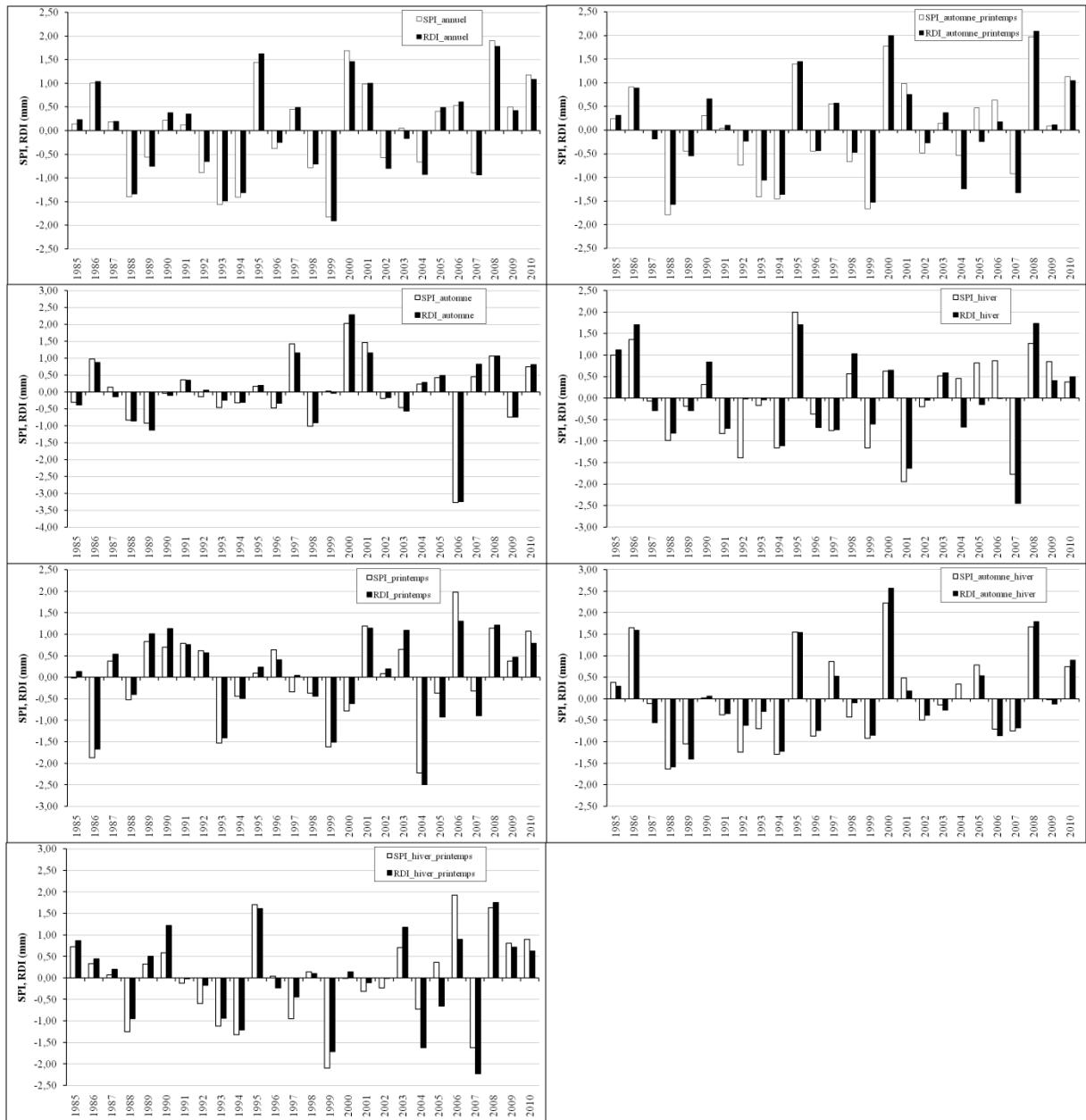


Figure 26. SPI et du RDI de la station INRAA-Hmadna (PV012803, 1985-2010)

IV.1.5. Conclusion

Le climat du Bas-Cheliff est du type Méditerranéen à étage bioclimatique semi-aride à aride. L'utilisation de la pluie annuelle ne peut caractériser à elle seule la sécheresse météorologique par l'indice SPI. L'étude de la sécheresse à l'échelle saisonnière en utilisant le coupe pluie-évapotranspiration potentielle par l'indice RDI, peut discriminer entre deux années considérées comme normales à l'échelle annuelle. En effet, sur les quatre années d'expérimentation (2004-2007), on a assisté à une sécheresse, automnale-printanière en 1^{ère} et 4^{ème} année, automnale en 3^{ème} année, hivernale en 4^{ème} année et printanière en 1^{ère} année.

IV.2. Etude du comportement de la luzerne

Dans le but d'étudier le comportement des différents cultivars de la luzerne pérenne dans les conditions du Bas-Cheliff, les résultats des quatre années d'expérimentation sont utilisés. Pour l'ANOVA, on a utilisé le rendement, la densité de plants et le recouvrement sur l'ensemble des quatre années. Après l'installation des tubes d'accès de la sonde à neutron, l'efficacité d'utilisation l'eau n'a été mesurée qu'à partir de la deuxième année. Pour cela l'AFD est utilisée seulement pour les trois dernières années.

IV.2.1. Analyse de la variance (ANOVA)

Généralement pour une culture annuelle, l'analyse de la variance classique (ANOVA) est suffisante pour étudier son comportement. Par contre pour les cultures pérennes, l'ANOVA à mesures répétées s'impose. C'est une analyse classique répétée dans le temps. Dans notre cas, on étudie le comportement de la luzerne pérenne échelonné sur plusieurs années (campagnes agricoles).

L'interprétation des résultats d'une ANOVA à mesures répétées dans le temps consiste à réaliser des analyses uni-variées simples, c'est-à-dire pour chaque temps et voir à partir de quel niveau les différences significatives apparaissent (Dagnelie, 2012).

IV.2.1.1. Analyse de la variance simple

IV.2.1.1.1. Rendement en matière sèche ($t\ ha^{-1}$)

L'étude de l'ANOVA pour l'essai en pluvial avec le test de la plus petite différence significative au seuil 5% (PPDS, $p < 5\%$), révèle des différences significatives pour les trois premières années et une différence très significative pour la dernière année. Par contre en irrigué, la différence est significative pour la 2^{ème} et la 4^{ème} année (Tableau 11).

En pluvial, 94%, 81% et 100% des cultivars ont des rendements inférieurs ou égaux à $4\ t\ ha^{-1}$ respectivement pour la 1^{ère}, 2^{ème} et la 4^{ème} année de production; contre 94% des cultivars en 3^{ème} année avec des rendements compris entre $4\ à\ 8\ t\ ha^{-1}$. Les rendements extrêmes oscillent dans les fourchettes de $0.93\div 4.09\ t\ ha^{-1}$, $2.25\div 4.79\ t\ ha^{-1}$, $4.50\div 8.34\ t\ ha^{-1}$ et $0.33\div 1.26\ t\ ha^{-1}$. En général, les cultivars Tamantit, Prosementi, Demnat 203 et Africaine occupent les derniers rangs. Par contre, Ameristand 801S, Mamuntanas, Ecotipo siciliano, ABT 805 et Erfoud 1 occupent les premiers rangs (Figure 27).

Tableau 11. Rendement de matière sèche des cultivars (4 année, pluvial et irrigué)

Cultivars	Rendement matière sèche en t ha ⁻¹							
	Pluvial				Irrigué			
	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4
ABT 805	2.11 bc	3.40 a-d	5.82 b-f	0.81 a-e	2.16	09.79 b-d	8.97	6.14 a-e
Africaine	1.21 bc	3.08 bd	4.70 ef	0.75 b-e	1.75	06.10 e	6.82	4.89 b-e
Ameristand 801S	4.09 a	4.27 ab	6.51 a-f	0.80 a-e	4.38	13.35 a	10.95	8.59 a
Coussouls	1.53 bc	2.33 cd	5.46 b-f	0.49 e	2.96	11.03 a-c	8.02	6.24 a-e
Demnat 203	1.24 bc	3.13 bd	4.88 d-f	0.56 e	2.51	09.02 b-e	8.37	7.79 a
Ecotipo siciliano	1.72 bc	3.48 a-d	6.95 a-d	0.59 e	3.61	11.31 ab	9.75	8.45 a
Erfoud 1	1.75 bc	3.47 a-d	7.60 ab	1.20 a-c	3.34	11.29 ab	9.18	7.88 a
Gabès-2355	1.63 bc	3.68 a-d	5.07 c-f	0.63 e	3.26	08.50 b-e	8.5	6.50 a-d
Magali	1.83 bc	2.53 cd	5.25 c-f	0.33 e	3.55	09.13 b-e	6.92	3.82 e
Mamuntanas	2.38 b	4.68 ab	8.34 a	1.24 ab	2.74	10.72 a-d	9.95	7.52 ab
Melissa	1.45 bc	3.89 ac	6.81 a-e	1.14 a-d	2.83	09.51 b-d	8.37	7.69 a
Prosementi	1.50 bc	2.28 cd	4.95 c-f	0.47 e	2.07	07.82 c-e	7.17	4.75 c-e
Rich 2	1.60 bc	4.79 a	7.05 a-c	0.72 c-e	1.82	07.80 c-e	7.18	4.49 de
Sardi 10	1.73 bc	3.53 a-d	6.58 a-f	1.26 a	2.55	10.09 a-d	9.09	7.90 a
Siriver	1.14 bc	3.84 a-d	6.31 a-f	0.71 c-e	2.69	08.78 b-e	9,00	6.63 a-d
Tamantit	0.93 c	2.25 d	4.50 f	0.68 de	2.11	07.53 de	7.64	7.21 a-c
Moyenne	1.74 *	3.41 *	6.05 *	0.77 **	2.77	9.48 *	8.49	6.65 **
PPDS 5%	1.40	1.62	1.08	0.50		3.37		2.66
Prob. %	2.40	4.10	1.80	0.40	12.00	1.50	8.90	0.80

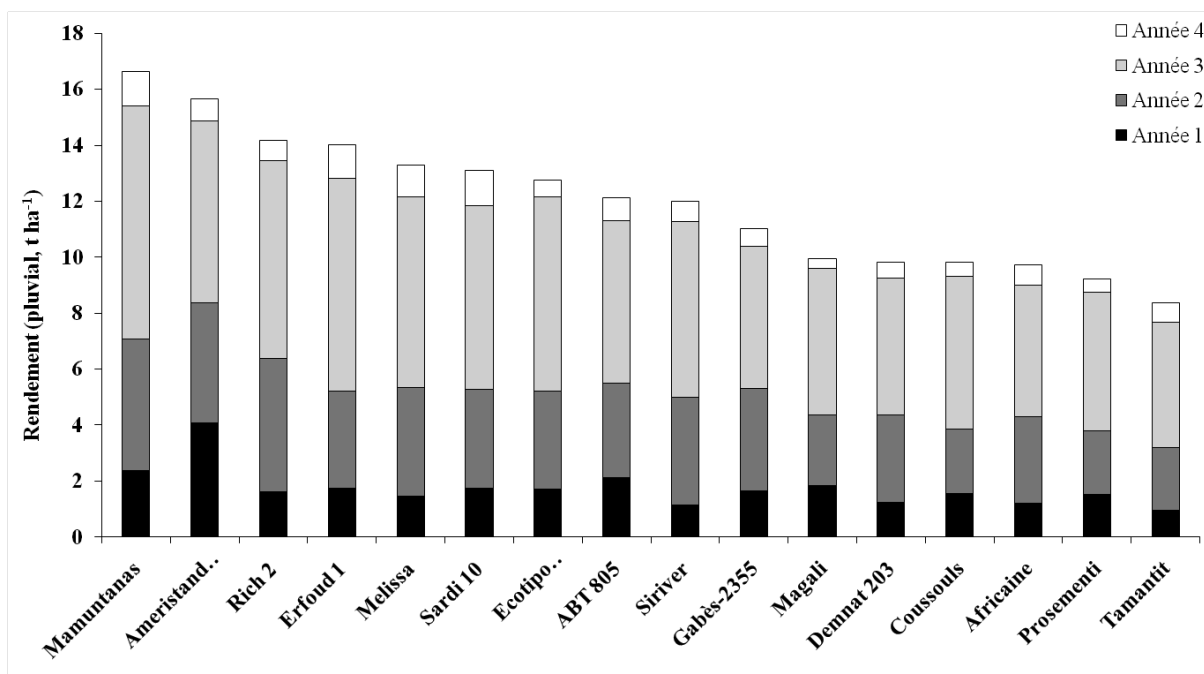


Figure 27. Evolution du rendement des cultivars (pluvial, 4 années)

En irrigué, 94% des cultivars ont des rendements inférieurs ou égaux à 4 t ha⁻¹ en 1^{ère} année. En 2^{ème} et 3^{ème} année, les 69% de l'effectif prennent des valeurs comprises entre 8 et 12 t ha⁻¹. Par contre en 4^{ème} année, le rendement des 81% de l'effectif est borné entre 4 et 8 t ha⁻¹.

En irrigué, les cultivars Ameristand 801S, Mamuntanas, Ecotipo siciliano, ABT 805 et Erfoud1 sont parmi les plus productifs. Par contre, Tamantit, Prosementi, Demnat 203 et Africaine sont parmi les moins productifs (Figure 28). Ameristand 801S est le cultivar le plus productif avec un rendement de 13.35 t ha⁻¹ en 2^{ème} année irrigué. Cette valeur est comparable à celle trouvée par Saeed et El-Nadi (1997) au soudan sur une luzerne conduite sous un régime hydrique d'une fréquence d'irrigation de 65 mm par semaine (15.3 t ha⁻¹).

En Tunisie, sur les mêmes cultivars que les nôtres, Hayek et al. (2008) ont fait subir un stress hydrique estival par arrêt de l'irrigation pendant 43, 56 et 65 jours respectivement pour la 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} année de production. Le rendement cumulé en matière sèche montre que les cultivars Ecotipo siciliano, Ameristand 801S et Mamuntanas sont comptés parmi les plus rentables. Par contre, les cultivars Tamantit, Africaine et Prosementi sont les moins productifs.

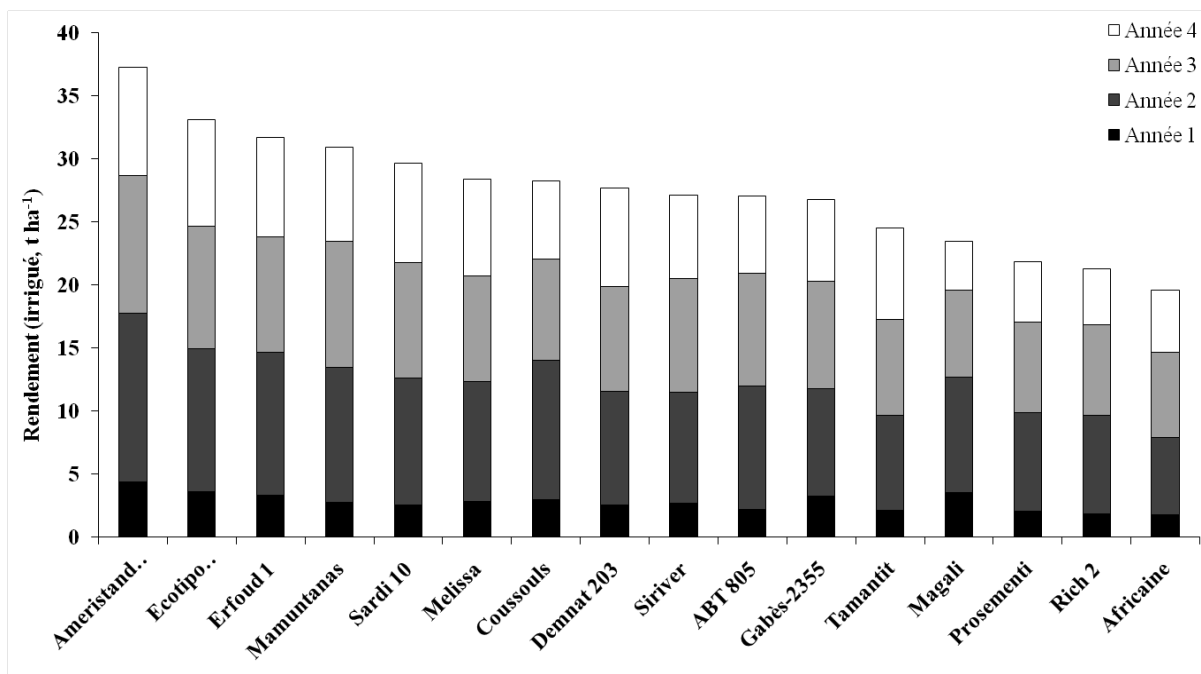


Figure 28. Evolution du rendement des cultivars (irrigué, 4 années)

Benabderrahim et al. (2015) ont mené des essais sur les mêmes cultivars sous deux conditions d'irrigation. Le premier a été normalement irrigué à l'évapotranspiration potentielle et le second a été réalisé sous un stress hydrique appliqué en arrêtant l'irrigation pendant 8 semaines en période estivale. Les résultats obtenus montrent que Ameristand 801S présente un rendement élevé en matière sèche, qui est similaire au notre.

Bouizgaren et al. (2010), sur une moyenne de trois campagnes de production (2005-2006, 2006-2007 et 2007-2008) a obtenu un rendement annuel moyen de 10.57 t ha^{-1} . Le cultivar le plus productif est Ameristand 801s avec 12.37 t ha^{-1} et le cultivar Africaine est le moins productif avec 8.8 t ha^{-1} . Ces résultats concordent avec les nôtres, avec des rendements respectifs de 10.96 t ha^{-1} et 5.93 t ha^{-1} et un rendement moyen annuel de 8.20 t ha^{-1} .

En général, les rendements moyens semblent diminuer à partir de la 3^{ème} année. En effet, nous avons enregistré respectivement pour l'essai pluvial et irrigué, les rendements moyens de 6.05 t ha^{-1} et 8.49 t ha^{-1} en 3^{ème} année, contre 0.77 t ha^{-1} et 6.66 t ha^{-1} en 4^{ème} année.

Haffani et al. (2014) constatent que la matière sèche produite par une vesce est affectée par le régime hydrique appliqué durant les trois années d'expérimentation.

Farissi et al. (2013), ont mesuré l'effet de trois niveaux de déficit hydrique en fonction de la capacité au champ (25%CC, 50%CC et 75%CC) sur les propriétés agro-physiologiques et biochimiques de quatre populations de luzerne pérenne d'origine marocaine. Ils trouvent que la réduction de la matière sèche est très importante par rapport au traitement optimal (75%CC) et la perte de production augmente avec la sévérité du déficit hydrique.

Cela confirme nos résultats trouvés en quatrième année. En effet, la réduction de la production entre les deux essais est de 88.44% soit une différence de 5.89 t ha⁻¹.

IV.2.1.1.2. Densité de plants (Plt m⁻²)

L'ANOVA a fait apparaître des différences très hautement significatives uniquement pour la 1^{ère} année de production (Tableau 12).

En pluvial, la densité de plants maximale de la 1^{ère} à la 4^{ème} année prend les valeurs de 142.08, 51.25, 33.75 et 17.50 plt m⁻² respectivement pour Prosementi, Gabès-2355, Magali et Mamuntanas. Par contre les valeurs minimales sont de 100, 30.83, 14.17 et 5.42 plt m⁻² respectivement pour Tamantit (1^{ère} et 2^{ème} année) et Ameristand 801S (3^{ème} et 4^{ème} année).

En irrigué, les valeurs minimales moyennes de la densité de plants sont enregistrées pour Prosementi avec 156.25 plt m⁻², Ecotipo siciliano avec 78.33 plt m⁻², Demnat 203 avec 45.83 plt m⁻² et Ameristand 801S 35.83 plt m⁻² respectivement de la 1^{ère} à la 4^{ème} année.

En général pour les deux essais, le coefficient de variation de la densité de plants croit de la 1^{ère} à la 4^{ème} année (Figure 29 et 30). La survie moyenne de la 3^{ème} à la 4^{ème} année est de 50.79 % pour le pluvial et 63.88 % pour l'irrigué.

Tableau 12. Densité de plants des cultivars (4 années, pluvial et irrigué)

Cultivars	Densité de plants en plt m ⁻²							
	Pluvial				Irrigué			
	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4
ABT 805	125.00 a-e	38.33	17.50	13.33	148.75	60.00	44.58	29.17
Africaine	121.67 b-e	39.17	22.50	11.26	123.75	43.75	28.33	19.99
Ameristand 801S	130.00 a-d	32.50	14.17	05.42	136.25	72.92	44.58	35.83
Coussouls	137.92 a-c	36.25	25.00	12.92	155.83	63.75	37.92	23.75
Demnat 203	142.08 a	32.08	16.25	06.66	138.75	52.08	45.83	30.42
Ecotipo siciliano	128.75 a-d	48.75	32.50	15.00	148.33	78.33	40.83	28.33
Erfoud 1	135.00 a-d	35.42	22.08	12.50	145.42	58.33	40.42	27.08
Gabès-2355	120.83 c-e	51.25	24.58	12.92	130.83	53.33	35.00	20.42
Magali	135.00 a-d	47.08	33.75	12.92	155.83	69.17	35.42	16.67
Mamuntanas	131.67 a-d	47.50	30.00	17.50	137.08	66.25	41.67	29.58
Melissa	118.75 de	37.08	22.08	11.24	135.00	67.50	40.42	29.17
Prosementi	142.08 a	35.83	21.67	13.33	156.25	59.17	25.83	15.00
Rich 2	138.75 ab	42.08	21.67	13.75	138.33	48.33	38.33	17.50
Sardi 10	122.92 b-e	32.50	19.58	10.42	120.42	56.67	38.33	23.33
Siriver	108.75 ef	43.33	21.25	08.33	117.08	46.25	36.25	22.08
Tamantit	100.00 f	30.83	19.58	07.48	103.33	59.17	34.17	20.00
Moyenne	127.45***	39.37	22.76	11.56	136.95	59.68	37.99	24.27
PPDS 5%	17.44							
Prob.%	0.00	63.50	19.10	52.30	34.40	15.00	83.10	14.20

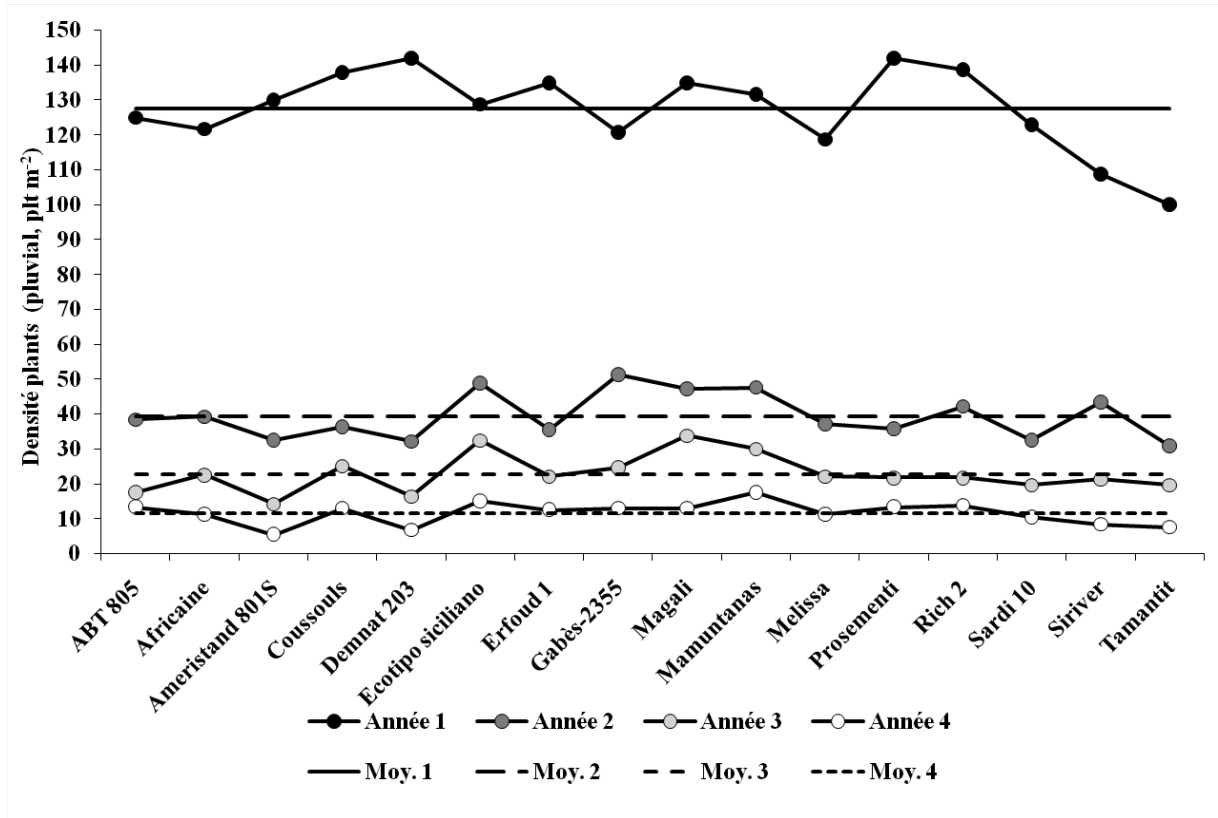


Figure 29. Evolution temporelle de la densité de plants en pluvial

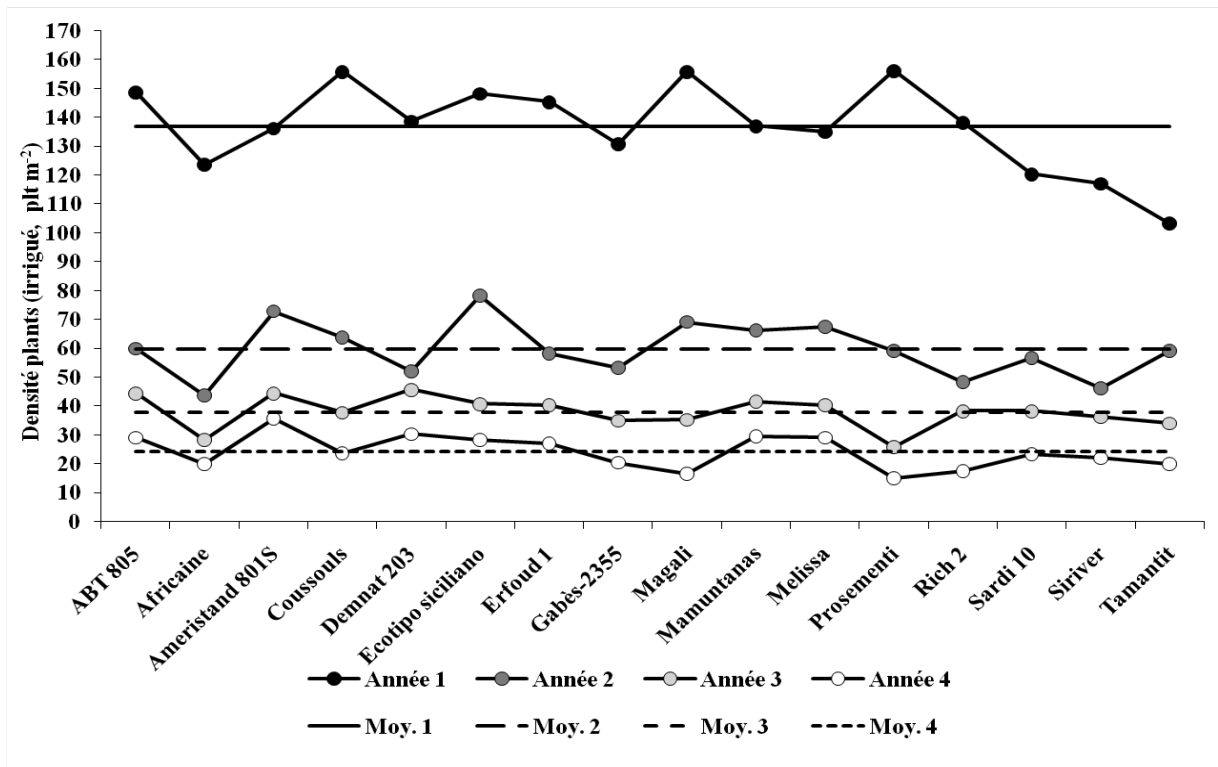


Figure 30. Evolution temporelle de la densité de plants en irrigué

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 32.61% de pluie (110 mm) et une augmentation d'environ 5% (61.3 mm) de l'évapotranspiration.

Le taux de régression moyen de la 3^{ème} à la 4^{ème} année est de 49.21 % pour l'essai en pluvial, et de 36.12 % pour l'essai en irrigué. Sur cinq populations de luzerne exploitées durant deux années, Alboudi (1988) obtient un taux de régression moyen de 37 %.

Pour l'essai en pluvial, les cultivars ABT 805 et Rich 2 sont plus pérennes avec un taux de régression respectif de 23.86 et 36.54 %, tandis que les cultivars Tamantit et Ameristand 801S sont les moins pérennes avec un Treg respectif de 61.79 et 61.76 %. Par contre en irrigué, Ameristand 801S est le plus pérenne (19.63 %) et Rich 2 est le moins pérenne (54.35 %) (Figure 31).

L'étude du taux de régression de la densité de plants de la 3^{ème} à la 4^{ème} année, nous révèle que les cultivars Ameristand 801S, Mamuntanas et Ecotipo siciliano sont pérennes en irrigué. Tandis que ABT 805, Rich2, Prosementi, Erfoud1 et Mamuntanas le sont en pluvial.

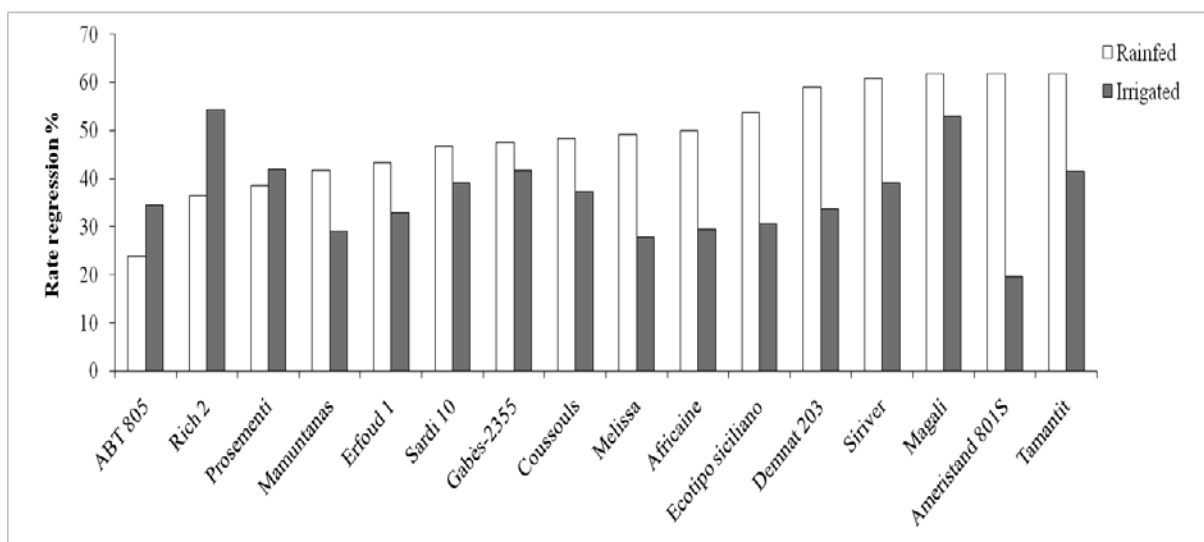


Figure 31. Le taux de régression (Treg) des cultivars en irrigué et pluvial

IV.2.1.1.3. Le recouvrement linéaire (%)

Pour les deux essais, le recouvrement moyen croit de la 1^{ère} à la 2^{ème} année puis chute jusqu'à la 4^{ème} année. Pour l'ensemble des années, l'ANOVA n'a révélée aucune différence significative entre les cultivars, sauf pour la dernière année en irrigué (Tableau 13).

Il semble que la réduction du recouvrement de la 2^{ème} à 4^{ème} année soit la conséquence de l'effet âge (Mauriès, 1994) et d'une sécheresse persistante.

Cette dernière est l'effet jumelé de la faible pluviométrie et d'une évapotranspiration très importante (Annicchiarico et al., 2011), ce qui engendre un déficit pluviométrique conséquent.

Tableau 13. Le recouvrement linéaire des cultivars (4 années, pluvial et irrigué)

Cultivars	Recouvrement linéaire en %								
	Pluvial				Irrigué				
	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	
ABT 805	27.00	58.37	33.92	22.45	56.25	76.58	63.31	52.84	a-d
Africaine	39.25	59.87	38.25	17.35	45.00	67.63	48.31	35.42	c-e
Ameristand 801S	60.63	67.50	35.42	16.90	78.75	91.92	76.69	65.88	a
Coussouls	35.00	59.00	37.75	18.95	78.75	87.58	56.69	45.17	a-e
Demnat 203	50.00	63.00	35.67	13.65	83.17	91.25	66.25	63.50	ab
Ecotipo siciliano	45.00	66.25	47.11	26.60	81.25	91.38	61.69	59.00	ab
Erfoud 1	33.75	59.87	37.33	23.50	78.75	81.92	64.00	55.84	a-c
Gabès-2355	53.75	66.62	45.67	17.40	75.00	80.96	61.12	55.21	a-c
Magali	66.38	75.00	38.17	16.50	62.50	81.33	51.50	29.30	e
Mamuntanas	52.50	68.38	40.83	27.40	53.75	80.92	65.00	59.71	ab
Melissa	43.75	66.38	41.83	24.70	81.25	81.71	64.00	60.21	ab
Prosementi	42.50	63.25	34.67	15.55	67.50	76.83	50.62	33.38	de
Rich 2	43.75	61.00	33.75	20.45	51.25	76.75	54.75	34.42	de
Sardi 10	39.50	60.50	34.42	20.00	71.71	77.50	60.19	50.59	a-d
Siriver	43.75	62.13	30.75	15.65	51.25	76.25	56.31	44.05	b-e
Tamantit	38.50	51.87	33.33	12.90	80.67	81.25	62.44	51.50	a-d
Moyenne	45.66	62.09	37.43	19.37	69.45	80.46	60.18	49.75**	
PPDS 5%								20.79	
Prob.%	69.60	34.90	65.60	14.50	35.80	12.10	11.60	0.90	

En pluvial, le recouvrement en 1^{ère} année fluctue entre 27.00% (ABT 805) et 66.38% (Magali), en 2^{ème} année entre 51.88% (Tamantit) et 75.00% (Magali), en 3^{ème} année entre 70.75% (Siriver) et 47.11% (Ecotipo siciliano), et en 4^{ème} année entre 12.90% (Tamantit) et 27.40% (Melissa).

En irrigué, il fluctue entre 45.00% (Africaine) et 83.17% (Demnat 203) en 1^{ère} année, en 2^{ème} année entre 67.63% (Africaine) et 91.92% (Ameristand 801S), en 3^{ème} année entre 48.31% (Africaine) et 76.69% (Ameristand 801S), et en 4^{ème} année entre 29.29% (Magali) et 27.40% (Ameristand 801S).

Khelifi (2008), en travaillant sur les mêmes cultivars dans des conditions sub-humide, trouve qu'Ameristand 801S, Mamuntanas, Ecotipo siciliano et Erfoud 1 sont les plus couvrant en pluvial. Alors qu'en irrigué, c'est Mamuntanas et Gabès-2355 qui sont les plus couvrants.

Pour faciliter la description de la répartition du recouvrement entre les cultivars, on partage les cultivars par classe de recouvrement : Classe C1: 0-25%; Classe C2: 25-50%; Classe C3: 50-75% et Classe C4: 75-100%). En pluvial, de la 1^{ère} à la 4^{ème} année, les effectifs de 69%, 94%, 100% et 88% des cultivars appartient respectivement à la classe de recouvrement C2, C3, C2 et C1. Par contre en irrigué, les effectifs de 50%, 94%, 88% et 63% des cultivars font partie des classes de recouvrement respectives de C4, C4, C3 et C3 (Figure 32).

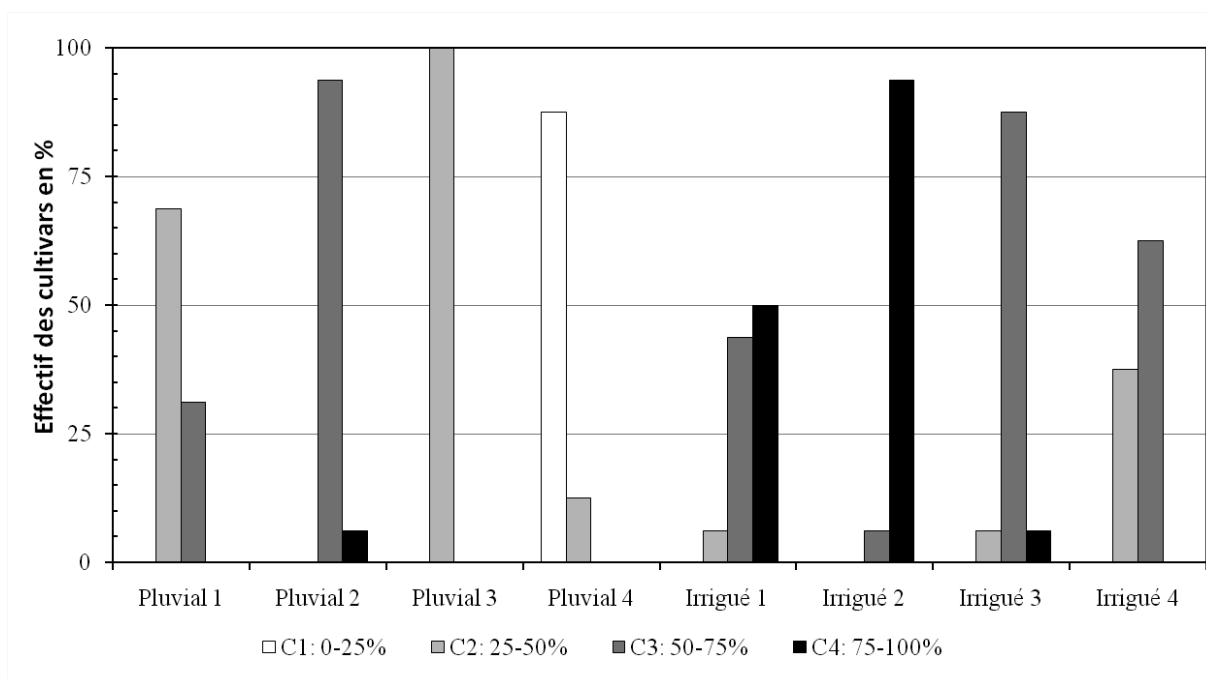


Figure 32. Répartition des cultivars en classes de recouvrement (pluvial et irrigué)

IV.2.1.1.4. L'efficacité d'utilisation de l'eau (Kg m^{-3})

Pour l'ensemble des années (pluvial et irrigué), la différence de la EUE entre les cultivars est significative à l'exception de la 3^{ème} année en irrigué.

En pluvial, l'effectif de 81.25% des cultivars en 2^{ème} année, ont des EUE comprises entre 1 et 2 kg m^{-3} et 75% des cultivars prennent des valeurs bornées entre 2 et 3 kg m^{-3} en 2^{ème} année irrigué. A partir de la 3^{ème} et la 4^{ème} année en pluvial qu'en irrigué, la répartition des cultivars dans les classes d'efficacité d'utilisation de l'eau est la même. En effet, 56.26% des effectifs ont des EUE comprises entre 2 et 3 kg m^{-3} en 3^{ème} année. Par contre, en 4^{ème} année, la totalité des cultivars ont des EUE inférieures à l'unité (Figure 33 et 34).

De la 3^{ème} à la 4^{ème} année d'expérimentation aussi bien en pluvial qu'en irrigué, les cultivars Ameristand 801S, Mamuntanas, Ecotipo siciliano et Erfoud1 sont comptés parmi les plus efficaces. Par contre, Tamantit, Africaine et Prosementi sont moins efficaces (Tableau 14).

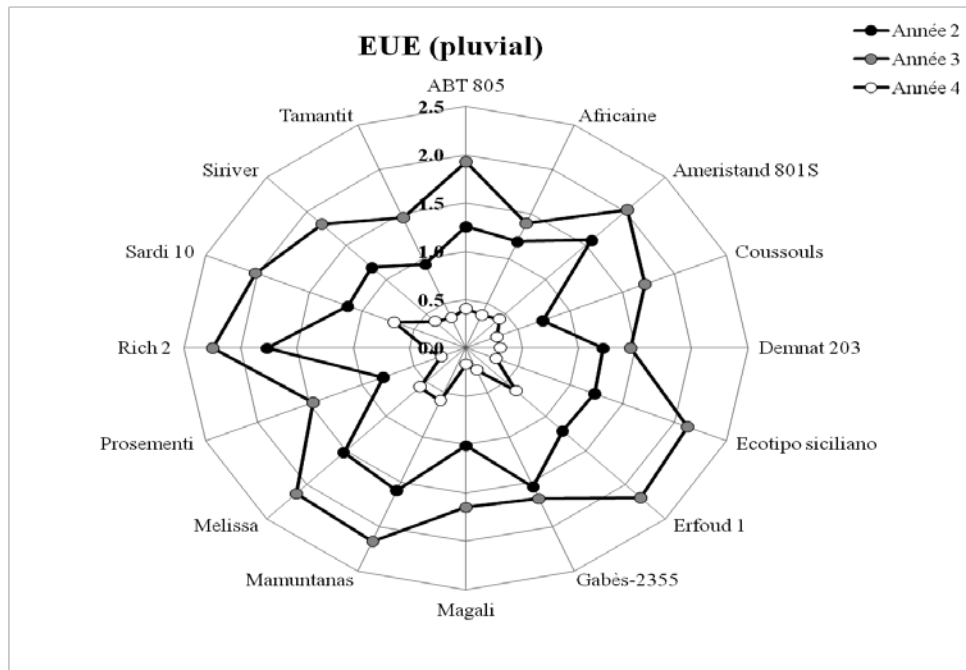


Figure 33. Evolution de l'efficace d'utilisation de l'eau des cultivars en pluvial

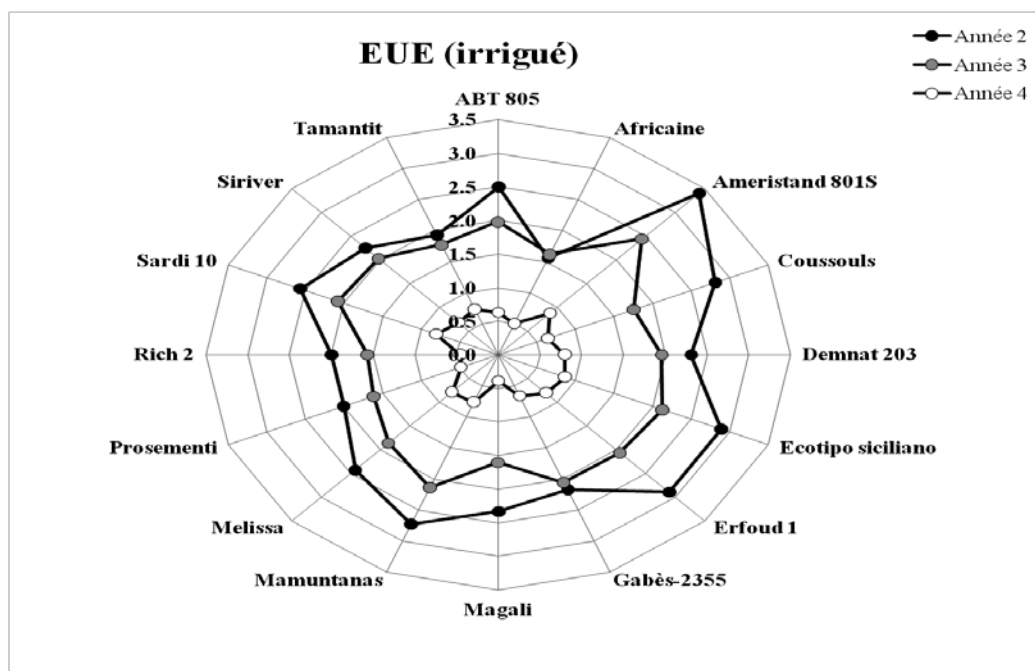


Figure 34. Evolution de l'efficace d'utilisation de l'eau des cultivars en irrigué

Tableau 14. L'efficacité d'utilisation de l'eau des cultivars (3 années, pluvial et irrigué)

Cultivars	Efficacité de l'utilisation de l'eau kg m ⁻³					
	Pluvial			Irrigué		
	Année 2	Année 3	Année 4	Année 2	Année 3	Année 4
ABT 805	1.26 a-d	1.93 a-d	0.41 a-e	2.50 b-d	1.98	0.63 a-e
Africaine	1.19 a-d	1.40 d	0.36 b-e	1.56 e	1.62	0.50 b-e
Ameristand 801S	1.58 a-c	2.02 a-c	0.42 a-e	3.40 a	2.44	0.88 a
Coussouls	0.74 d	1.72 a-d	0.29 de	2.81 a-c	1.76	0.64 a-e
Demnat 203	1.22 a-d	1.46 cd	0.30 c-e	2.31 b-e	1.96	0.80 a
Ecotipo siciliano	1.23 a-d	2.13 ab	0.29 de	2.89 ab	2.13	0.86 a
Erfoud 1	1.21 a-d	2.19 ab	0.63 ab	2.89 ab	2.06	0.81 a
Gabès-2355	1.56 a-c	1.69 a-d	0.25 e	2.17 b-e	2.05	0.66 a-d
Magali	1.01 cd	1.65 b-d	0.17 e	2.33 b-e	1.6	0.39 e
Mamuntanas	1.60 ab	2.16 ab	0.59 a-c	2.73 a-d	2.14	0.77 ab
Melissa	1.53 a-c	2.13 ab	0.57 a-d	2.42 b-d	1.86	0.79 a
Prosementi	0.79 d	1.47 cd	0.24 e	2.00 c-e	1.61	0.49 c-e
Rich 2	1.76 a	2.25 a	0.35 b-e	2.00 c-e	1.56	0.46 de
Sardi 10	1.13 b-d	2.02 a-c	0.69 a	2.57 a-d	2.08	0.81 a
Siriver	1.18 b-d	1.81 a-d	0.39 b-e	2.25 b-e	2.02	0.68 a-d
Tamantit	0.94 d	1.46 cd	0.34 b-e	1.93 de	1.77	0.74 a-c
Moyenne	1.25*	1.84*	0.39*	2.42*	1.92	0.68**
PPDS 5%	0.58	0.57	0.29	0.85		0.27
Prob.%	2.60	2.20	2.20	1.50	26.80	0.80

IV.2.1.2. Analyse de la variance à mesures répétées

Cette étude repose sur l'analyse de la variance des résultats moyens des cultivars sur les quatre années d'expérimentation.

IV.2.1.2.1. Rendement en matière sèche

L'ANOVA réalisée sur les quatre paramètres mesurés (rendement, densité de plants, efficacité d'utilisation de l'eau et recouvrement linéaire), révèle des différences très hautement significatives entre les quatre années d'expérimentation (Tableau 15).

La sensibilité de la luzerne aux maladies et aux chutes de rendement devient importante en fonction de l'âge. En effet, Mauriès (1994) remarque que la luzerne atteint son rendement maximal en troisième année de production, au-delà il a tendance à diminuer.

Tableau 15. Analyse de la variance interannuelle et statistique descriptive

	ANOVA							Statistiques descriptives				
	Essais	Sources	DDL	SC	MC	F	Pr > F	Min.	Max.	Moy.	Ecartype	PPDS 5%
Rendement	Pluvial	Inter-année	3	256,11	85,37	134,62	1,30E-26	0,33	8,35	2,99***	2,16	0,42
		Intra-année	60	38,05	0,63							
		Total	63	294,16								
	Irrigué	Inter-année	3	421,24	140,41	76,14	1,95E-20	1,75	13,34	6,85***	2,91	0,58
		Intra-année	60	110,65	1,84							
		Total	63	531,89								
Densité de plants	Pluvial	Inter-année	3	133285,44	44428,48	800,15	2,54E-48	5,12	142,08	50,28***	46,57	4,64
		Intra-année	60	3331,52	55,53							
		Total	63	136616,96								
	Irrigué	Inter-année	3	121494,5	40498,17	416,99	4,01E-40	15	156,25	64,73***	44,95	6,03
		Intra-année	60	5827,15	97,12							
		Total	63	127321,65								
Recouvrement	Pluvial	Inter-année	3	15153,32	5051,11	98,16	4,11E-23	12,9	75	41,14***	17,02	3,89
		Intra-année	60	3087,58	51,46							
		Total	63	18240,89								
	Irrigué	Inter-année	3	8233,29	2744,43	25,96	6,88E-11	29,29	91,92	64,96***	15,21	4,5
		Intra-année	60	6343,59	105,73							
		Total	63	14576,87								
Efficience	Pluvial	Inter-année	2	16,96	8,48	127,61	2,85E-19	0,17	2,25	1,16***	1,65	0,13
		Intra-année	45	2,99	0,07							
		Total	47	19,96								
	Irrigué	Inter-année	2	25,67	12,83	131,88	1,51E-19	0,39	3,4	1,67***	0,8	0,15
		Intra-année	45	4,38	0,1							
		Total	47	30,05								

En irrigué, le rendement moyen annuel, croit de 2.77 t ha⁻¹ à 9.49 t ha⁻¹ en 2^{ème} année et après chute jusqu'à la 4^{ème} année avec 6.6 t ha⁻¹. Par contre en pluvial, il chute de la 3^{ème} à la 4^{ème} année. Pour les deux essais, les cultivars Ameristand 801S, Ecotipo siciliano et Mamuntanas sont comptés parmi les plus rentables (Figure 35).

Pecetti et al. (2008), en travaillant sur neuf cultivars de luzerne dans les conditions climatiques du nord d'Italie (Lodi) durant trois années (2004, 2005 et 2006), trouvent que le rendement de matière sèche augmente de la 1^{ère} à la 2^{ème} année pour chuter en 3^{ème} année avec une différence très significative entre années.

Zoghlami et al. (1995), en travaillant sur trois associations de luzerne-graminée en zone semi-aride de Tunisie sur deux années de production conduites en irrigation d'appoint, trouvent que l'effet année est très hautement significative sur le rendement.

Les résultats de Hayek et al. (2008) trouvés en irrigué sur les mêmes cultivars que les nôtres conduits en 2005, 2006 et 2007 sous un stress hydrique estival par arrêt d'irrigation respectivement de 43, 56 et 65j jours, montrent le même comportement du rendement moyen annuel. En effet, il est passé de 9.45 t ha⁻¹ en 1^{ère} année à 14.99 t ha⁻¹ et 2^{ème} année puis chute en 3^{ème} année (12.33 t ha⁻¹) avec une différence très significative. Les cultivars Ecotipo siciliano, Ameristand 801S et Mamuntanas sont les plus rentables. Cette rentabilité est aussi confirmée par Pecetti et al. (2008a) sur deux années d'expérimentation en pluvial (2005/2006 et 2006/2007).

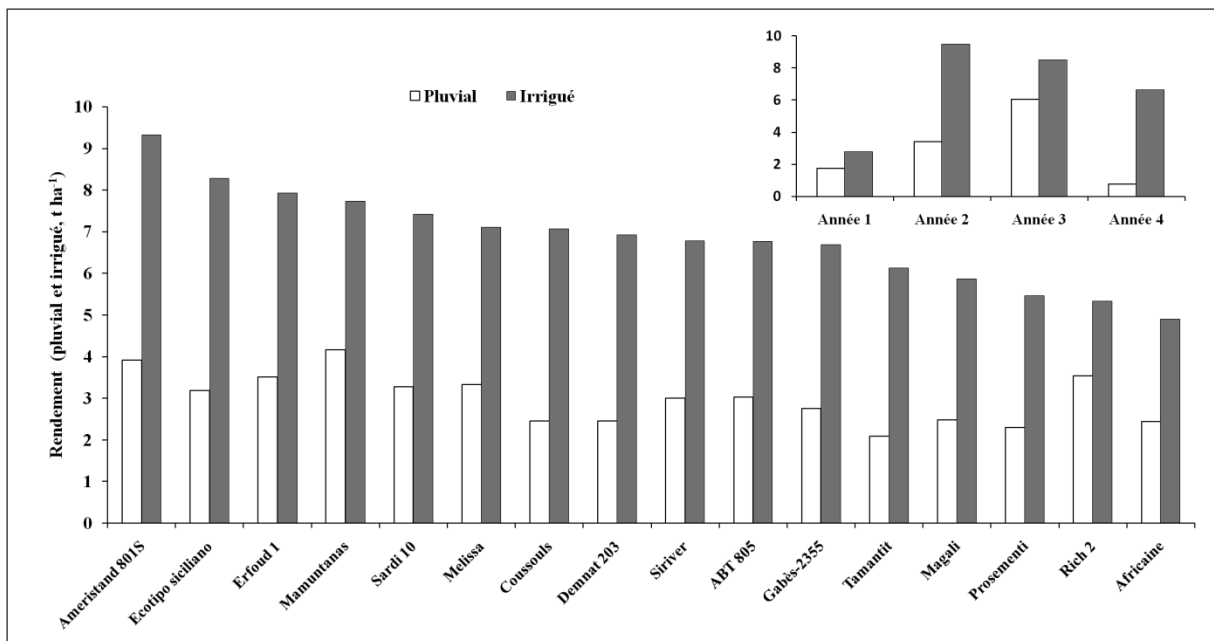


Figure 35. Evolution interannuelle du rendement (pluvial et irrigué)

Jefferson et Cutforth (1997), ont réalisé des essais au sud-ouest de la Saskatchewan (Canada), dans le but d'étudier l'effet de l'âge du peuplement de luzerne et l'effet de la température sur sa production en milieu semi-aride conduit en pluvial. Ils trouvent que les peuplements de la 1^{ère} année produisent plus que ceux de 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} année. C'est-à-dire que le rendement est influencé par l'âge et les conditions climatiques. En effet pour expérimentation, il semble que le rendement moyen annuel pour l'essai en pluvial est linéairement proportionnel à la pluviométrie avec un coefficient de détermination de 0.84. Sa régression multiple avec la pluie et l'évapotranspiration a donné des résidus de -0.11, -1.11, 1.02 et 0.20 t ha⁻¹ respectivement de la 1^{ère} année à la 4^{ème} année. L'équation de régression multiple est :

$$\text{Rendement (t ha}^{-1}\text{)} = 44.684 \cdot 10^{-3} * P(\text{mm}) + 7.133 \cdot 10^{-3} * ET(\text{mm}) - 18.918$$

Avec :

Rendement : Rendement annuel en matière sèche en t ha⁻¹

P(mm) : Pluviométrie annuelle en mm

ET(m) : Evapotranspiration potentielle annuelle en mm

IV.2.1.2.2. Densité de plants

De la 1^{ère} à la 4^{ème} année de production, la densité des plants décroît de 127.45 à 11.56 plt m⁻² pour l'essai en pluvial avec une survie de 9.10 % et de 136.95 à 24.27 plt m⁻² pour l'essai en irrigué avec une survie de 17.72 % (Figure 36).

En pluvial, la densité moyenne annuelle des plants (Dp) fluctue entre 39.48 et 57.19 plt m⁻² avec une moyenne générale de 50.29 plt m⁻². Ecotipo siciliano, Mamuntanas et Erfoud 1 sont parmi les cultivars les plus denses. Tandis que Tamantit et Africaine sont les moins denses.

En irrigué, la Dp moyenne annuelle oscille entre 53.96 plt m⁻² et 73.96 plt m⁻² avec une moyenne générale de 64.73 plt m⁻². Ecotipo siciliano, Ameristand 801S et ABT 805 ont une Dp plus élevée, par contre Tamantit et Africaine sont les moins denses.

Sur cinq années d'exploitation de luzerne en régime pluvial, Delgado (2006) signale que le Dp est passée de 232 plt m⁻² à 38 plt m⁻² avec une survie de 16.37 %. Cette survie est comparable à la notre en régime irrigué.

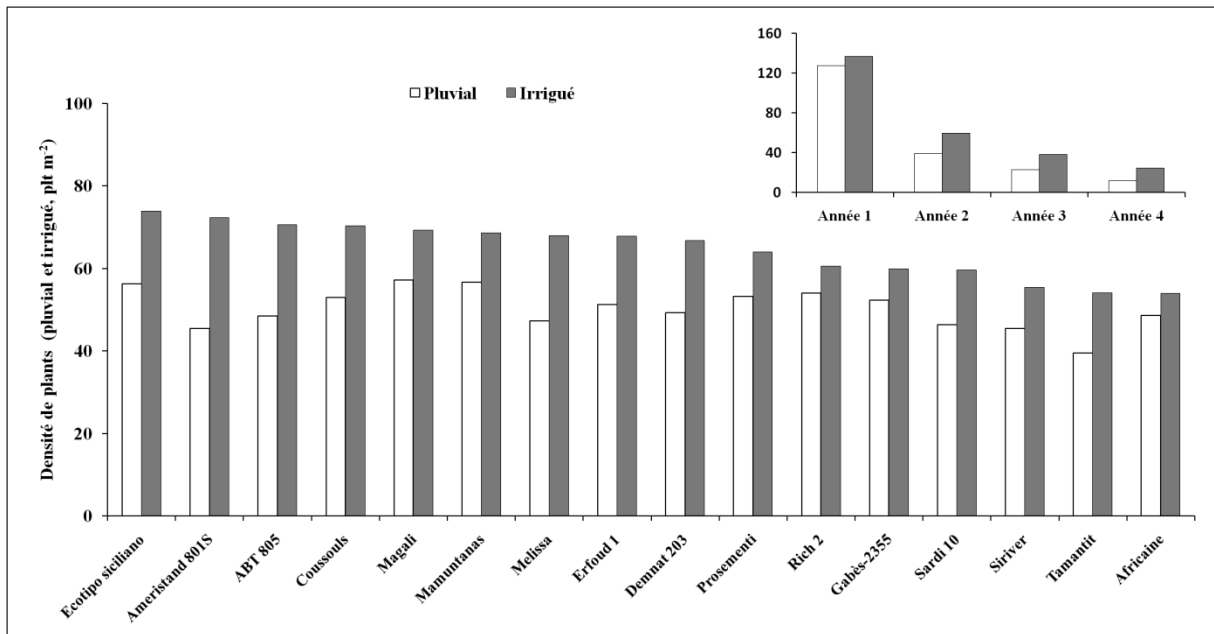


Figure 36. Evolution interannuelle de la densité de plants (pluvial et irrigué)

IV.2.1.2.3. Recouvrement linéaire

Pour les deux essais, le recouvrement moyen annuel augmente en 2^{ème} année puis décroît jusqu'à la 4^{ème} année. Il prend des valeurs extrêmes de 62.09% et 19.37% en pluvial, alors qu'elles sont de 80.46% et 49.75% pour l'irrigué (Figure 37).

Sur les trois premières années, l'écart entre le pluvial et l'irrigué est resté sensiblement le même avec une moyenne de 21.64%. Il est maximal en dernière année avec une valeur de 30.36%.

Du pluvial à l'irrigué, le recouvrement moyen annuel des cultivars, oscille dans la fourchette 34.15-49.01% et 49.09-78.31% autour d'une moyenne de 41.14% et 64.96% avec des coefficients de variation respectifs de 10.90% et 12.89%.

La réduction du recouvrement linéaire est nettement marquée en essai pluvial. Ce phénomène est la réaction de la plante vis à vis d'une sécheresse. En effet Lemaire et Pflimlin (2007) remarquent une réduction de la croissance foliaire pour des plantes fourragères soumises à une forte sécheresse.

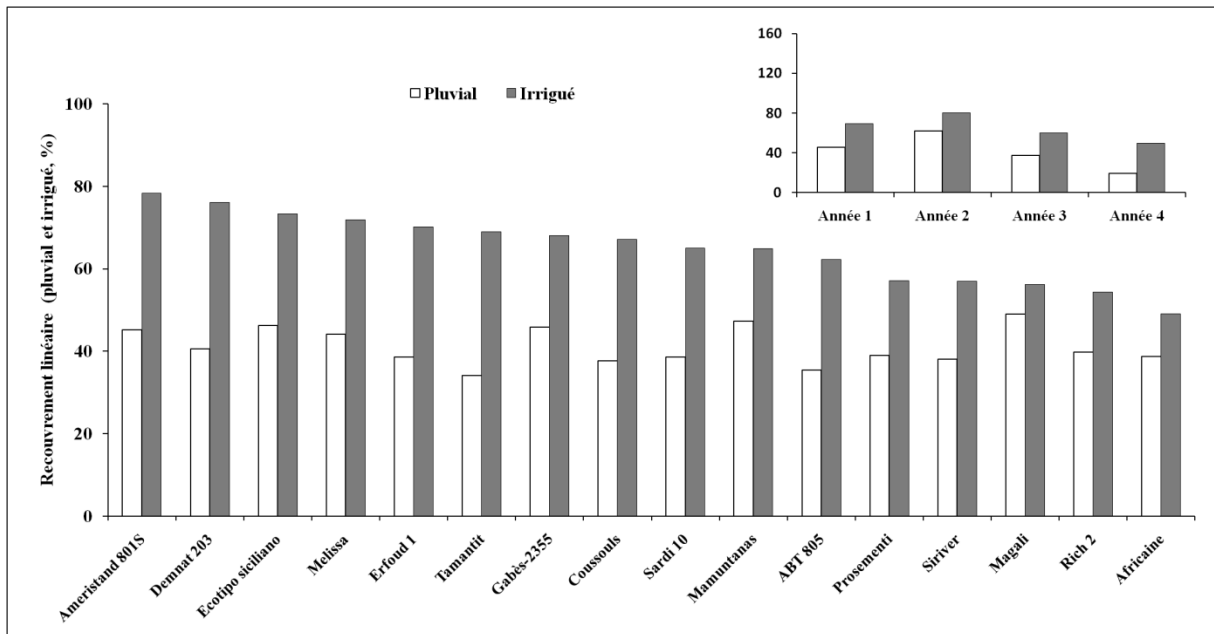


Figure 37. Evolution interannuelle du recouvrement linéaire (pluvial et irrigué)

IV.2.1.2.4. Efficience d'utilisation de l'eau

En irrigué, l'efficience moyenne annuelle diminue de la 2^{ème} année à la 4^{ème} année avec des valeurs correspondantes à 2.42, 1.92 et 0.68 kg m⁻³. Tandis qu'en pluvial elle augmente en 2^{ème} année et chute en 4^{ème} année avec des valeurs de 1.25, 1.84 et 0.39 kg m⁻³. C'est tout à fait logique, car on a assisté à la même cinétique de production de biomasse moyenne durant les trois dernières années de production (Figure 38).

Bouazzama et al. (2015), sur trois années d'expérimentation, ont étudié le comportement du rendement et l'efficience d'utilisation de l'eau d'une luzerne soumise à quatre régimes hydriques en fonction des besoins (100%, 80%, 60% et 40% ETC) sous les conditions climatiques du Tadla au Maroc. Ils constatent que l'EUE est proportionnel au régime hydrique appliqué. En effet, ils ont obtenu 1.83 kg m⁻³ pour le traitement de 100% ETC et 1.23 kg m⁻³ pour le traitement 40% ETC. Si on considère que le traitement 100% ETC est similaire à celui de l'ETM et le traitement 40% ETC à celui du pluvial, on peut dire que ces résultats sont comparables aux nôtres en 2^{ème} année d'expérimentation avec 2.42 kg m⁻³ en irrigué et avec 1.25 kg m⁻³ en pluvial. Da Costa et Huang (2006), avec le même régime hydrique appliqué sur trois espèces de cultures durant deux années, concluent que l'EUE dépend de l'espèce, du régime hydrique et des conditions climatiques.

Grimes et al. (1992) dans la vallée de Californie (USA) en travaillant sur trois luzernes, trouvent une EUE maximale de 2.63 kg m^{-3} sensiblement la même que Mamuntanas (2.73 kg m^{-3}) et inférieur à celle d'Ameristand 801S (3.40 kg m^{-3}) en 2^{ème} année irrigué, alors qu'elle est comparable à celle de Rich2 (2.25 kg m^{-3}) en 3^{ème} année pluvial.

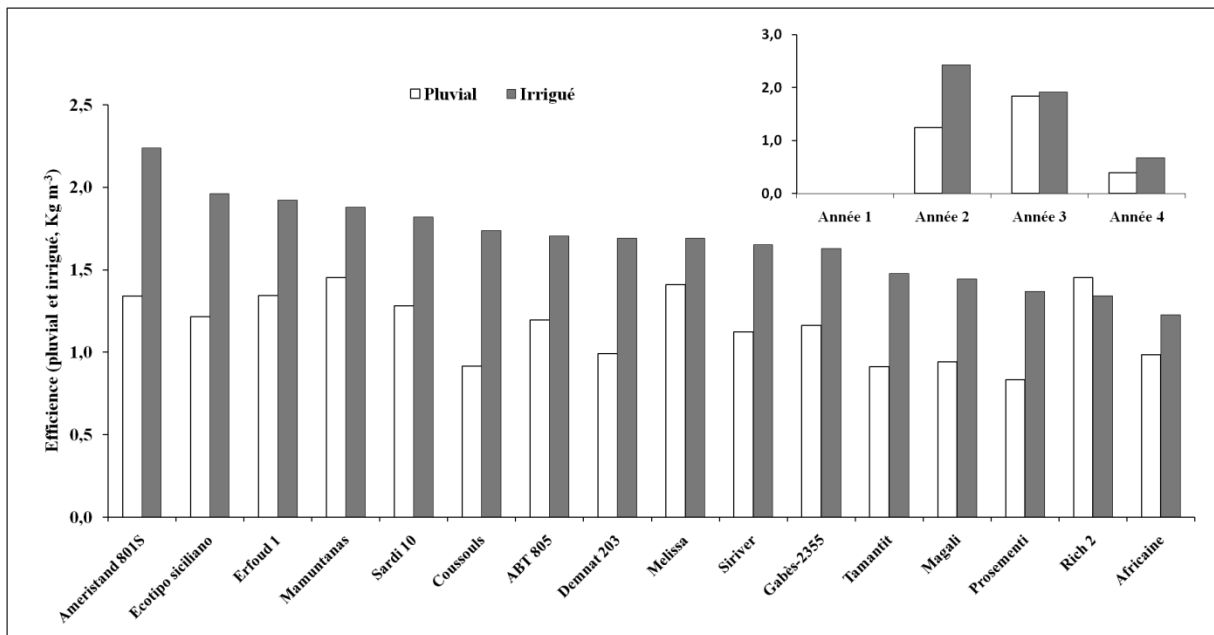


Figure 38. Evolution interannuelle de l'EUE (pluvial et irrigué)

IV.2.2. Etude de l'analyse factorielle discriminante

IV.2.2.1. Classification ascendante hiérarchisée (CAH)

En fonction des paramètres étudiés pour les deux essais (rendement, EUE, densité de plant et recouvrement), la CAH a abouti à un groupage des cultivars en trois classes bien distinctes. Pour une classification optimale, la variance de l'interclasse avec un pourcentage de 83.23% est nettement supérieure à celle de l'intra-classe avec une valeur de 16.77%. Chaque classe renferme les cultivars correspondants à chaque campagne agricole (Figure 39).

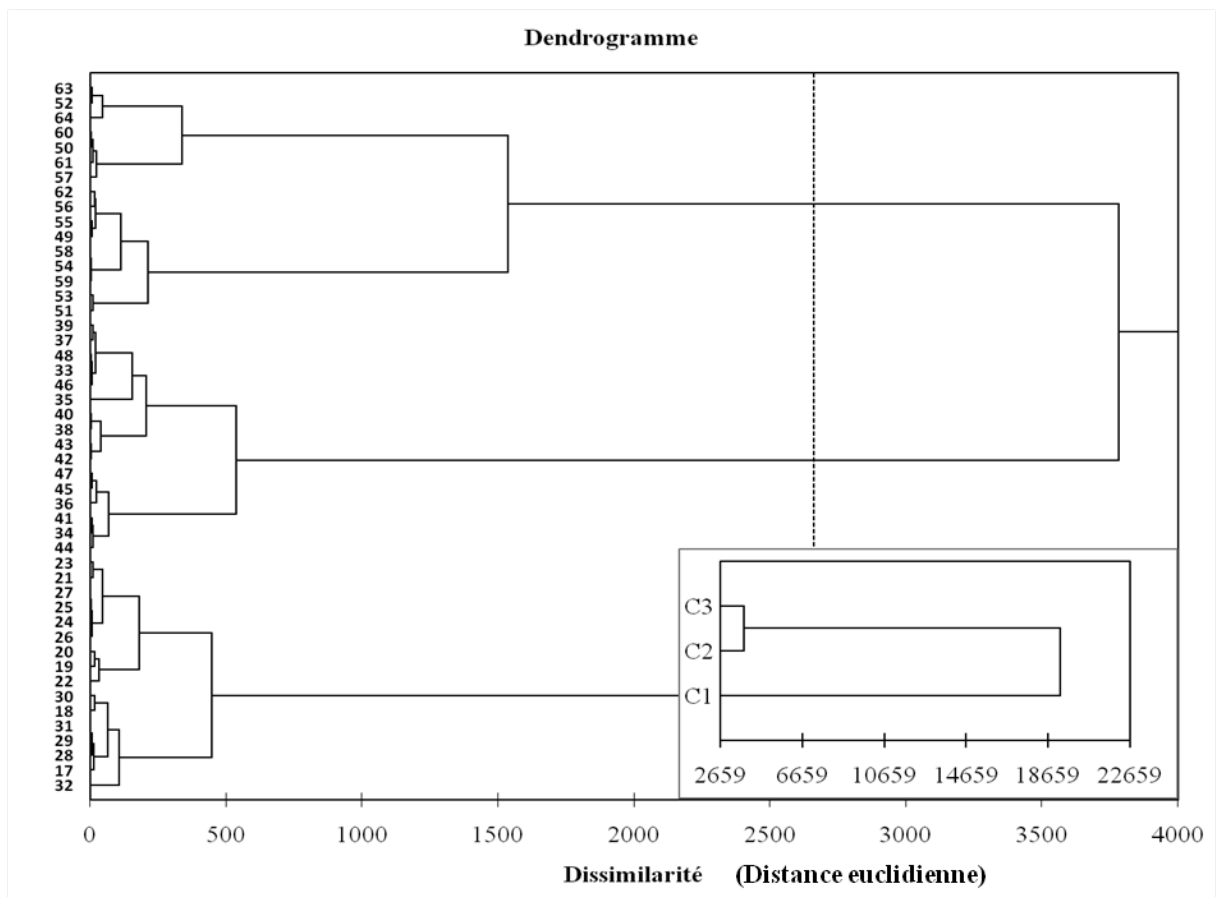


Figure 39. Classification ascendante hiérarchisée des cultivars de luzerne

En effet, la classe (C1) renferme les cultivars de la 2^{ème} année de production portant les numéros 17 à 32. Les cultivars numérotés 33 à 48 de la 3^{ème} année de production, correspondent à la classe (C2). La classe (C3) englobe les cultivars de la 4^{ème} année de production, numérotés de 49 à 64.

IV.2.2.2. Analyse factorielle discriminante

La statistique de Lambda de Wilks (approximation de Rao) globale étant égale à 0,002 à un seuil de signification de 0.01%, est nettement très proche de zéro. Ce résultat confirme l'existence d'une discrimination significative entre les classes retenues. Ainsi, l'application de l'analyse factorielle discriminante (AFD) est justifiée.

En étudiant les valeurs propres, on constate que 100% de l'information est représentée dans le plan F1-F2, dont 89.16% de la variance sont représentés par le premier axe factoriel.

Nous présentons les individus sur le plan F1-F2 de l'AFD au niveau de la Figure 40.

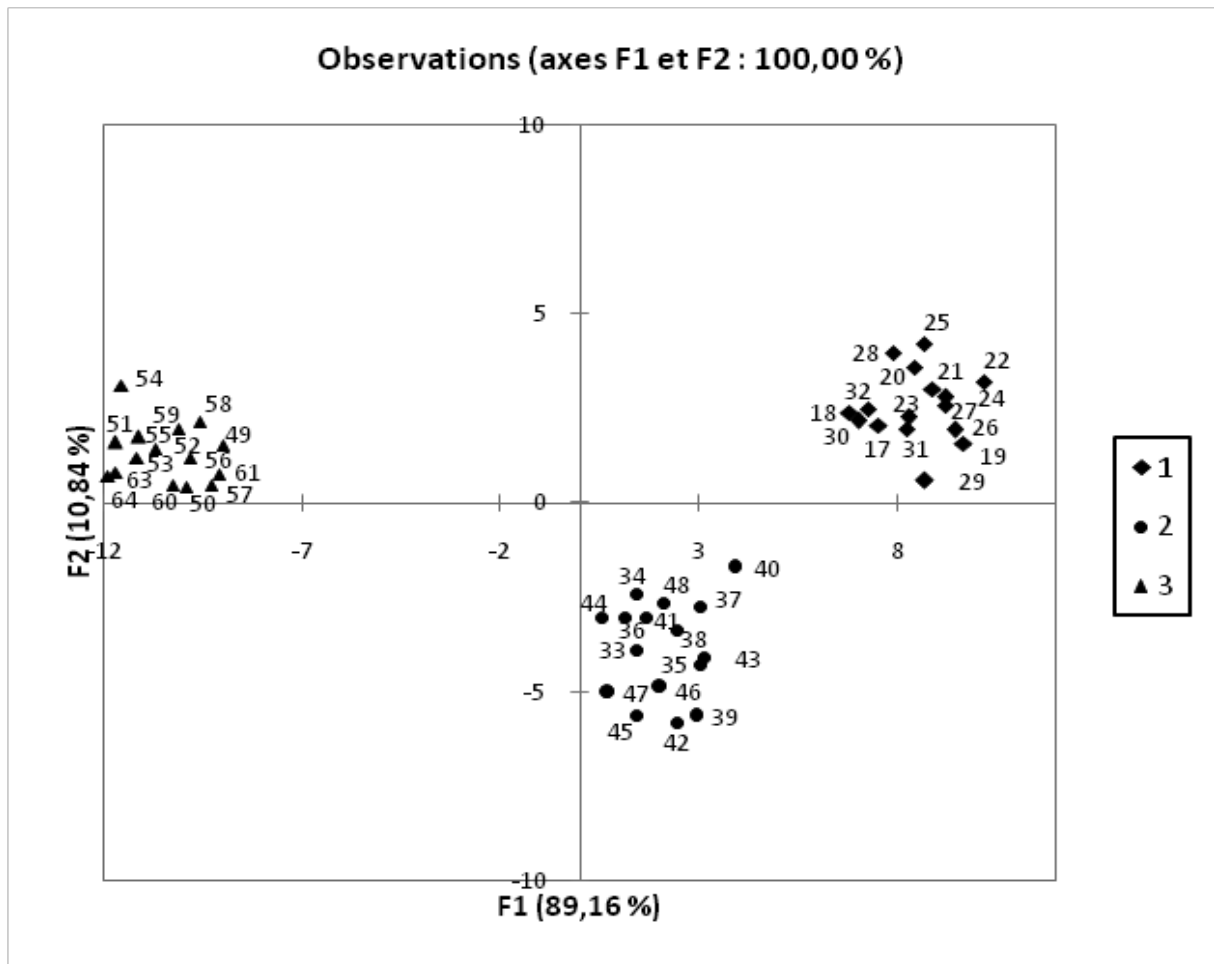


Figure 40. Plan F1-F2 de l'analyse factorielle discriminante

La synthèse des résultats de l'AFD effectuée avec un test ascendant des fonctions canoniques est représentée dans le tableau (Tableau 16). Suite à la statistique de Bartlett, il apparaît que ce sont les deux fonctions discriminantes (F1 et F2) pour chaque année qui sont significatives au seuil de 5 %.

Tableau 16. Résultats des fonctions discriminantes

Axes factoriels	Val. propre	% de discrimination	Statistique de Bartlett	niveau p
F1	66.63	89.16	276.18	0,00
F2	08.10	10.84	94.97	0,00

Pour ne sélectionner que les variables qui contribuent le plus à la discrimination des groupes, nous avons procédé à une AFD pas à pas. Le test unidimensionnel d'égalité des moyennes révèle que le rendement (pluvial et irrigué), le recouvrement (pluvial et irrigué) et l'EUE (pluvial) sont les plus discriminants suivant les deux axes factoriels.

Ainsi les nouvelles variables synthétiques des fonctions canoniques avec les coefficients standardisés deviennent :

$$F1 = 3.01 * EUE(P) + 0.35 * Rdt(P) - 3.92 * Rdt(I) + 0.53 * Rec(P) + 1.18 * Rec(I)$$

$$F2 = -0.52 * EUE(P) - 1.01 * Rdt(P) + 0.72 * Rdt(I) + 0.60 * Rec(P) + 0.05 * Rec(I)$$

La distance de Mahalanobis calculée montre que le groupe 1 et le groupe 3 sont les plus éloignés. Par contre le 1^{er} et le 2^{ème} groupe sont les plus rapprochés Tableau 17.

Tableau 17. Distance de Mahalanobis

Groupes	1	2	3
1	0	81.30	363.32
2	81.30	0	185.98
3	363.32	185.98	0

La matrice de confusion pour les résultats de la validation croisée, donne un bon classement des individus avec une valeur de 100%. Ainsi, les groupes homogènes après validation croisée deviennent interchangeables et les valeurs moyennes pour chaque variable sont représentées dans le tableau 18.

Tableau 18. Valeurs moyennes des paramètres pour chaque groupe homogène

Groupes	Dp (P)	Dp (I)	EUE (P)	EUE (I)	Rdt (P)	Rdt (I)	Rec (P)	Rec (I)
1	39.37	59.69	2.42	1.24	3.41	9.48	62.09	80.45
2	22.76	38.00	1.92	1.84	6.05	8.49	37.43	60.18
3	11.56	24.27	0.68	0.39	0,774	6.65	19.37	49.75

IV.2.3. Conclusion

La luzerne est une culture pérenne, son comportement est fonction de l'âge et du climat. Basée sur les résultats expérimentaux de 4 années, l'étude intra-annuelle et interannuelle de son comportement sur les deux essais installés (pluvial et irrigué) à travers l'analyse de la variance, révèle des différences non significatives à très hautement significatives. Cette différence est déclenchée dès la 1^{ère} année ou est acquise au cours des quatre années de production.

Les rendements obtenus par les cultivars sont très significativement différents durant les quatre années de production en pluvial. En irrigué, ils le sont en 2^{ème} et 4^{ème} année. De plus l'ANOVA à mesure répétées a révélée une différence interannuelle très hautement significative.

En général, les cultivars Ameristand 801S, Ecotipo siciliano, Mamuntanas et Erfoud1 sont les plus rentables. Tandis que, Tamantit, Prosementi et Africaine occupent les derniers rangs.

En pluvial, le rendement minimal de 0.33 t ha^{-1} est obtenu par Magali en 4^{ème} année, alors que le rendement maximal de 8.34 t ha^{-1} est enregistré par Mamuntanas en 3^{ème} année. En irrigué, Ameristand801S est le plus rentable et Africaine le moins rentable, avec respectivement 13.35 t ha^{-1} en 2^{ème} année et 1.75 t ha^{-1} en 1^{ère} année.

L'ANOVA appliquée au paramètre densité de plants n'a détectée aucune différence significative entre les résultats obtenus, sauf pour l'essai pluvial en 1^{ère} année. En général pour les deux essais, le coefficient de variation croît de la 1^{ère} à la 4^{ème} année. L'étude de la survie sur les deux dernières années de production, donne des valeurs moyennes de 50.79% pour le pluvial et 63.88% pour l'irrigué. Il semble qu'à travers le taux de régression de la densité de plants entre la 3^{ème} et la 4^{ème} année, que les cultivars Ameristand 801S, Mamuntanas, Ecotipo siciliano sont pérennes en irrigué. Tandis que ABT 805, Rich2, Prosementi, Mamuntanas et Erfoud 1 plus en pluvial.

Le recouvrement linéaire pour l'ensemble des cultivars est statistiquement le même sauf pour celui de la 4^{ème} année en irrigué. Du pluvial en irrigué, le recouvrement moyen annuel des cultivars oscille autour d'une moyenne respective de 41.14% et 64.96%.

Généralement, les efficacités d'utilisation de l'eau obtenues sont statistiquement différentes les unes des autres. En irrigué, EUE moyenne décroît de la 2^{ème} année à la 4^{ème} année. Par contre en irrigué, elle croît jusqu'à 3^{ème} année pour chuter en 4^{ème} année.

En 3^{ème} et 4^{ème} année, les cultivars Ameristand 801S, Mamuntanas, Ecotipo siciliano et Erfoud1 sont comptés parmi les plus efficaces. Par contre Tamantit, Africaine et Prosementi sont moins efficaces.

L'étude de la classification hiérarchisée ascendante et l'analyse factorielle discriminante pour les deux essais ensemble avec leurs paramètres mesurés, confirment l'existence d'une discrimination interannuelle. En effet, pour les trois groupes homogènes formés, chacun renferme l'ensemble des cultivars appartenant à la même année.

Les résultats obtenus lors de cette étude montrent une variabilité intra-annuelle et interannuelle du comportement des cultivars, ainsi qu'entre les modes de conduite. Il est apparent que les paramètres étudiés sont fonction du cultivar (origine et caractéristiques), de l'âge (année de production), du régime hydrique (pluvial et irrigué) et des conditions climatiques (pluie et évapotranspiration). Il semble que les cultivars Ameristand 801S d'origine des USA, Ecotipo siciliano et Mamuntanas originaires de l'Italie et Erfoud1

originaires du Maroc, se sont bien adaptés au climat du Bas-Cheliff. Par contre, les cultivars des oasis (Tamantit et Africaine) et Prosementi d'origine italienne du sud sont mal acclimatés.

IV.3. Evaluation des performances de la luzerne pérenne

IV.3.1. Comparaison des cultivars en fonction des indices de tolérance

Les rendements moyens de la 3^{ème} année à la 4^{ème} année (2006/2007 et 2007/2008) ont régressés avec des indices de stress (SI) respectifs de 0.29 et de 0.88. Cet indice (SI) varie de 0 à 1, les plus grandes valeurs indiquent une plus grande intensité. Ainsi l'indice obtenu, reflète l'intensité ou l'ampleur de sécheresse vécue en 4^{ème} année de production et la corrélation entre les rendements de la 3^{ème} et 4^{ème} année est passée de $r=0.61$ à $r=0.53$.

Akçura et Çeri (2011) indiquent que les cultivars présentant un indice de tolérance à la sécheresse (STI) le plus élevé, ont les plus hauts rendements dans les conditions de stress et non stress.

3^{ème} année de production

Le STI montre que les cultivars Ameristand 801S, Mamuntanas, Ecotipo siciliano et Erfoud1 sont très tolérants à la sécheresse et plus rentables avec des STI compris entre 0.94 et 1.15. Les cultivars Africaine, Tamantit, Prosementit et Magali sont les moins tolérants à la sécheresse avec des STI inférieurs à 0.51.

La moyenne harmonique (HM), la production moyenne (MP) et la moyenne géométrique (GMP), prennent sensiblement les mêmes valeurs. Elles permettent de classer les cultivars les plus rentables qui sont respectivement par ordre décroissant Mamuntanas, Ameristand 801S, Erfoud1 et Ecotipo siciliano avec des valeurs respectives de 9.11 tMS ha⁻¹, 8.44 tMS ha⁻¹, 8.35 tMS ha⁻¹ et 8.24 tMS ha⁻¹. Par contre, les cultivars Magali, Prosementi, Tamantit et Africaine sont comptés parmi les moins productifs avec des valeurs comprises entre 5.66 tMS ha⁻¹ et 6.03 tMS ha⁻¹.

L'indice de tolérance (TOL) est la différence entre le rendement en irrigué et le rendement en pluvial. Sa plus faible valeur correspond au cultivar qui se comporte de la même façon dans les conditions de stress et non stress. Le cultivar Rich2 présente un TOL de 0.13 mais avec un rendement en irrigué faible et inférieur à la moyenne générale et un rendement en pluvial supérieur à la moyenne générale. Si on combine les rendements en irrigué avec les valeurs du TOL, on peut dire que les cultivars les plus performants sont ceux qui correspondent à un rendement élevé en conditions de non stress avec un rendement supérieur

à la moyenne en conditions de stress bien que le TOL soit le plus faible. Dans notre cas, les cultivars Mamuntanas et Erfoud1 semblent remplir ces conditions et le TOL est inférieur à 29% du rendement moyen en irrigué.

Généralement, les cultivars les plus performants ont les rendements les plus élevés pour les deux essais, ce qui correspond à des valeurs de K_1STI et K_2STI qui dépassent l'unité. En effet, pour l'essai en irrigué, les cultivars les plus performants sont par ordre décroissant : Ameristand 801S, Mamuntanas, Ecotipo siciliano et Erfoud1, avec des valeurs de K_1STI respectives de 1.64, 1.58, 1.24 et 1.13. Par contre, pour l'essai en pluvial, l'ordre de performance a changé, le cultivar Ameristand 801S se trouve dernier et le cultivar Erfoud1 deuxième. Mamuntanas, garde toujours la tête du groupe des cultivars les plus performants. Erfoud1 reste performant dans les deux essais. Donc les cultivars les plus performants par ordre décroissant sont Mamuntanas, Erfoud1, Ecotipo siciliano et Ameristand 801S, ce qui correspond à des valeurs de K_2STI respectives de 2.19, 1.53, 1.24 et 1.14. Les valeurs des autres cultivars sont données dans le tableau 19.

4^{ème} année de production

Les valeurs du TOL sont élevées, l'écart entre les deux rendements devient apparent. En moyenne cette différence dépasse les 50% du rendement en irrigué. Les TOL enregistrés sont compris entre 3.49 (Magali) et 7.86 (Ecotipo siciliano).

Les trois types de moyennes (harmonique, arithmétique et géométrique) présentent des valeurs respectives différentes. Les MP sont élevées, par contre les HM restent faibles. Le MP permet de classer, suivant leurs rendements, les cultivars Ameristand 801S (4.70 tMS/ha), Sardi 10 (4.58 tMS ha⁻¹), Erfoud1 (4.54 tMS ha⁻¹), Ecotipo siciliano (4.52 tMS ha⁻¹), Melissa (4.41 tMS ha⁻¹) et Mamuntanas (4.38 tMS ha⁻¹).

Les valeurs du STI ne dépassent pas 0.23. Généralement les valeurs supérieures à 0.15 correspondent aux rendements les plus élevés en irrigué et en pluvial. Les faibles valeurs des STI ainsi que les coefficients K_1 et K_2 liés à des rendements inférieurs à la moyenne générale, conduisent à des valeurs de K_1STI et K_2STI plus faibles (Tableau 20).

Le coefficient de corrélation entre les rendements de l'essai en pluvial et l'essai en irrigué de la 3^{ème} à la 4^{ème} année de production, est inversement proportionnel à l'indice de stress (SI). Cela est confirmé par les travaux de Moghaddam et al. (2012) à Vienne en Autriche, sur les indices de tolérance de la sécheresse pour la sélection de génotypes de luzerne pérenne. En effet, le coefficient de corrélation entre les rendements de l'essai irrigué et pluvial augmente de la 1^{ère} à la 2^{ème} année avec une réduction de l'indice de stress.

Tableau 19. Rendements moyens et indices de résistance/ tolérance des cultivars de luzerne (pluvial et irrigué) en 3^{ème} année de production

Cultivars	Yp	Ys	TOL	HM	MP	GMP	STI	K ₁ STI	K ₂ STI	Pi	ATI	EUEp	EUEs
Ecotipo siciliano	9.75	6.95	2.8	8.12	8.35	8.24	0.94	1.24	1.24	0.84	16.41	2.13	2.13
Prosementi	7.17	4.95	2.22	5.86	6.06	5.96	0.49	0.35	0.33	6.44	9.43	1.61	1.47
ABT 805	8.97	5.82	3.16	7.06	7.40	7.22	0.72	0.81	0.67	2.57	16.25	1.98	1.93
Ameristand 801 S	10.95	6.51	4.44	8.16	8.73	8.44	0.99	1.64	1.14	0.84	26.69	2.44	2.02
Mamuntanas	9.95	8.34	1.61	9.08	9.15	9.11	1.15	1.58	2.19	0.25	10.45	2.14	2.16
Tamantit	7.64	4.5	3.14	5.67	6.07	5.87	0.48	0.39	0.26	6.42	13.13	1.77	1.46
Sardi 10	9.09	6.58	2.52	7.63	7.84	7.73	0.83	0.95	0.98	1.64	13.86	2.08	2.02
Siriver	9.00	6.31	2.69	7.42	7.66	7.54	0.79	0.89	0.86	1.98	14.46	2.02	1.81
Africaine	6.82	4.70	2.12	5.56	5.76	5.66	0.44	0.29	0.27	7.59	8.54	1.62	1.40
Gabes-2355	8.05	5.07	3.43	6.35	6.78	6.56	0.6	0.60	0.42	4.17	16.02	2.05	1.69
Magali	6.92	5.25	1.68	5.97	6.09	6.03	0.50	0.33	0.38	6.44	7.19	1.60	1.65
Melissa	8.37	6.81	1.56	7.51	7.59	7.55	0.79	0.77	1.00	2.24	8.41	1.86	2.13
Coussouls	8.02	5.46	2.57	6.50	6.74	6.62	0.61	0.54	0.49	4.22	12.09	1.76	1.72
Rich 2	7.18	7.05	0.13	7.11	7.11	7.11	0.70	0.50	0.95	3.97	0.64	1.56	2.25
Erfoud1	9.18	7.60	1.58	8.32	8.39	8.35	0.97	1.13	1.53	0.92	9.38	2.06	2.19
Demnat 203	8.37	4.88	3.49	6.17	6.62	6.39	0.57	0.55	0.37	4.66	15.87	1.96	1.46
Max.	10.95	8.34	4.44	9.08	9.15	9.11	1.15	1.64	2.19	7.59	26.69	2.44	2.25
Min.	6.82	4.5	0.13	5.56	5.76	5.66	0.44	0.29	0.26	0.25	0.64	1.56	1.40
Moyenne	8.49	6.05	2.45	7.03	7.27	7.15	0.72	0.78	0.82	3.45	12.43	1.92	1.84
CV%	13.86	18.80	41.65	15.17	14.31	14.68	29.38	54.61	65.34	68.86	45.77	12.81	25.93

Yp et Ys : Rendement en matière sèche en tonne par hectare ($tMS\ ha^{-1}$) respectivement pour l'essai en irrigué et l'essai en pluvial.

EUEp et EUEs : Efficacité d'utilisation de l'eau ($Kg\ m^{-3}$) respectivement pour l'essai en irrigué et l'essai en pluvial

Tableau 20. Rendements moyens et indices de résistance/ tolérance des cultivars de luzerne (pluvial et irrigué) en 4^{ème} année de production

Cultivars	Yp	Ys	TOL	HM	MP	GMP	STI	K ₁ STI	K ₂ STI	Pi	ATI	EUEp	EUEs
Ecotipo siciliano	8.45	0.59	7.86	1.11	4.52	2.24	0.11	0.18	0.07	0.12	2.05	0.86	0.29
Prosementi	4.75	0.47	4.28	0.86	2.61	1.49	0.05	0.03	0.02	3.85	0.74	0.49	0.24
ABT 805	6.14	0.81	5.33	1.43	3.48	2.23	0.11	0.10	0.12	1.55	1.38	0.63	0.41
Ameristand 801 S	8.59	0.80	7.79	1.46	4.70	2.62	0.16	0.26	0.17	0.05	2.38	0.88	0.42
Mamuntanas	7.52	1.24	6.28	2.13	4.38	3.06	0.21	0.27	0.54	0.29	2.23	0.77	0.59
Tamantit	7.21	0.68	6.53	1.24	3.94	2.21	0.11	0.13	0.08	0.56	1.68	0.74	0.34
Sardi10	7.90	1.26	6.64	2.18	4.58	3.16	0.23	0.32	0.60	0.12	2.44	0.81	0.69
Siriver	6.63	0.71	5.92	1.28	3.67	2.17	0.11	0.11	0.09	1.04	1.49	0.68	0.39
Africaine	4.89	0.75	4.14	1.30	2.82	1.91	0.08	0.04	0.08	3.49	0.92	0.50	0.36
Gabes-2355	6.50	0.63	5.87	1.15	3.57	2.03	0.09	0.09	0.06	1.19	1.39	0.66	0.25
Magali	3.82	0.33	3.49	0.61	2.08	1.12	0.03	0.01	0.01	5.90	0.46	0.39	0.17
Melissa	7.69	1.14	6.55	1.98	4.41	2.96	0.2	0.26	0.43	0.21	2.26	0.79	0.57
Coussouls	6.24	0.49	5.75	0.91	3.37	1.75	0.07	0.06	0.03	1.53	1.17	0.64	0.29
Rich 2	4.49	0.72	3.76	1.25	2.61	1.80	0.07	0.03	0.06	4.28	0.79	0.46	0.35
Erfoud1	7.88	1.20	6.68	2.08	4.54	3.08	0.21	0.30	0.51	0.13	2.39	0.81	0.63
Demnat 203	7.79	0.56	7.23	1.05	4.18	2.10	0.10	0.14	0.05	0.28	1.76	0.80	0.30
Max.	8.59	1.26	7.86	2.18	4.70	3.16	0.23	0.32	0.60	5.90	2.44	0.88	0.69
Min.	3.82	0.33	3.49	0.61	2.08	1.12	0.03	0.01	0.01	0.05	0.46	0.39	0.17
Moyenne	6.66	0.77	5.88	1.38	3.72	2.25	0.12	0.14	0.18	1.54	1.60	0.68	0.39
CV%	22.41	37.42	23.13	34.76	22.36	26.51	51.10	72.54	113.53	118.97	41.10	22.41	38.56

Yp et Ys : Rendement en matière sèche en tonne par hectare (tMS ha⁻¹) respectivement pour l'essai en irrigué et l'essai en pluvial

EUEp et EUEs : Efficience d'utilisation de l'eau (Kg m⁻³) respectivement pour l'essai en irrigué et l'essai en pluvial

IV.3.2. Analyse des corrélations

Le rendement en condition pluvial (Y_s) est bien corrélé à l'ensemble des indices, sauf pour le TOL, l'ATI et EUEp en 3^{ème} et le TOL en 4^{ème} année. Le rendement en irrigué (Y_p) est bien corrélé à l'ensemble des indices sauf pour le TOL en 3^{ème} année de production.

L'indice TOL est corrélé seulement à ATI et EUEp pour la 3^{ème} année de production. Par contre en 4^{ème} année de production, il est corrélé à l'ensemble des indices à l'exception d'HM, K₂STI et EUEs. L'indice Pi est bien corrélé et inversement proportionnel aux autres indices.

L'indice ATI est aussi bien corrélé en 4^{ème} année qu'en 3^{ème} année de production. L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUEp) est significativement corrélée à EUEs en 4^{ème} année mais non en 3^{ème} année. En général, en 4^{ème} année de production, l'ensemble des indices sont bien corrélés entre eux à l'exception de la relation du TOL avec HM, Y_s et EUEs (Tableau 21).

Les corrélations trouvées entre les rendements (Y_p et Y_s) et les indices de tolérance/résistance à la sécheresse à l'exception de l'indice TOL et ATI (3^{ème} année de production), sont confirmées par des travaux réalisés sur des géotypes de blé à Ilam en Iran (Dehbalaei et al. 2013), sur des techniques d'évaluation du maïs à Ilam en Iran (Tarabideh et al., 2014), sur la ségrégation de populations de riz par les indices de tolérance à la sécheresse à Rasht en Iran (Rahimi et al., 2013) ainsi que sur des indices de tolérance à la sécheresse du maïs sous les conditions de l'Azerbaïdjan (Naghavi et al., 2013). En effet, ces derniers ont trouvé des corrélations significatives entre les rendements sous conditions pluvial et irrigué et les indices STI, GMP, MP, HM, K₁STI, K₂STI. L'étude menée par Boussen et al. (2010) en Tunisie, sur l'évaluation des indices de tolérance à la sécheresse sur des lignées de blé dur, montre une bonne corrélation des rendements et les indices TOL, GMP, MP et STI.

Haffani et al. (2014) en Tunisie a mesuré l'effet de quatre régimes d'eau en fonction de la capacité au champ (100% CC, 80% CC, 60% CC et 40% CC) sur les performances agronomiques de trois espèces de vesce. Ils ont constaté que la STI est proportionnel au régime hydrique appliqué et que la matière sèche est affectée par le niveau de stress hydrique pour les trois années d'expérimentation.

IV.3.3. Représentation de la dispersion tridimensionnelle et analyse des groupes

La classification de Fernandez (1992) fait intervenir les rendements des deux essais et l'indice STI. Cela permet de classer pour la 3^{ème} et la 4^{ème} année de production, Mamuntanas, Erfoud1, Sardi 10 et Ameristand 801S, dans le groupe A qui représente

Tableau 21. Matrice de corrélation (Yp, Ys, EUE et les indices)

Var.	Yp	Ys	TOL	HM	MP	GMP	STI	K ₁ STI	K ₂ STI	Pi	ATI	EUEp	EUEs
Yp		<i>0,53</i>	<i>0,98</i>	<i>0,58</i>	<i>0,99</i>	<i>0,79</i>	<i>0,74</i>	<i>0,85</i>	<i>0,52</i>	<i>-0,96</i>	<i>0,95</i>	<i>1,00</i>	<i>0,55</i>
Ys	0,61		<i>0,37</i>	<i>1,00</i>	<i>0,65</i>	<i>0,94</i>	<i>0,95</i>	<i>0,85</i>	<i>0,96</i>	<i>-0,57</i>	<i>0,76</i>	<i>0,53</i>	<i>0,98</i>
TOL	0,47	-0,41		<i>0,42</i>	<i>0,95</i>	<i>0,67</i>	<i>0,61</i>	<i>0,75</i>	<i>0,37</i>	<i>-0,94</i>	<i>0,88</i>	<i>0,98</i>	<i>0,40</i>
HM	0,83	0,95	-0,10		<i>0,69</i>	<i>0,95</i>	<i>0,97</i>	<i>0,87</i>	<i>0,95</i>	<i>-0,61</i>	<i>0,79</i>	<i>0,58</i>	<i>0,98</i>
MP	0,90	0,89	0,04	0,99		<i>0,87</i>	<i>0,83</i>	<i>0,91</i>	<i>0,63</i>	<i>-0,96</i>	<i>0,98</i>	<i>0,99</i>	<i>0,66</i>
GMP	0,87	0,93	-0,03	1,00	1,00		<i>0,99</i>	<i>0,96</i>	<i>0,90</i>	<i>-0,81</i>	<i>0,93</i>	<i>0,79</i>	<i>0,93</i>
STI	0,86	0,92	-0,03	1,00	0,99	1,00		<i>0,97</i>	<i>0,95</i>	<i>-0,74</i>	<i>0,91</i>	<i>0,74</i>	<i>0,95</i>
K ₁ STI	0,95	0,78	0,23	0,93	0,97	0,95	0,96		<i>0,87</i>	<i>-0,79</i>	<i>0,97</i>	<i>0,85</i>	<i>0,86</i>
K ₂ STI	0,70	0,96	-0,27	0,96	0,92	0,94	0,96	0,86		<i>-0,52</i>	<i>0,75</i>	<i>0,52</i>	<i>0,95</i>
Pi	-0,89	-0,86	-0,07	-0,96	-0,98	-0,97	-0,96	-0,91	-0,86		<i>-0,91</i>	<i>-0,96</i>	<i>-0,58</i>
ATI	0,72	-0,10	0,94	0,22	0,36	0,29	0,28	0,53	0,03	-0,37		<i>0,95</i>	<i>0,77</i>
EUEp	0,97	0,48	0,59	0,72	0,81	0,77	0,76	0,88	0,58	-0,81	0,80		<i>0,55</i>
EUEs	0,58	0,93	-0,37	0,88	0,84	0,86	0,85	0,70	0,83	-0,84	-0,07	0,45	

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha= 5% (test bilatéral)

Les chiffres en caractère normal et caractère italique, respectivement les résultats de la 3^{ème} et la 4^{ème} année de production

les cultivars les plus performants dans les deux conditions (pluvial et irrigué). Coussouls, Magali, Prosementi, Africaine et Gabes-2355, ne présentent aucune performance et restent cantonnés dans le groupe D. Siriver et ABT 805, restent groupés au voisinage des moyennes des deux essais. Par contre, le reste des cultivars chevauchent les groupes (Figure 41 et 42).

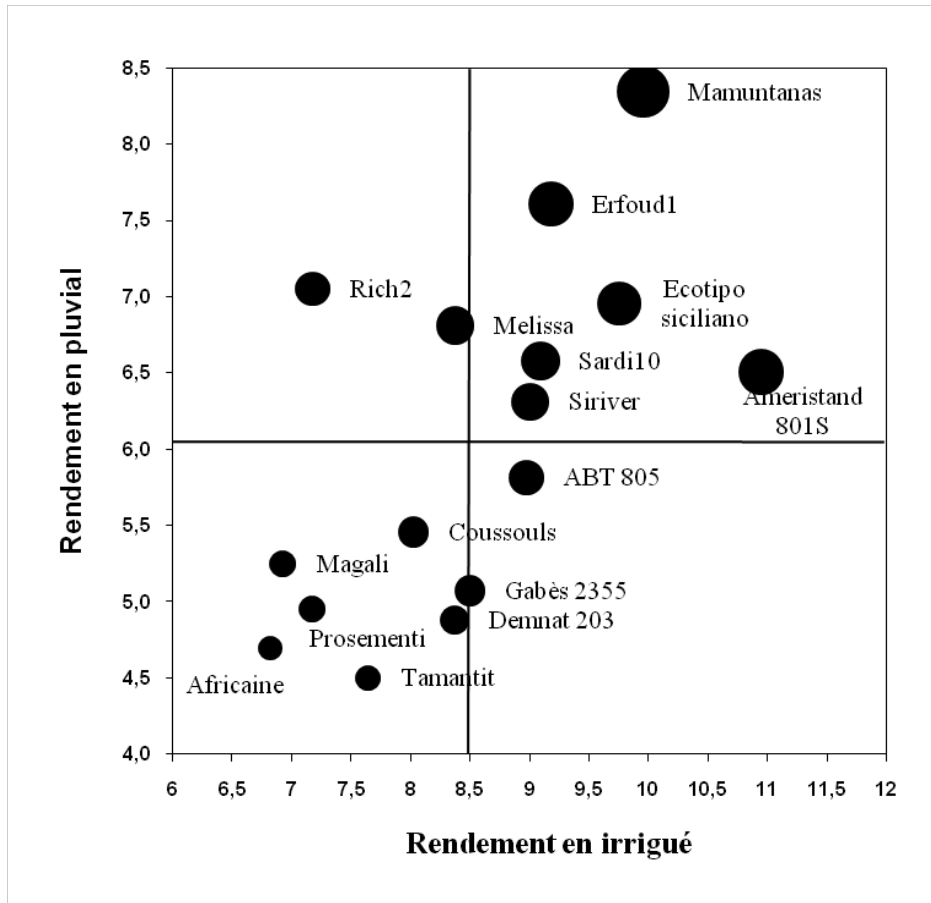


Figure 41. Représentation tridimensionnelle des cultivars (3^{ème} année de production)

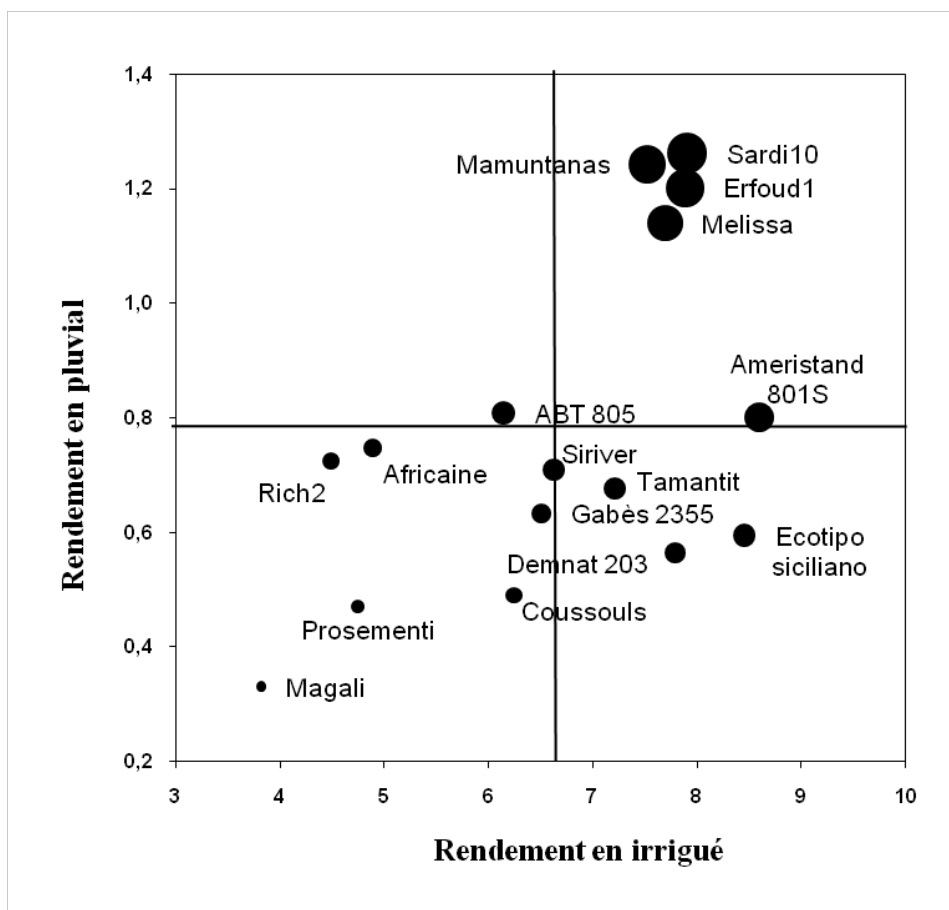


Figure 42. Représentation tridimensionnelle des cultivars (4^{ème} année de production)

Sur le même site, les résultats obtenus en deuxième année de production montrent qu'Ameristand 801S et Mamuntanas sont plus rentables (Bellague et al., 2008).

Selon la classification de Köppen-Geiger (Climate-data, 2016), tous les cultivars testés proviennent soit d'un milieu d'origine à climat tempéré et chaud (Csa, Cfa et Cfb) ou à climat désertique sec (BWh et BWk). Ils sont caractérisés par des niveaux de dormance automnale faibles à nuls. En effet, les valeurs de dormance d'origine et estimées par Pecetti et al. (2008) selon Teuber et al. (1998) montrent que les cultivars d'Australie, des USA, d'Afrique du Nord (à l'exception de Africaine) et Melissa sont non dormants à extrêmement non dormants (dormance automnale ≥ 8). Les cultivars Prosementi, Coussouls et Africaine sont modérément dormants (dormance ≤ 6). Ils sont équitablement dormants (Dormance 6-8) les cultivars Ecotipo siciliano, Mamuntanas et Magali. Par ces caractéristiques, les cultivars choisis peuvent fournir une production durant toute l'année.

IV.3.4. Analyse factorielle discriminante

La statistique de Lambda de Wilks (approximation de Rao) globale étant égale à 0,052 (3^{ème} année) et 0,035 (4^{ème} année) à un seuil de signification de 5%, est nettement inférieure et très proche de zéro et très éloignée de l'unité (Tableau 22).

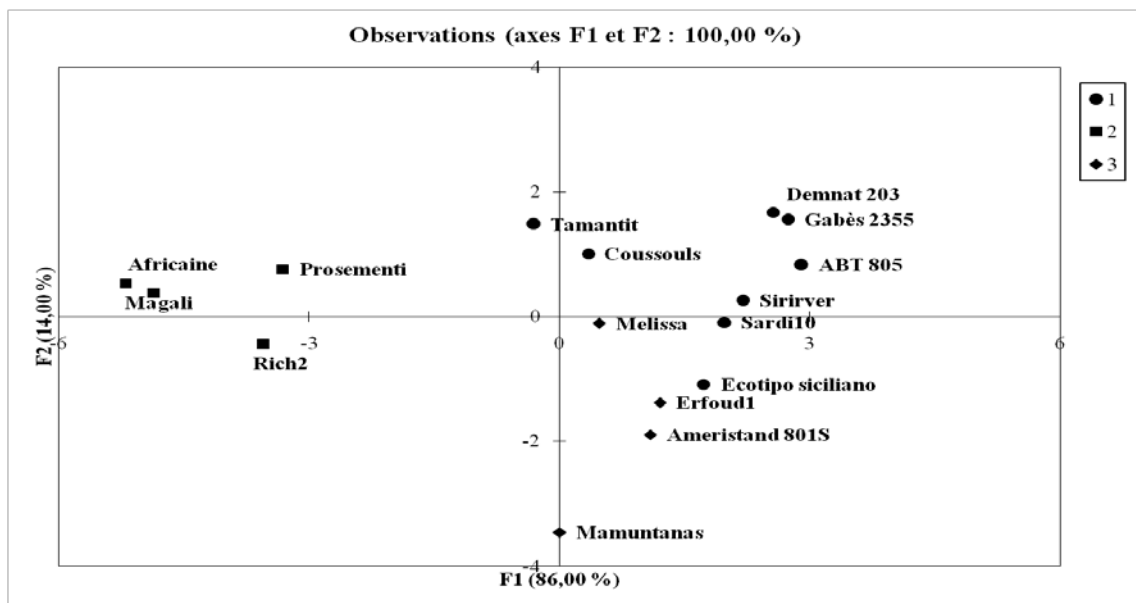
Tableau 22. Test du Lambda de Wilks (approximation de Rao)

	3 ^{ème} Année	4 ^{ème} Année
Lambda	0.052	0.035
F (Valeur observée)	12.375	26.177
F (Valeur critique)	2.549	2.776
DDL1	6	4
DDL2	22	24
p-value	< 0.0001	< 0.0001
Alpha	0.05	0.05

Ainsi existe une discrimination significative entre les trois groupes, ce qui justifie l'application de l'analyse factorielle discriminante (AFD).

En étudiant les valeurs propres, on constate que 86% et 94.94% de la variance respectivement pour la 3^{ème} et 4^{ème} année de production, sont représentés par le premier axe factoriel.

Nous présentons les individus sur le plan F1-F2 de l'AFD au niveau de la figure 43 et la figure 44.

**Figure 43.** Plan F1-F2 de l'analyse factorielle discriminante (3^{ème} année)

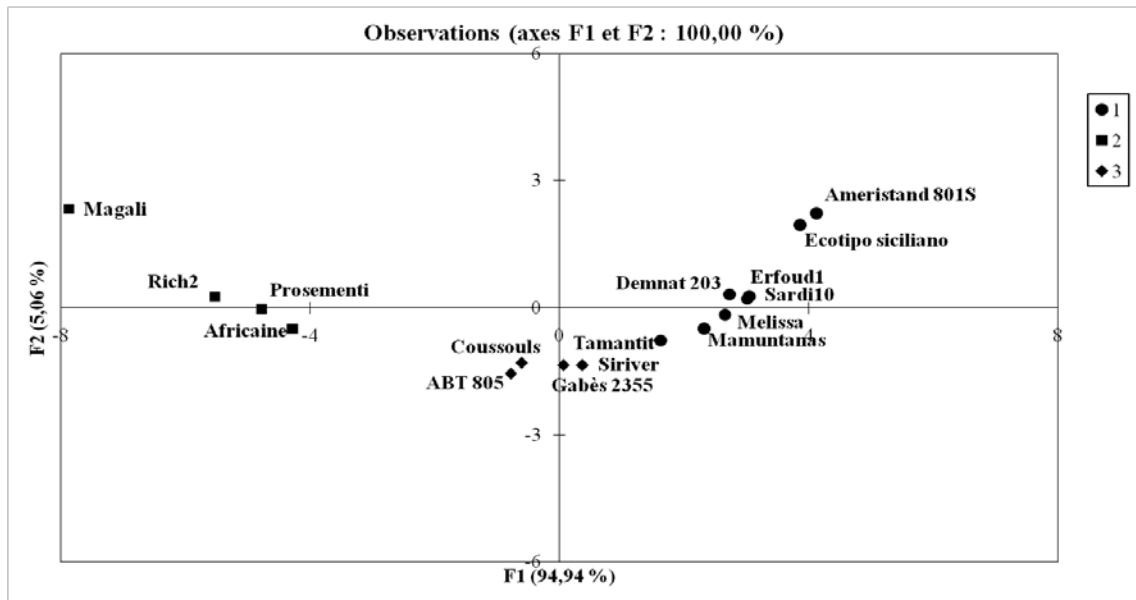


Figure 44. Plan F1-F2 de l'analyse factorielle discriminante (4^{ème} année)

L'effectif de chaque groupe homogène pour les deux années d'expérimentation est représenté par le résultat de la classification hiérarchisée ascendante en fonction de l'ensemble des indices et variables étudiées (Figure 45 et 46).

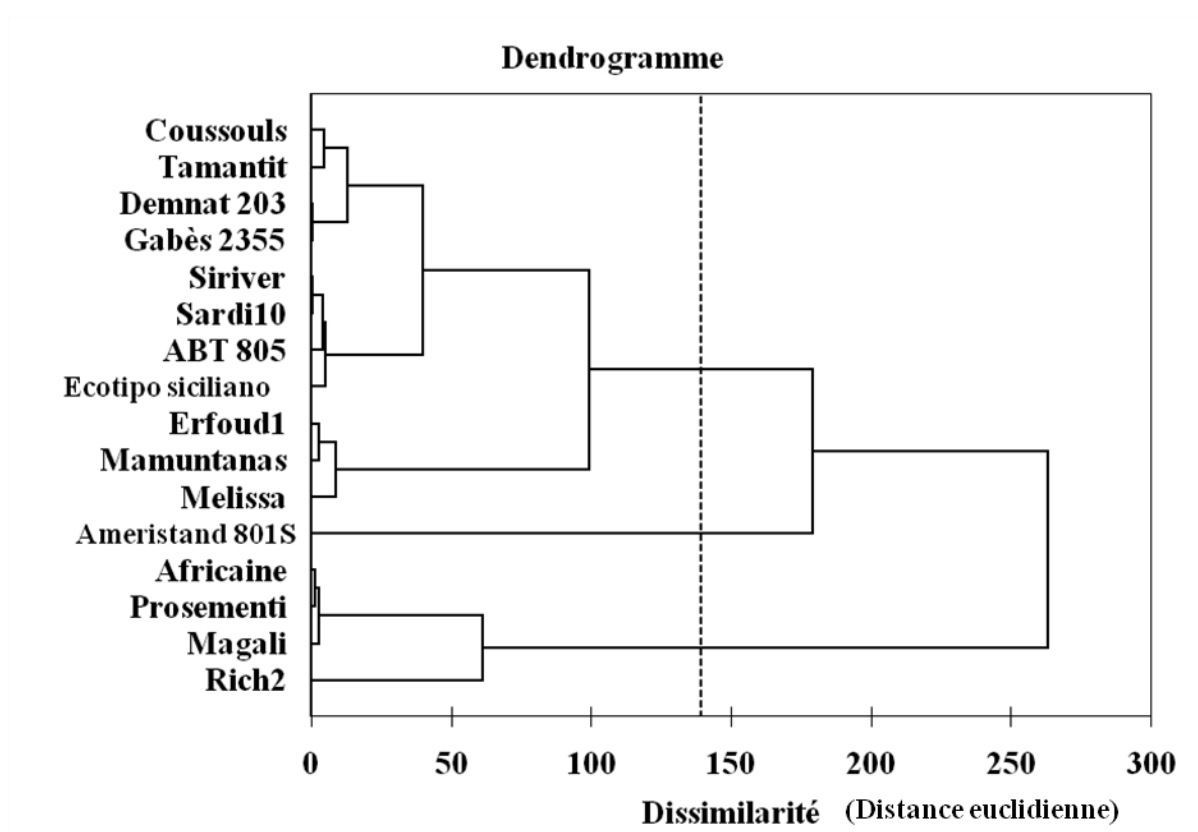


Figure 45. Classification hiérarchisée ascendante des cultivars (3^{ème} année)

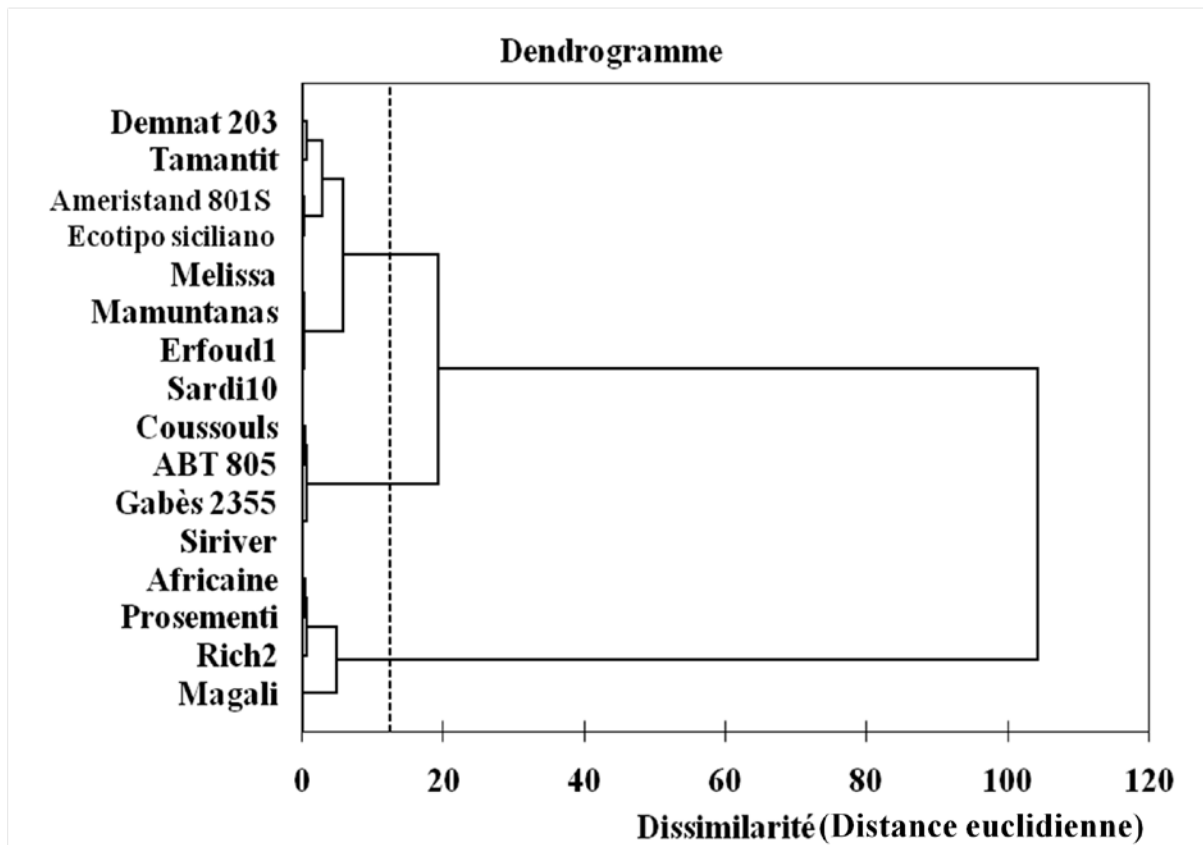


Figure 46. Classification hiérarchisée ascendante des cultivars (4^{ème} année)

La synthèse des résultats de l'AFD (3^{ème} et 4^{ème} année de production) effectuée avec un test ascendant des fonctions canoniques est représentée dans le tableau 23. Suite à la statistique de Bartlett, il apparaît que ce sont les deux fonctions discriminantes (F1 et F2) pour chaque année qui sont significatives au seuil de 5 %.

Tableau 23. Résultats des fonctions discriminantes

Année	Axe factoriels	Val. Propre	% de discrimination	Statistique de Bartlett	niveau p
3 ^{ème}	F1	07,57	86,00	34,86	0,000
	F2	01,23	14,00	9,02	0,008
4 ^{ème}	F1	14,99	94,94	43,88	0,000
	F2	00,80	05,06	10,81	0,007

Vu le nombre important de variables du modèle, nous avons procédé à une AFD pas à pas afin de sélectionner seulement les variables qui contribuent le plus à la discrimination des groupes. En effet après l'application du test unidimensionnel d'égalité des moyennes, il s'est avéré que les variables Yp, K₁STI et K₂STI pour la 3^{ème} année et les variables Pi et EUEp pour la 4^{ème} année sont les plus discriminants. Ainsi les nouvelles variables synthétiques des fonctions canoniques avec les coefficients standardisés deviennent :

Pour la 3^{ème} année : $F1 = 6.77 * Y_p - 7.98 * K_1STI + 2.42 * K_2STI$

$$F2 = 1.57 * Y_p - 2.41 * K_1STI + 0.03 * K_2STI$$

Pour la 4^{ème} année : $F1 = 0.63 * EUE_p - 0.45 * P_i$

$$F2 = 1.30 * EUE_p + 1.37 * P_i$$

La distance de Mahalanobis calculée entre les groupes montre que la valeur la plus importante se trouve entre le groupe 1 et le groupe 2 pour la 3^{ème} année et la 4^{ème} année de production. Par contre le groupe 1 et le groupe 3 sont les plus proches (Tableau 24).

Tableau 24. Distance de Mahalanobis

Groupes	3 ^{ème} année de production			4 ^{ème} année de production		
	1	2	3	1	2	3
1	00,00	36.11	06.98	00,00	72.96	13.40
2	36.11	00,00	28.29	72.96	00,00	32.52
3	06.98	328.29	00,00	13.40	32.52	00.00

La matrice de confusion pour les résultats de la validation croisée, donne un bon classement des individus 81.25 % pour 3^{ème} année et 100% pour la 4^{ème} année. Ainsi, les groupes homogènes après validation croisée deviennent interchangeable pour la 4^{ème} année (Tableau 25) et les valeurs moyennes pour chaque variables sont représentées dans le tableau 26.

Tableau 25. Discrimination des groupes homogènes d'une AFD après validation croisée

Année	Groupes	Cultivars
3 ^{ème}	G1	ABT805, Ameristand 801S, Tamantit, Sardi 10, Siriver, Gabès 2355, Melissa, Coussouls et Demnat 203
	G2	Prosementi, Magali, Rich 2 et Africaine
	G3	Ecotipo siciliano, Mamuntanas et Erfoud 1
4 ^{ème}	G1	Ecotipo siciliano, Ameristand 801S, Mamuntanas, Sardi 10, Tamantit, Melissa, Erfoud 1 et Demnat203
	G2	Prosementi, Magali, Rich 2 et Africaine
	G3	ABT805, Coussouls, Siriver et Gabès 2355

Tableau 26. Caractéristiques moyennes des groupes de l'AFD après validation croisée

Camp.	Groupe	Yp	Ys	TOL	HM	MP	GMP	STI	K₁STI	K₂STI	Pi	ATI	EUEp	EUEs
3^{ème}	G1	8,67	5,70	2,97	6,86	7,18	7,02	0,69	0,74	0,66	3,31	14,76	1,97	1,78
	G2	7,02	5,49	1,54	6,13	6,25	6,19	0,54	0,37	0,48	6,11	6,45	1,60	1,69
	G3	9,61	7,32	2,30	8,27	8,46	8,36	0,97	1,28	1,47	1,06	13,73	2,12	2,13
4^{ème}	G1	7,88	0,93	6,94	1,65	4,41	2,68	0,17	0,23	0,31	0,22	2,15	0,81	0,48
	G2	4,49	0,57	3,92	1	2,53	1,58	0,06	0,03	0,04	4,38	0,73	0,46	0,28
	G3	6,38	0,66	5,72	1,19	3,52	2,04	0,1	0,09	0,08	1,33	1,36	0,65	0,33

Ce groupage est confirmé par les caractéristiques des cultivars de chaque groupe. En effet, le groupe 3 de la 3^{ème} année de production et le groupe 1 de la 4^{ème} année de production, renferment les cultivars qui s'adaptent aux stress abiotiques (stress hydrique et stress salin). Les cultivars italiens Mamuntanas et Ecotipo siciliano se développent bien en pluvial et le cultivar américain Ameristand 801S tolère la salinité (Annicchiarico et al., 2011). De plus, le cultivar marocain Erfoud1 est largement adapté à la sécheresse et au sol salin (Annicchiarico et al., 2013). L'étude menée sur les mêmes cultivars de notre expérimentation, à l'exception des cultivars Tamantit et Africaine, durant les trois premières années de production, sur 6 sites géographiquement différents (2 en Tunisie, 2 en Algérie, 1 en Italie et 1 au Maroc), a montré que les cultivars Mamuntanas et Ameristand 801S sont les plus rentables et le cultivar Erfoud1 est classé parmi les six meilleurs (Annicchiarico et al., 2011).

IV.3.5. Conclusion

L'intégration de l'indice de tolérance à la sécheresse (STI), de la méthode de Fernandez (1992) et de l'analyse factorielle discriminante (AFD), confirme la rentabilité et l'adaptabilité à la sécheresse de Mamuntanas, Ameristand 801S, Ecotipo siciliano et Erfoud1. Ces cultivars présentent les STI les plus élevés en 3^{ème} année et sont comptés parmi les huit meilleurs en 4^{ème} année. La présentation tridimensionnelle classe ces mêmes cultivars dans le groupe A avec des rendements moyens supérieurs à la moyenne générale. L'AFD révèle trois groupes homogènes, discriminés entre eux dans le sens des deux axes factoriels par le rendement Yp et le MSTI en 3^{ème} année et par le Pi et l'EUEp en 4^{ème} année.

Les indices de tolérance à la sécheresse testés permettent de mesurer la performance et de choisir le matériel génétique le plus adéquat parmi les cultivars de luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.) mis en essai dans les conditions environnementales semblables à la région du Bas Chelif.

CONCLUSION GENERALE

Le climat du Bas-Cheliff est du type Méditerranéen à étage bioclimatique aride supérieure à semi-aride. L'utilisation seule de la pluie annuelle ne peut caractériser au mieux la sécheresse météorologique existante par le biais de l'indice de précipitation standardisé (SPI). A l'échelle saisonnière, l'indice de reconnaissance de sécheresse (RDI) qui induit le couple pluie-évapotranspiration potentielle, peut discriminer entre deux années considérées comme normales à l'échelle annuelle. En effet, sur les quatre années d'expérimentation, on a assisté à une sécheresse, automnale-printanière en 1^{ère} et 4^{ème} année, automnales en 3^{ème} année, hivernales en 4^{ème} année et printanière en 1^{ère} année.

Le comportement de la luzerne pérenne *Medicago sativa*, est fonction de l'âge et du climat. Basée sur les résultats expérimentaux de 4 années, l'étude intra-annuelle et interannuelle de son comportement sur les deux essais installés (pluvial et irrigué) à travers l'analyse de la variance, révèle des différences non significatives à très hautement significatives. Cette différence se manifeste, soit en 1^{ère} année, soit elle est acquise au cours des années suivantes.

Les rendements obtenus par les cultivars sont très significativement différents durant les quatre années de production en pluvial. En irrigué, ils le sont en 2^{ème} et 4^{ème} année. De plus l'ANOVA à mesures répétées a révélé une différence interannuelle très hautement significative.

En général, les cultivars Ameristand 801S, Ecotipo siciliano, Mamuntanas et Erfoud1 sont les plus rentables. Tandis que, Tamantit, Prosementi et Africaine occupent les derniers rangs.

Les rendements maximaux de 8.34 t ha⁻¹ et 13.35 t ha⁻¹, sont atteints respectivement par le cultivar Mamuntanas en 3^{ème} année pluvial et par le cultivar Ameristand801S en 2^{ème} année irrigué.

Il semble qu'à travers le taux de régression de la densité de plants entre la 3^{ème} et la 4^{ème} année, que les cultivars Ameristand 801S, Mamuntanas, Ecotipo siciliano sont pérennes en irrigué. Tandis que ABT 805, Rich2, Prosementi, Mamuntanas et Erfoud 1 le sont en pluvial.

Généralement, les efficacités d'utilisation de l'eau obtenus sont statistiquement différentes les unes des autres. En irrigué, EUE moyenne décroît de la 2^{ème} année à la 4^{ème} année. Par contre en irrigué, elle croit jusqu'à 3^{ème} année pour chuter en 4^{ème} année.

L'analyse factorielle discriminante de l'ensemble des paramètres mesurés sur les deux essais, confirme l'existence d'une discrimination interannuelle. En effet, sur chacun des trois groupes homogènes formés, les individus correspondants sont ceux d'une année bien distincte.

L'étude des performances des cultivars testés sur les deux dernières années de production, par l'intégration de l'indice de tolérance à la sécheresse (STI), de la méthode de Fernandez (1992) et de l'analyse factorielle discriminante (AFD), confirme la rentabilité et l'adaptabilité à la sécheresse de Mamuntanas, Ameristand 801S, Ecotipo siciliano et Erfoud1. Ces cultivars présentent les STI les plus élevés en 3^{ème} année et sont comptés parmi les huit meilleurs en 4^{ème} année. La présentation tridimensionnelle classe ces mêmes cultivars dans le groupe A avec des rendements moyens supérieurs à la moyenne générale. L'AFD révèle trois groupes homogènes, discriminés entre eux dans le sens des deux axes factoriels par le rendement Yp et le MSTI en 3^{ème} année et par le Pi et l'EUEp en 4^{ème} année.

Les résultats obtenus lors de cette étude montrent une variabilité intra-annuelle et interannuelle du comportement des cultivars, ainsi qu'entre les modes de conduite. Il est apparent que les paramètres étudiés sont fonction du cultivar (origine et caractéristiques), de l'âge (année de production), du régime hydrique (pluvial et irrigué) et des conditions climatiques (pluie et évapotranspiration). Il semble que les cultivars Ameristand 801S d'origine des USA, Ecotipo siciliano et Mumantanas originaires de l'Italie et Erfoud1 originaire du Maroc, se sont bien adaptés au climat du Bas-Cheliff. Par contre, les cultivars des oasis (Tamantit et Africaine) et Prosementi d'origine d'Italie sont mal acclimatés. De plus, l'utilisation combinée des indices de tolérance à la sécheresse, l'analyse factorielle discrimination, la pérennité et l'ANOVA des rendements cumulés des deux dernières années de production, confirment la performance des cultivars Ameristand 801S, Ecotipo siciliano et Mumantanas en régime irrigué et le cultivar Erfoud 1 en régime pluvial.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ababou A., Chouieb M., Khader M., Mederbal K., Bentayeb Z., and Saidi D., 2009. Analyse des associations végétales de la plaine salée du Bas-Cheliff, Algérie. *Acta Biologica Paranaense* 38(1-2): 75-91.
- Ababou A., Chouieb M., Bouthiba A., Saidi D., M'hamed Bouzina M., and Mederbal K., 2013. Analysis of vegetation assemblage in the salted plain of the lower Chelif, Algeria. *Journal of Science Technology* 3(3): 19-24.
- Abdelguerfi A., and Abdelguerfi-Laouar M., 2002 . Forage and pasture species: The uses in Maghreb (Algeria, Morocco, and Tunisia). FAO, Rome, Italy, 146p.
- Abdelguerfi A., and Abdelguerfi-Laouar M., 2004. Les ressources génétiques d'intérêt fourrager et/ou pastoral: Diversité, collecte et valorisation au niveau méditerranéen. *Options Méditerranéennes A62*: 29-41.
- Abdelkefi A., and Marrakchi M., 2000. Les ressources phytogénétiques fourragères et pastorales: De l'érosion à la conservation. *Options Méditerranéennes A45*: 15-27.
- ABH-CZ, 2015. Agence du bassin hydrographique Chlef-Zahrez : Atlas de la sous région 03 (Mina, Bas-Cheliff). Available at http://www.abh-cz.com.dz/pdf/atlas_3_1.pdf (accessed December 2015).
- Abramowitz M., and Stegun I., 1965. Handbook of mathematical functions. National bureau of standards, applied mathematics series-55, Washington, D.C
- AFES, 1995. Référentiel pédologique ; INRA, Paris, 332p.
- Afsharmesh G., 2009. Study of some morphological traits and select of drought-resistant alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L.) in Jiroft, Iran. *Plant Ecophysiology* 3: 109-118.
- Aghrab, A. 2005. Une méthodologie pour caractériser le climat et la sécheresse d'une région. Les Editions Le Manuscrit, 51p.
- Akçura M., and Çeri S., 2011. Evaluation of drought tolerance indices for selection of Turkish oat (*Avena sativa* L.) landraces under various environmental conditions. *Zemdirbyste-Agriculture* 98:157-166.
- 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.). PhD thesis. Montpellier Academy, University of Science and Techniques of Languedoc, Lusignan, France, 189p
- Amichi H., Bazin G., Chehat F., Ducourtieux O., Fusillier J.L., Hartani T., and Kuper M., 2011. Enjeux de la recomposition des exploitations agricoles collectives des grands périmètres irrigués en Algérie: le cas du Bas-Cheliff. *Cahiers Agricultures* 20(1): 150-156. Doi: 10.1684/agr.2010.0459
- Amigues J.P., P. Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., and Thomas A., 2006. Sécheresse et agriculture: Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72p.

- Amrani R., 2011. Variabilité spatio-temporelle de la sécheresse dans le bassin versant de l'oued Cheliff, Algérie. Mémoire de magister, université Hassiba Ben Bouali, Chlef, 87p.
- Annerose D., and 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.
- Annicchiarico P., Pecetti L., Abdelguerfi A., Bouizgaren A., Carroni A.M., Hayek T., M'hammedi Bouzina M., Mezni M., 2011. Adaptation of landrace and variety germplasm and selection strategies for lucerne in the Mediterranean basin. *Field Crops Research* 120:283-291. [Doi:10.1016/j.fcr.2010.11.003](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.11.003).
- Annicchiarico P., Pecetti L. and Tava A., 2013. Physiological and morphological traits associated with adaptation of lucerne (*Medicago sativa*) to severely drought-stressed and to irrigated environments. *Annals of Applied Biology* 162: 27-40. [doi:10.1111/j.1744-7348.2012.00576.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2012.00576.x).
- Aydi S., Sassi S., Zribi K., Paere H., Drevon J.J., and Abdelly C., 2006. Variabilité de la réponse de *Medicago truncatula* a la contrainte saline, en condition de fixation symbiotique de l'azote. In Abdelguerfi, A. (ed.) forage Fabaceae diversity and their symbionts: biotechnological, agronomic and environmental applications. International Workshop, Algiers, Algeria, p. 213-217.
- Bagnouls F., and Gaussen H., 1953. Saison sèche et indice xérothermique. *Bulletin Société Histoire Naturelle Toulouse* 88: 193-239.
- Bamouh A., 1998. Gestion de la contrainte pluviométrique pour l'amélioration de la production végétale et de l'efficience d'utilisation de l'eau. *Bulletin de liaison du programme national de transfert de technologie en agriculture n°50, Maroc*
- Beaudoin N., Denys D., Muller J.C., Monvrin M.D., and Ledain C., 1992. Influence d'une culture de luzerne sur le lessivage du nitrate dans les sols de Champagne-Crayeuse. *Fourrages*, 129, 45-57.
- Beaulieu C., Ouarda TBMJ., and Seidou O., 2007. Synthèse des techniques d'homogénéisation des séries climatiques et analyse d'applicabilité aux séries de précipitations. *Hydrological Sciences Journal* 52(1): 18-37. [Doi: 10.1623/hysj.52.1.18](https://doi.org/10.1623/hysj.52.1.18).
- Bellague D., Chedjerat A., Khedim A., Khelifi H.E., M'Hammedi Bouzina M., Merabet B.A., Laouar M., and Abdelguerfi A., 2008. Comportement et efficience d'utilisation de l'eau de quelques cultivars de luzerne pérenne dans une région semi-aride en Algérie. *Options Méditerranéennes A79*: 265-268.
- Bellague D., 2011. 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. Mémoire de magister, Université Hassiba BenBouali, Chlef, 109p.
- Benabderrahim M.A., Hamza H., Haddad M.A., and Ferchichi A., 2015. Assessing the drought tolerance variability in Mediterranean alfalfa (*Medicago sativa* L.) genotypes under arid conditions. *Plant Biosystem* 149:395-403. [Doi:10.1080/11263504.2013.850121](https://doi.org/10.1080/11263504.2013.850121).

- Benaini M., and Achite M., 2015. Etude de la variabilité spatio-temporelle des précipitations annuelles dans la partie Nord-Est de l'Algérie: Application de l'analyse en composante principale (ACP). Proceeding des résumés : Conférence internationale sur l'hydrologie des grands bassins fluviaux de l'Afrique (Hammamet, Tunisia).
- Bensemmane L., et Bouzerzour, 2006. Rythme de développement des variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum Desf*), analyse de la croissance-développement. INRAA, Revue Recherche Agronomique 18: 20-32.
- Betran F.J., Beck D., Banziger M., and Edmeades G.O., 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and non stress environments in tropical. Crop Science 43(3): 807-817. Doi:10.2135/cropsci2003.8070.
- Bolton J.L., Goplen B.P., and Baenziger H., 1972. World distribution and historical developments. In Hanson C.H. (ed) Alfalfa science and technology. Agronomy Monograph 15: 1-34. Doi:10.2134/agronmonogr15.c1
- Bootsma A., Boisvert J.B., De Jong R., and Baier W., 1996. La sécheresse et l'agriculture canadienne: Une revue des moyens d'action. Sécheresse 7(4): 277-285.
- Bouazzama B., Bouaziz A., Xanthoulis D., and Bahri A., 2015. Effet du déficit hydrique sur la croissance, le rendement et l'efficacité d'utilisation de l'eau chez la Luzerne (*Medicago sativa* L.) au Tadla. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires 3(2) :16-26.
- Bouizgaren A., Farissi M., Ghoulam C., Kallida R., Faghire M., Barakate M., and Al Feddy M.N., 2013. Assessment of summer drought tolerance variability in Mediterranean alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars under Moroccan fields conditions. Archives of Agronomy and Soil Science 59:147-160. Doi:10.1080/03650340.2011.606216.
- Boulaine J., 1957. Etude des sols des plaines du Chéelif. PhD Thesis. University of Algiers, Algiers, Algeria, 582p.
- Boussen H., Ben Salem M., Slama A., Mallek-Maalej E., and Rezgui S., 2010. Evaluation of drought tolerance indices in durum wheat recombinant inbred lines. Options Méditerranéennes A95: 79-83.
- Bouthiba A., 2007. Optimisation de l'irrigation de complément du blé dans la région de Chlef. Thèse de doctorat. Institut National d'Agronomie (INA), El-Harrach, Alger, 112p.
- Bouthiba A and Debaeke P., 2009. Besoins en eau de différentes variétés de blé dur en conditions semi-arides. Symposium International « Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGDUMED) », 14-16 mai 2009, Rabat (Maroc).
- Blum A., 1988. Plant breeding for stress environments. CRC Press, 223p.
- Bradai H., Douaoui A., and Marlet S., 2009. Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols dans la plaine du Bas-Cheliff, Algérie. In Hartani T, Douaoui et Kuper M. (eds) Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma, Mostaganem, Algérie, 26-28 mai 2008. Cirad, Montpellier, France.

- Bradai A., Douaoui A., and Hartani T., 2012. Somme problems of irrigation water management in Lower Cheliff plain (Algeria). *Journal of Environmental Science and Engineering A*, 1(3): 271-278.
- Bradai A., Douaoui A., Bettahar N., and Yahiaoui I., 2016. Improving the prediction accuracy of groundwater salinity mapping using indicator kriging method. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 142(7): 04016023_1 - 04016023_11.
- BSA, 2009. Bulletin statistique agricole série B. Ministère de l'agriculture et du développement rural, Algérie.
- Chaabena A., and Abdelguerfi A., 2001. Situation de la luzerne pérenne dans le Sahara et comportement de quelques populations locales et variétés introduites dans le sud-est du Sahara algérien. *Options méditerranéennes A45*: 57-60.
- Chaabena A., Abdelguerfi A., and Baameur M., 2004. Comportement et caractérisation de quelques variétés de luzerne (*Medicago sativa* L.) dans la région de Ouragla. *Cahiers Agricultures* 13(3): 271-276.
- Chaabena A., Abdelguerfi A., Eddoud A., Chehma A., Babahani S., Bradai L., Benamor O., Souta H., Rahmani A., Benhania A., Bouziani I., Maamri K., Touati A., Trabelsi H., and Achour L., 2006. Importance des Fabaceae dans la flore saharienne: Cas des régions de Ouargla et Oued Righ. In Abdelguerfi, A. (ed.) forage Fabaceae diversity and their symbionts: biotechnological, agronomic and environmental applications. International Workshop, Algiers, Algeria, p. 49-51
- Chakherchaman S.A., Mostafaei H., Imanparast L., and Eivazian M.R., 2009. Evaluation of drought tolerance in lentil advanced genotypes in Ardabil region. *Journal of Food Agriculture and Environment* 7:283-288.
- Chergui N., 1990. Etude de quelques aspects physiologiques du déficit hydrique chez la luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.). Mémoire d'ingénieur. Institut National d'Agronomie (INA), El-Harrach, Algérie, 102p.
- Childers W.R., 2008. Encyclopédie Canadienne (<http://www.thecanadianencyclopedia.com>)
- Clarke J.M., De Pauw R.L., and Townley-Smith T.M., 1992. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science* 32:723-728. doi:10.2135/cropsci1992.0011183X003200030029x.
- Climate-data.org, 2016. Worldwide climate classification. Available at <http://climate-data.org> (accessed march 2016).
- Cooper P.J.M., Gregory J., Tully D., and Harris H.C., 1987. Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Experimental Agriculture* 23(2): 113-158.
- Da Costa M., and Huang B., 2006. Deficit irrigation effects on water use characteristics of Bentgrass species. *Crop science* 46(4): 1779-1786. doi:10.2135/cropsci2006.01-0043.
- Dagnelie P., 2012. Principes de l'expérimentation: Planification des expériences et analyse de leurs résultats. 2ème édition, Presses agronomiques de Gembloux A.S.B.L. (Belgique), 413p.

- Dehbalaei S., Farshadfar E., and Farshadfar M., 2013. Assessment of drought tolerance in bread wheat genotypes based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5:2352-2358.
- Delgado E., 2006. Research works on Mielgas (*Medicago sativa* L.). Possibilities to use for grazing and improve degraded soils in the Mediterranean region. In Abdelguerfi, A. (ed.) forage Fabaceae diversity and their symbionts: biotechnological, agronomic and environmental applications. International Workshop, Algiers, Algeria, p.188-192.
- Doorenbos J., Pruitt W.O., 1975. Les besoins en eaux des cultures. *Bulletin d'Irrigation et drainage*, FAO nr 24. 197p.
- Doré T., LeBail M., Martin P., Ney B., and Roger-Estrade J., 2006. L'agronomie aujourd'hui, synthèses. Edition QUAE, 384p.
- Douaoui A., Gascual-Odeux C., and Walter C., 2004. Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas-Cheliff (Algérie) : mesures au laboratoire sous simulation de pluie. *Etude et gestion des sols* 11(4): 379-392.
- Douaoui A., 2005. Variabilité Spatiale de la salinité et sa relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chéiff: Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doctorat d'état, Institut National d'Agronomie (INA), Alger, 233 p.
- Dubuis A, and Simonneau P., 1959. Catalogue des végétaux observés sur la station d'étude des sols salins d'Hamadena. *Travaux des sections pédologie et agrologie*, Bulletin n°5, 22p.
- Durand J.H., 1983. Les sols Irrigables: Etude pédologique. Presses Universitaire de France. Agence de Coopération Culturelle et Technique, 338p.
- Duru M., and Langlet A., 1993. Effets de la compétition pour la lumière et du déficit en eau sur l'évolution du rapport feuille/tige de la luzerne. *Fourrages* 134: 199-204.
- Duthil J. 1967. La production fourragère. Baillièrre J.B. et fils (eds), Paris. 373p.
- Edwards D.C., and McKee T.B., 1997. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology report number 97-2*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- El-Boutahiri N., Thami Alami I., Ibriz M., and Alfaiz C., 2008. The effect of salinity and high temperature on biomass production of some alfalfa landraces. *Cahiers options méditerranéennes A79*: 293-297.
- Farissi M., Bouzgaren A., Faghire M., Bargaz A., and Ghoulam C., 2013. Agrophysiological and biochemical proprietes associated with adaptation of *Medicago sativa* populations to water deficit. *Turkish Journal of Botany* 37:1166-1175. Doi:10.3906/bot-1211-16.
- Farquhar G.D., and Richards R.A., 1984. Isotopic composition of plant carbon correlates with water use efficiency of wheat genotypes. *Australian Journal of Plant Physiology* 11: 539-552.
- Farshadfar E., and Sutka J., 2002. Multivariate analysis of drought tolerance in wheat substitution lines. *Cereal Research Communications* 31: 33-40.

- Fernandez G.C.J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In George Kuo C. (Ed.) *Adaptation of food crops to temperature and water stress: Proceedings of an International Symposium*, Taiwan. Asian Vegetable Research and development Center, Taipei, China, p.257-270
- Fick G.W., Holt D.A., and Lugg D.G., 1988. Environment physiology and crop growth. In Hanson A.A., Barnes D.K., and Hill R.J. (eds) *Alfalfa and Alfalfa improvement. Agronomy Monograph 29*: 163-191. Doi:10.2134/agronmonigr29.c5
- Fischer R.A., and Maurer R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I: grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research* 29: 897–912.
- Genier G., Guy P., and Prosperi J.M., 1992. Les luzernes. In *Amélioration des espèces végétales cultivées: objectifs et critères de sélection*. Edition Gallais A. et Bannerot H.. INRA, Paris. pp.323-338.
- 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 Ingénieur, INA-El-Harrach, 54p.
- Gosse G., Lemaire G., Chartier M., and Balfourier F., 1988. Structure of lucerne population (*Medicago sativa* L.) and dynamics of stem competition for light during regrowth. *Journal of Applied Ecology* 25(2): 609-617. Doi: 10.2307/2403848
- Grimes D.W., Wiley P.L., and Sheesley W.R., 1992. Alfalfa yield and plant water relations with variable irrigation. *Crop Science*. 32(6):1381–1387. Doi:10.2135/cropsci1992.0011183X003200060015x.
- Guyot G., 1999. *Climatologie de l'environnement, Cours et exercices corrigés*. Ed. Dunod, Paris. 504p.
- Guyot L., and Gibassier P., 1967. *Les noms des plantes*. Edition PUF, Collection Que sais-je ? n°866, Paris, 77p.
- Haffani S., Mezni M., and Chaibi W., 2014. Agronomic performances of three vetch species growing under different drought levels. *Chilean Journal of Agricultural Research* 74(3): 263-272. Doi:10.4067/S0718-58392014000300003.
- Hanks R.J., and Rasmussen V.P., 1982. Predicting crop production as related to plant water stress. *Advances in Agronomy* 35: 193-215. Doi: 10.1016/S0065-2113(08)60325-9
- Hartani T., Douaoui A., Kuper M., and Hassani F., 2008. Stratégies de gestion individuelle de la salinité dans le périmètre irrigué du Bas Cheliff : cas du périmètre de Ouarizane. In Kuper M. and Zaïri A. (eds) *Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du troisième atelier régional du projet Sirma*, Nabeul, Tunisie, 4-7 juin 2007. Cirad, Montpellier, France.
- Hassini N., Abderrahmani B., and Dobbi A., 2015. Changement climatique et phénomènes extrêmes : action symbiotique du climat et du milieu naturel dans l'occurrence de la sécheresse en Algérie. 28^{ème} colloque de l'association internationale de climatologie, Liège, Belgique, p.503-508.

- Hayek T., Loumerem M., Nagaz K., and Thabet M., 2008. Growth development and dry matter yield of 16 Lucerne genotypes cultivated in south Tunisia. *Options Méditerranéennes A79*: 299-302.
- Hayes M.J., Svoboda M.D., Wilhite D.A., and Vanyarkho O.V., 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of American Meteorological Society* 80 (3): 429-438.
- Hillel D., 1997. La petite irrigation dans les zones arides: Principes et options. Collection FAO : Développement 2. (accessed at <http://www.fao.org/docrep/w3094f/w3094f00.htm>).
- Hireche-Adjal Y., 2006. Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L.) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mémoire de magister, Université Al-Hadj Lakhdar, Batna (UHLB), 83p.
- Hnatyszyn M. et Guais A., 1988. Les fourrages et l'éleveur; agriculture d'aujourd'hui: Science, techniques et applications. Paris. 440 p.
- Hsiao T.C., 1973. Plant response to water stress. *Annual Review of Plant Physiology* 24: 519-590. Doi: 10.1146/annurev.pp.24.060173.002511
- Hufty A., 2001. Introduction à la climatologie: Le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine. The presses of Laval University, Quebec, Canada, 542p.
- Huyghe C., 2002. 40 ans d'amélioration des espèces fourragères pérennes: acquis et perspectives. *Bulletin « le sélectionneur Français »* (53) : 41-54.
- INSID, 2011. Carte d'occupation du sol Wilaya de Relizane. Notice explicative. 13p.
- Itier B., and Seguin B., 2007. La sécheresse : caractérisation et occurrence, en lien avec le climat et l'hydrologie. *Fourrages* 190:147-162.
- Jebara M., Aouani M.E., Mhamedi R., Ghir R., and Mars M., 2000. Effet du sel sur des isolats de *Sinorhizobium sp.* de Tunisie in vitro ou en association avec *Medicago sp.* *Cahiers Agricultures* 9(2): 99-102.
- Jefferson P.G., and Cutforth H.W., 1997. Sward age and weather effects on alfalfa yield at a semi-arid location in southwestern Saskatchewan. *Canadian Journal of Plant science* 77(4): 595-599. doi: 10.4141/P96-110.
- Jouilil I., Bitar K., Salama H., Amraoui, Moksit A., and Tahiri M., 2013. Sécheresse météorologique au bassin hydraulique Oum Er Rbia durant les dernières décennies. *Larhyss Journal* 12: 109-127
- Justes E., Thiébeau P., Cattin G., Larbre D., and NicolardoT B., 2001. Libération d'azote après retournement d'une culture de luzerne : un effet sur deux campagnes. *Perspectives Agricoles* 264: 22-28.
- Kadouri M., Baouz A., Telmat Z., and Tienti N., 2005. Carte de la qualité des eaux superficielles. Agence national des ressources hydriques (ANRH), 2005.

- Kambou D., Xanthoulis D., Ouattara K., and Aurore D., 2014. Concepts d'efficience et de productivité de l'eau (synthèse bibliographique). *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement* 18(1):1-13.
- Khedim A., Khelifi H.E., Nabi M., Hadj-Omar K., Mefti M., Maouche S., Bellague D., M'Hammedi Bouzina M., Laouar M., Merabet B.A., Bouzerzour H., and Abdelguerfi A., 2008. Etude du comportement vis a vis de la sécheresse estivale de trois graminées fourragères : *Dactylis glomerata* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Phalaris aquatica* Des f. *Options Méditerranéennes A79*: 319-322.
- Khelifi H.E., 2008. Etude du comportement de quelques variétés ou populations de luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.) et de sulla (*Hedysarum coronarium* L.). Thèse de magister. Institut National d'Agronomie (INA), El-Harrach, Algérie, 183p.
- 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., and Abdelguerfi A., 2008. Preliminary results of production and water use efficiency among perennial alfalfa cultivars (*Medicago sativa*) under rainfed and irrigated water regime. *Options Méditerranéennes A79*: 327-330.
- Kohler M.A., 1949. On the use of double-mass analysis for testing the consistency of meteorological records and for making required adjustments. *Bulletin American Meteorologic Sciences* 30: 188-18
- Laborde J.P., 2009. *Eléments d'hydrologie de surface*. 204p. Available at https://hydrologie.org/BIB/manuels/Laborde_2009.pdf (accessed December 2016).
- Latrach L., Farissi M., Mouradi M., Makoudi B., Bouizgaren A., and Ghoulam C., 2014. Growth and nodulation of alfalfa-rhizobia symbiosis under salinity: electrolyte leakage, stomatal conductance, and chlorophyll fluorescence. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 38:320-326. doi:10.3906/tar-1305-52.
- Le Houerou H.N., Claudin J., and Pouget M., 1977. Etude bioclimatique des steppes Algériennes. *Bulletin Société Histoire Naturelle d'Afrique du Nord* 68(3-4): 33-74.
- Lelièvre F., 2006. Quelques recommandations pour les expérimentations visant à mesurer en pots Water Use Efficiency sur la luzerne. Note technique (PERMED), 7p.
- Lelièvre F., Satger S., and Volaire F., 2008. Water use efficiency in arid season and water cost of summer survival of perennial forage grasses in Mediterranean areas. *Options Méditerranéennes A79*: 259-263.
- Lemaire G., 2006. La luzerne: Alfalfa. Productivity and quality. In Abdelguerfi, A. (ed.) forage Fabaceae diversity and their symbionts: biotechnological, agronomic and environmental applications. International Workshop, Algiers, Algeria, p. 174-182.
- Lemaire G., and Pflimlin A., 2007. Les sécheresses passées et à venir : Quels impacts et quelles adaptations pour les systèmes fourragers ?. *Fourrages* 190: 163-180.
- Lin C.S., and Binns M.R., 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar × location data. *Canadian Journal of Plant Science* 68:193-198. Doi:10.4141/cjps88-018.
- Lapeyronie A., 1982. *Les productions fourragères*. Edition Maisonneuve et Larose. 425p.

- Lery F., 1982, L'agriculture au Maghreb, Ed. G-P. Maisonneuve et Larose, Paris, 338 p.
- Mauriès M., 1994. La Luzerne aujourd'hui: Vaches laitières, vaches allaitantes, chèvres, brebis, chevaux. Editions France Agricole. 254p.
- Mbarki S., Labidi N., Jedidi N. and Abdelly C., 2006. Effet d'un amendement organique sur la croissance et le comportement nutritionnel de *Medicago sativa*, cultivée en présence de sel. In Abdelguerfi, A. (ed.) forage Fabaceae diversity and their symbionts: biotechnological, agronomic and environmental applications. International Workshop, Algiers, Algeria, p. 218-222.
- McDonald M., Atkins W.S., and BNEDER, 1990a. Etude de l'avant projet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebkhat Benziane et du réaménagement du Bas-Cheliff : Analyse des ressources en sol, report nr I-B. Ministry of Hydraulics, National agency of realization and management hydraulic infrastructures for irrigation and drainage (AGID), Algeria.
- McDonald M., Atkins W.S., and BNEDER, 1990b. Etude de l'avant projet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebkhet Benziane et du Réaménagement du Bas-Cheliff. Analyse des ressources en eau, report nr I-C. Ministry of Hydraulics, National agency of realization and management hydraulic infrastructures for irrigation and drainage (AGID), Algeria
- McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Proceeding of the 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, Californie (USA), p179-184.
- Meddi H., and Meddi M., 2004. Sécheresse et spatialisation des précipitations dans le nord-ouest de l'Algérie. In CRSTRA (ed) Communication du colloque international « Terre et Eau ». Journal Algérien des Régions Arides, numéro spécial 2006 : 31-34.
- Meddi H., and Meddi M., 2007. Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie. Geographia Technica 2(2): 49-55.
- Merabet B. A. and Bouthiba A., 2005. L'irrigation de complément du blé dur : Influence de la nature du matériel végétal et de la variabilité climatique interannuelle dans une plaine semi-aride d'Algérie. Sciences et Technologie C (23): 72-79.
- Mezni M., Bizid E., and Hamza N., 1999. Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la survie et la croissance de trois cultivars de Luzerne pérenne. Fourrages 158 : 169-178.
- Michaud R., Lehmen W.F., and Rumbaugh M.D., 1988. World distribution and historical development. In Hassan A.A., Barnes D.K., and Hill R.R. (eds) Alfalfa and alfalfa improvement. Agronomy 29: 25-91. doi:10.2134/agronmonogr29.c2.
- Moghaddam A., Vollmann J., Wanek W., Ardakani M.R., Raza A., Pietsch G., and Friedel J.K., 2012. Suitability of drought tolerance indices for selecting alfalfa (*Medicago sativa* L.) genotypes under organic farming in Austria. Crop Breeding Journal 2: 79-89.
- Mohammadi R., Amri A., and Nachit M.. 2011. Evaluation and characterisation of international durum wheat nurseries under rainfed conditions in Iran. International Journal of Plant Breeding 5 (2): 94-100.
- Moïse L., 1976. Luzerne et facteur climatique. Mémoire de stage au CIGREF, groupement de Bordeaux, 342p.

- Mokhtari D.E., 2009. Apport de la télédétection dans l'évaluation de la dégradation des états de surfaces en milieu salin (Le Bas-Cheliff). Mémoire de magister, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB), Alger, 99p.
- Moosavi S.S., Yazdi Samadi B., Naghavi M.R., Zali A.A., Dashti H., and Pourshahbazi A., 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert* 12:165-178.
- Muller J.C., Denys D., and Thiébeau P., 1993. Présence de légumineuses dans la succession de cultures : luzerne et pois cultivés purs ou en association, influence sur la dynamique de l'azote. *Matières organiques et agricultures. Congrès GEMAS-COMIFER*, Blois, France, pp83-92.
- Myer G.L., Miller W.W., Narayanan R., Jensen E.H., and Zheng Y.B., 1991. Water management of alfalfa through individual harvest production functions. *Journal Production Agriculture* 4(4): 505-508. doi: 10.2134/jpa1991.0505.
- Naghavi M.R., Pour Aboughadareh A., and Khalili M.. 2013. Evaluation of drought tolerance indices for screening some of corn (*Zea mays* L.) cultivars under environmental conditions. *Notulae Scientia Biologicae* 5:388-393.
- Nouri A., Etminan A., Teixeira da Silva J.A., and Mohammadi R., 2011. Assessment of yield, yield related traits and drought tolerance of durum wheat genotypes (*Triticum turjidum* var. durum Desf). *Australian Journal of Crop science*. 5(1): 8-16.
- OMM, 2006. Suivi de la sécheresse et alerte précoce : principes, progrès et enjeux futurs, Organisation météorologique mondiale (OMM) nr 1006, 26p.
- OMM, 2012. Guide d'utilisation de l'indice de précipitation normalisé. Organisation météorologique mondiale (OMM) nr 1090, 17p
- OMM, 2016. Handbook of drought indicators and indices. Organisation météorologique mondiale (OMM) nr 1173, 45p.
- OSS, 2009. Vers un système d'Alerte précoce à la sécheresse au Maghreb. Observatoire du Sahel et du Sahara (OSS), Tunis. Collection Synthèse n° 4, 84p.
- Pecetti, L., Annicchiarico P., De Rosa L., and Proietti S., 2012. Targeting Lucerne cultivars to saline-soil environment. In Barth S., and Melbourne D. (eds) *Breeding strategies for sustainable forage and turf grass improvement*, p.249-253. Doi: 10.1007/978-94-007-4555-1_32.
- Pecetti L., Romani M., De Rosa L., and Piano E., 2008. Selection of grazing tolerant lucerne cultivars. *Grass and Forage Science* 63(3):360-368. doi:10.1111/j.1365-2494.2008.00640.x.
- PERMED. 2004. Improvement of native perennial forage plants for sustainability of Mediterranean farming systems. PERMED project-INCO-2004-509140.
- Quezel P., and 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.

- Rahimi M., Dehghani H., Rabiei B., and Tarang A.R., 2013. Evaluation of rice segregating population based on drought tolerance criteria and biplot analysis. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5:194-199.
- Rata M., 2010. Variabilité spatio-temporelle de la salinité des sols dans la plaine du Bas Chélif - Etablissement d'une Banque de Données -. Mémoire de magister, Université Hassiba BenBouali, Chlef, 121p.
- Rosielle A.A., and Hamblin J., 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science* 21:943-946.
- Saeed I.A.M., and El-Nadi A.H., 1996. Irrigation effects on the growth, yield, and water use efficiency of alfalfa. *Irrigation Science* 17(2): 63-68. doi: 10.1007/s002710050023.
- Saidi D., Douaoui A., Le Bissonnais Y., Walter C., 1999. Sensibilité des couches de surface des plaines du Chélif (Algérie) à la dégradation structurale. *Etude et Gestion des Sols* 6(1): 15-25.
- Saidi D., Le Bissonnais Y., Duval O., Daoud Y. and Tessier D., 2008. Estimation et signification de la capacité d'échange cationique des sols salés du Cheliff (Algérie). *Etude et Gestion des Sols* 15(4): 241-253
- Saidi D., 2010. Evolution de la porosité des sols argileux du Bas-Cheliff sous contraintes salines. *Nature et Technologie* 2: 51-58.
- Sekrani H., Zoghalmi A., Mezni M., and Hassen H., 1996. Synthèse des travaux de recherche réalisés sur les *Medicago* à l'institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie. *Options méditerranéennes A18*: 31-37.
- Seltzer P., Lasserre A., Grandjean A., and Auberty R., 1946. Le climat de l'Algérie. La Typolitho et Carbonel J. (ed), Alger, 219p.
- Sheaffer C.C., Tanner C.B., and Kirkham M.B., 1988. Alfalfa water relations and irrigation. In Hanson A.A., Barnes D.K., and Hill R.J. (eds) *Alfalfa and Alfalfa improvement. Agronomy Monograph* 29: 373-409. Doi:10.2134/agronmonogr29.c11
- Silsbury JH., 1961. A study of dormancy, survival and other characteristics in *Lolium perenne* L. at Adelaide, S.A. *Australian Journal of Agricultural Research* 12: 1-9. doi: 10.1071/AR9610001.
- Simonneau P., Morel P., and Caillaud C., 1956. Fourrages artificiels. Rapport fonctionnement de la station d'étude des sols salins d'Hamadena (campagne 1955/56): 255-263.
- Sio-Se Mardeh A., Ahmadi A., Poustini K., and Mohammadi V., 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crops Research* 98:222-229.
- Smadhi D., and Zella L., 2012. Variabilité de la pluviométrie et son impact sur la production céréalière au nord de l'Algérie, Période (1970-2009). *Sciences et Technologie C-25*: 55-63.
- Soro G.E., Anouman D.G.L., Goula Bi T.A., Srohorou B., and Savane I., 2014. Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique à diverses échelles de temps en climat de type Soudanais : Cas de l'extrême nord-ouest de la cote d'Ivoire. *Larhyss Journal* 18: 107-124.
- Stour L., and Agoumi A., 2008. Sécheresse climatologique au Maroc durant les dernières décennies. *Hydroécologie Appliquée* 16 : 215-232. Doi:10.1051/hydro/2009003.

- Studeto P., Hsiao T., Fereres E., and Raes D., 2012. Crop yield response to water. Irrigation and drainage bulletin, FAO nr 66, 500p.
- 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.
- Tabet Aoul M., 2008. Impacts du changement climatique sur les agricultures et les ressources hydriques au Maghreb, Les notes d'alerte du CIHEAM nr 48, 6p.
- Taibi Y., 2011. Analyse du régime climatique au nord de l'Algérie. Mémoire de magister, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA), El-harracj, Alger, 156p.
- Talia A., 2003. Évolution des régimes pluviométrique et hydrologique du Nord de l'Algérie. Mémoire de Magister, Université de Mascara, 160 p.
- Talia A., and Meddi M., 2004. La pluvio-variabilité dans le Nord de l'Algérie. In CRSTRA (ed) Communication du colloque international « Terre et Eau ». Journal Algérien des Régions Arides, numéro spécial 2006 : 477-480.
- Tarabideh A.H., Farshadfar M., and Safari H., 2014. Efficiency of screening techniques for evaluation corn (*Zea mays* L.) hybrids under drought conditions. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 7(3): 107-114.
- Tardieu T., Cruziat P., Clermont-Ferrand, Durand J.L., Triboï E., and 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.
- Teuber L.R., Taggard K.L., Gibbs L.K., McCaslin M.H., Peterson M.A., and Barnes D.K., 1998. Fall dormancy. In Fox C.C., Berberet L., Gray F.A., Grau C.R., Jessen D.L., and Peterson M.A. (eds) Standard Tests to Characterize Alfalfa Cultivars, 3rd Edition. North American Alfalfa Improvement Conference (NAAIC), Beltsville, Maryland, USA. Available at <https://www.naaic.org/stdtests/Dormancy2.html>, p. A-1
- Thiébeau P., Pamaudeau V., and Guy P., 2003. Quel avenir pour la luzerne en France et en Europe. Le courrier de l'environnement 49: 29-46.
- Thiébeau P., Larbre D., Usunier J., Cattin G., Parnaudeau V., and Justes E., 2004. Effets d'apports de lisier de porcs sur la production d'une luzerne et dynamique de l'azote du sol. Fourrages 180: 511-525.
- Thom H.C.S., 1958. A note on the gamma distribution. Monthly Weather Review 86(4): 117-122.
- Tigkas D., Vangelis H., and Tsakiris G., 2014. DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. Earth Science Informatics 8(3): 697-709. Doi:10.1007/s12145-014-0178-y
- Tsakiris G., and Vangelis H., 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. European Water 9/10: 3-11.
- Tsakiris G., Pangalou D., and Vangelis H., 2007. Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). Water resources Management 21(5): 821-833.

- Tsakiris G., Nalbantis I., Pangalou D., Tigkas D., and Vangelis H., 2008. Drought meteorological monitoring network design for the reconnaissance drought index (RDI). *Options Méditerranéennes A80*: 57-62.
- Tull J., 2010. Of alfalfa. In Brahfeld A., and Choate M. (6th ed) *the horse hoeing husbandry*, pp.353-376.
- USSL, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Richards L.A. (ed.) *Agriculture Handbook n°60*, Washington (USA), 160p.
- Vanpeene-Bruhier S., Piedallu C., and Delory I., 2002. Réaménagement agricole des carrières de granulats. Edition Quae. 160 p.
- Volaire F. 1995. Growth, carbohydrate reserves and drought survival strategies of contrasting *Dactylis glomerata* L. populations in a Mediterranean environment. *Journal of Applied Ecology* 32(1): 56-66. Doi:10.2307/2404415.
- Volaire F., Seddaiu G., Ledda L., and Lelievre F., 2009. Water deficit and induction of summer dormancy in perennial Mediterranean grasses. *Annals of Botany* 103(8): 1337-1346. doi:10.1093/aob/mcp080.
- Volaire F., Ahmed L.Q., Barre P., Bourgoïn T., Durand J.L., Escobar-Gutiérrez A., Fakiri M., Ghesquière M., Julier B., Kallida R., Louarn G., Morvan-Bertrand A., Picon-Cochard C., Prud'homme M.P., Shaimi N., Zaka S., Zhouri L., and Zwicke M., 2016. Quelle est la variabilité intra- et interspécifique des caractères d'adaptation des espèces prairiales pérennes aux variables du changement climatique? *Fourrages* 225: 1-9.
- Walter C., MC Bratney A.B., Douaoui A., and Minasny B., 2001. Spatial prediction of topsoil salinity in the Cheliff valey, Algeria, using local ordinary Krigging with local variograms versus whole-area variogram. *Australian Journal of Soil research* 39(2): 259-272. Doi:10.1071/SR99114
- Wilhite D.A., 2000. Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. In Wilhite D.A. (ed.) *Drought: A Global Assessment*, Vol. I: 3-18.
- WRB. 2015. World Reference Bas for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soils maps. *World Soil Resources reports nr 106*. FAO, Rome, Italy, 192p.
- Wu H., Hayes M. J., Donald A., Wilhite A., and Svoboda M. D., 2005. The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation. *International Journal of Climatolology* 25 (4): 505-520. doi: 10.1002/joc.1142.
- Yacono X., 1955. Colonisation des plaines du Cheliff (de Lavigerie au confluent de la Mina). Tome1, imprimerie Imbert, Alger, 444p.
- Yahiaoui I., 2011. Evaluation de la dynamique spatiale de l'occupation du sol dans la plaine du Bas-Cheliff (Algérie) apport de la télédétection. Mémoire de Magister, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB), Alger, 70p.
- Zoghلامي A., Nefzaoui A., and Seklani H., 1995. Etude de trois associations luzerne-graminée pérenne en zone semi-aride de Tunisie. *Fourrages* 142 :181-190.
- Zwart S.J., and Bastiaanssen W.G.M., 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management* 69:115-133.

ANNEXES

Annexe 1. La sonde à Neutron CPN503

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 subit le neutron avec son milieu. Pour que le neutron s'affaiblit, 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 (¹²C).

Étalonnage 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. 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. 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 :

$$\theta_v = a + b * CR$$

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

θ_m : Humidité massique

CR : Comptage relatif

A, b : coefficient d'ajustement

Annexe 2 : Le projet PERMED



Le projet international PERMED, financé par l'union européenne, s'intitule « Amélioration des plantes fourragères locales pour la durabilité des systèmes agricoles Méditerranéens ».

Résumé du projet :

La quantité d'eau disponible pour l'agriculture en Méditerranée diminue en raison de la pression démographique croissante et de la sécheresse. Par conséquent, l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour la production agricole doit être optimisée et, dans ce contexte, les espèces fourragères vivaces présentent un certain nombre d'avantages par rapport aux annuelles utilisées principalement. Ils peuvent utiliser l'eau tout au long de l'année, en plus de pouvoir stopper la dégradation des parcours, restaurer la fertilité des sols et améliorer la production fourragère, contribuant ainsi à une plus grande durabilité des systèmes agricoles pluviale dans l'Union Européenne méridionale et l'Afrique du Nord.

L'approche multinationale est adoptée pour cibler les principaux objectifs d'amélioration de la résistance à la sécheresse et de l'efficacité de l'utilisation de l'eau, ce projet vise à produire des cultivars commercialement viables d'un certain nombre d'espèces d'intérêt régional et d'adaptation.

Dix groupes de recherche du sud de l'Europe et de l'Afrique du Nord travailleront sur des espèces telles que la luzerne, la féтуque et la Sulla pour améliorer le développement des cultivars dans des environnements allant de l'humide à l'aride.

Des kits de travail complémentaires compléteront la collecte et l'évaluation du matériel génétique du fourrage nord-africain, évalueront l'utilisation de la génétique moléculaire dans la sélection de la luzerne résistante à la sécheresse, évalueront les populations fourragères d'élite dans la région pour une EUE élevée et l'adaptation à la sécheresse comme base pour de nouveaux cultivars.



Les participants des 7 pays méditerranéens :

INRA : Institut National de la recherche agronomique (Algérie, Maroc et France)

IRESA : Institution de Recherche et d'Enseignement Supérieur Agricole (Tunisie)

IRA : Institut des régions arides (Tunisie)

INIAP : Institut national de l'investigation agraire et de la pêche (Portugal)

UIB : Université des îles Baléares, Département de Biologie-IMEDEA (Espagne)

UB : Université de Barcelone, Faculté de Biologie (Espagne)

ISCF : Institut de recherche sur les cultures fourragères (Italie)

CNR : Italie

Annexe 3. Analyse de la variance interannuelle de la pluie (période 1973-2010)

Source des variations	S.C.	DDL	M.C.	F	Probabilité	F _{critique}
Interannuelle	1581444,91	37	42741,75	11,87	4,15E-38	1,46
Intra-annuelle	957804,52	266	3600,77			
Total	2539249,42	303				

Annexe 4. Analyse de la variance inter-poste pluviométrique (8PV, période 1973-2010)

Source des variations	S.C.	DDL	M.C.	F	Probabilité	F _{critique}
Inter-poste pluvio.	238367,18	7	34052,45	4,38	1,21E-04	2,04
Intra-poste pluvio.	2300882,24	296	7773,25			
Total	2539249,42	303				

Annexe 5. Paramètres de la méthode d'écart type

Campagne	Pm	σ	IC	Pm-2 σ	Pm- σ	Li	Ls	Pm+ σ	Pm+2 σ
PV012409	327,32	116,09	36,91	95,13	211,22	290,41	364,23	443,41	559,50
PV012605	348,22	94,73	30,12	158,76	253,49	318,11	378,34	442,96	537,69
PV012704	269,97	91,30	29,03	87,37	178,67	240,94	298,99	361,26	452,56
PV012803	297,82	79,81	25,38	138,20	218,01	272,45	323,20	377,63	457,45
PV012804	287,75	85,99	27,34	115,78	201,77	260,41	315,09	373,74	459,72
PV012806	294,15	82,63	26,27	128,89	211,52	267,88	320,43	376,78	459,42
PV013504	253,41	68,82	21,88	115,78	184,59	231,53	275,29	322,22	391,04
PV013606	299,17	77,93	24,78	143,32	221,24	274,39	323,95	377,09	455,02

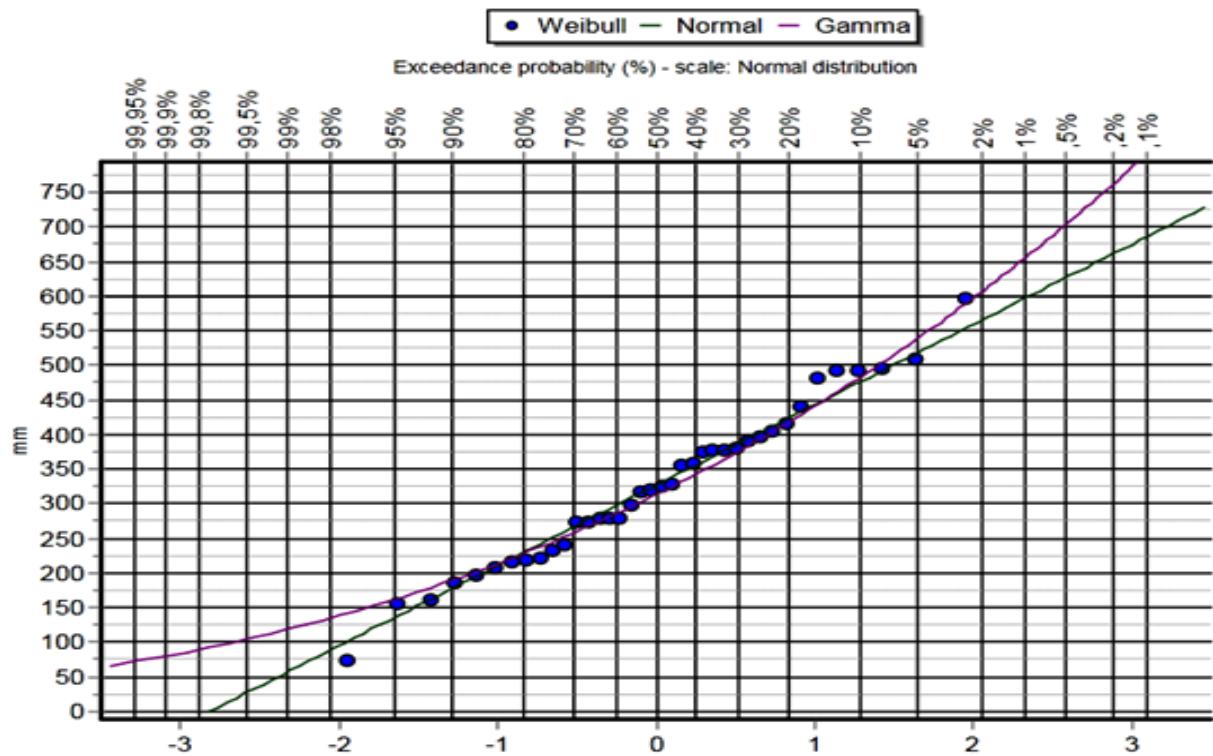
Annexe 6. Appréciation de l'indice du Nombre d'écart type (8 PV, Période 1973-2010)

Campagne	PV012409	PV012605	PV012704	PV012803	PV012804	PV012806	PV013504	PV013606
1973 - 1974	MH	MH	MH	MH	N	MH	MH	SH
1974 - 1975	SH	SH	MS	N	MH	MS	N	N
1975 - 1976	MH	SH	N	MH	MH	SH	MH	SS
1976 - 1977	MH	SH	XH	N	MH	N	MH	SS
1977 - 1978	MH	MH	MH	MS	N	MH	N	MS
1978 - 1979	SH	MH	XH	SH	SH	SH	MH	SS
1979 - 1980	N	MH	MH	MH	MH	MH	MH	N
1980 - 1981	N	MS	MH	MS	N	N	MH	N
1981 - 1982	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS	SS
1982 - 1983	MS	MS	N	N	N	SS	MH	SH
1983 - 1984	MS	MS	MS	MS	MS	N	SS	XH
1984 - 1985	MS	MS	MS	SS	SS	SS	SS	SS
1985 - 1986	MH	N	N	N	SH	MH	N	MH
1986 - 1987	MS	N	N	SH	N	N	N	MH
1987 - 1988	MH	MS	MS	N	N	N	SH	MH
1988 - 1989	MS	MS	MS	SS	SS	SS	SS	MH
1989 - 1990	MS	SS	SS	MS	MS	MS	MS	N
1990 - 1991	SS	N	N	N	MH	MH	N	N
1991 - 1992	SS	MS	SS	N	MS	MS	MS	MS
1992 - 1993	XS	MS	SS	SS	SS	SS	XS	MS
1993 - 1994	MS	SS	MS	SS	SS	MS	SS	MS
1994 - 1995	SS	MS	SS	SS	SS	SS	SS	SS
1995 - 1996	MH	SH	SH	SH	XH	SH	SH	N
1996 - 1997	N	MH	N	MS	N	N	SS	N
1997 - 1998	N	SH	SH	MH	MH	N	N	MH
1998 - 1999	MS	MS	N	MS	MS	MS	MS	MS
1999 - 2000	SS	SS	SS	SS	SS	SS	MS	SS
2000 - 2001	MH	SH	MH	SH	MH	SH	SH	SH
2001 - 2002	SH	N	N	SH	MH	N	MH	MH
2002 - 2003	MS	MS	N	MS	MS	MS	MS	SS
2003 - 2004	N	N	MH	N	MH	MH	N	N
2004 - 2005	N	SS	N	MS	MS	MS	N	N
2005 - 2006	MH	N	MH	MH	N	N	MH	SH
2006 - 2007	N	MH	N	MH	MH	MH	MH	N
2007 - 2008	MS	MS	MS	MS	MS	MS	SS	N
2008 - 2009	SH	XH	XH	XH	SH	XH	SH	SH
2009 - 2010	XH	MH	SH	MH	MH	MH	SH	N
2010 - 2011	SH	SH	MS	SH	SH	SH	SH	SH

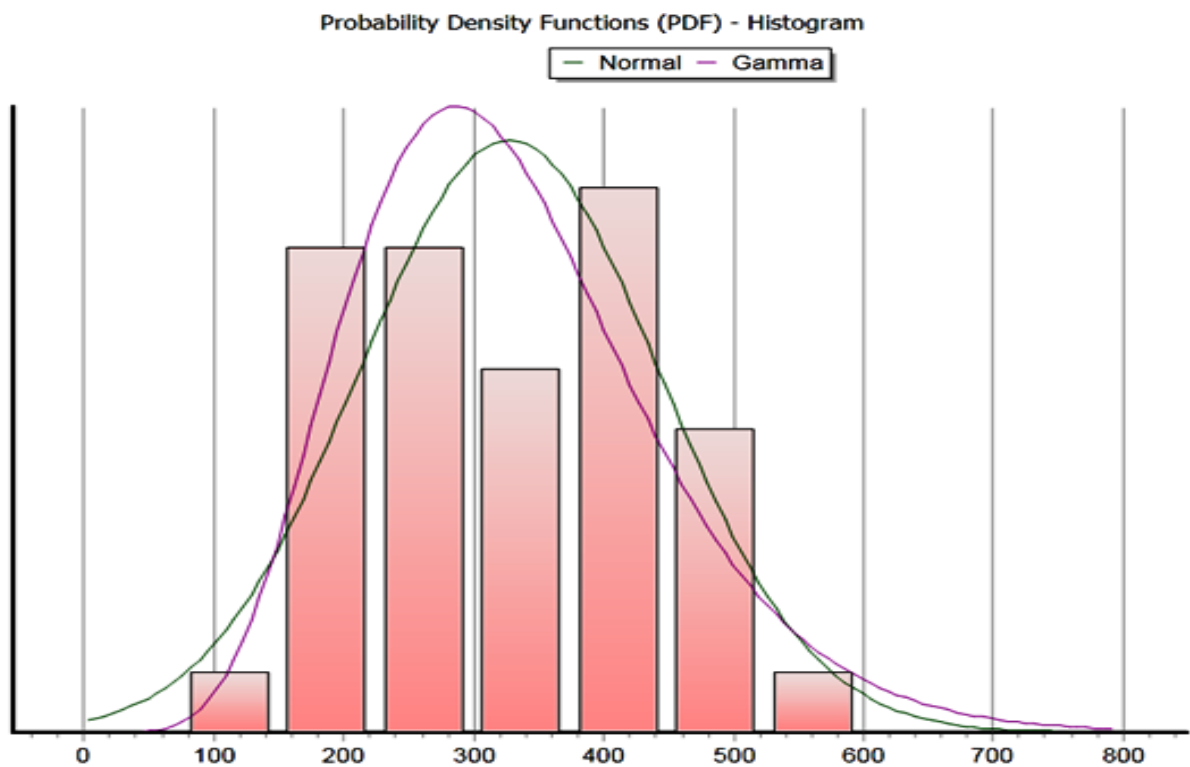
Annexe 7. Ajustement des séries pluviométriques à la loi Gamma/Normal

7.1. PV012409 (Ourizane village, S/bassin versant Oued Chlef-Ouarizane)

7.1.1. Fonction de distribution

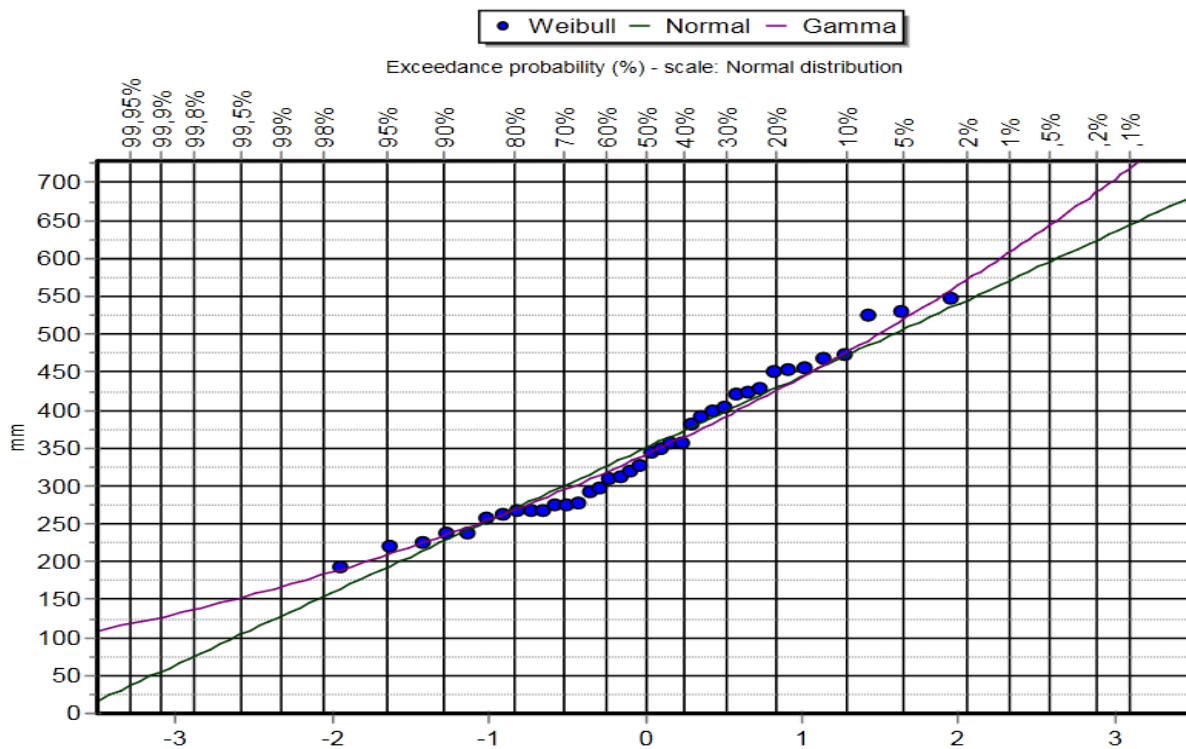


7.1.2. Fonction de densité

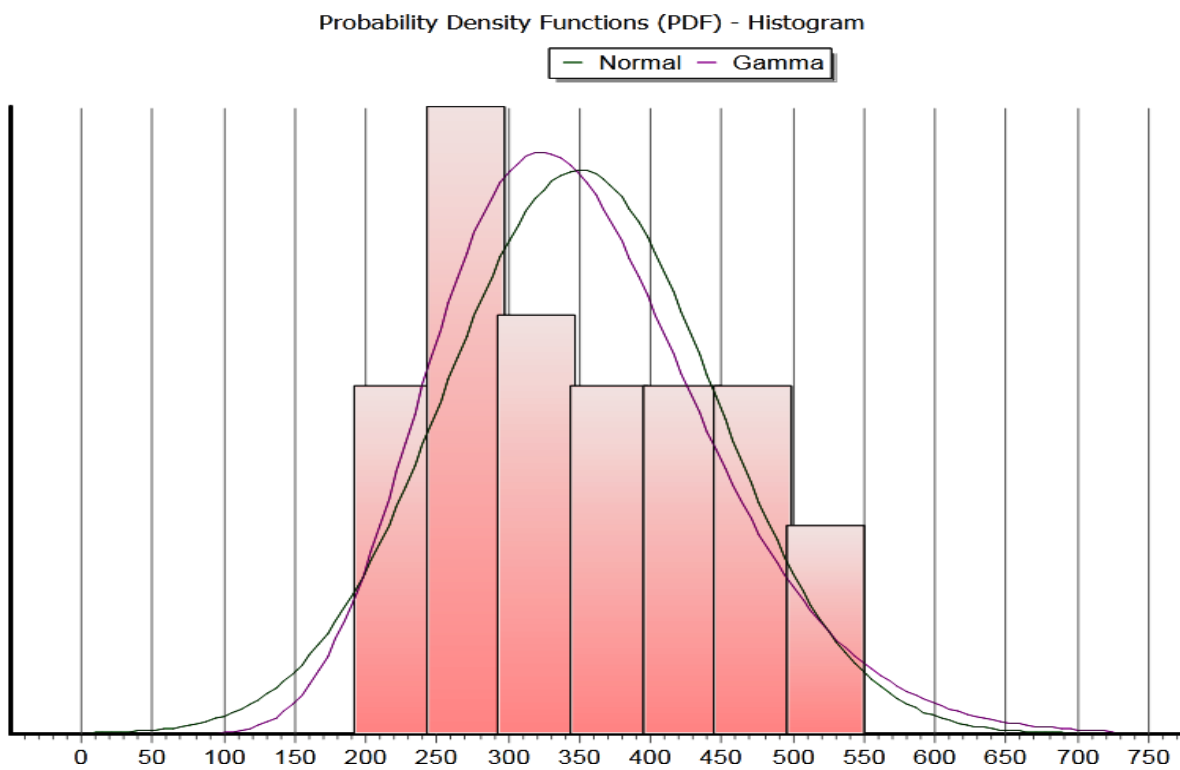


7.2. PV012605 (Ammi Mouusa, S/bassin versant Oued Rhiou-Tleta)

7.2.1. Fonction de distribution

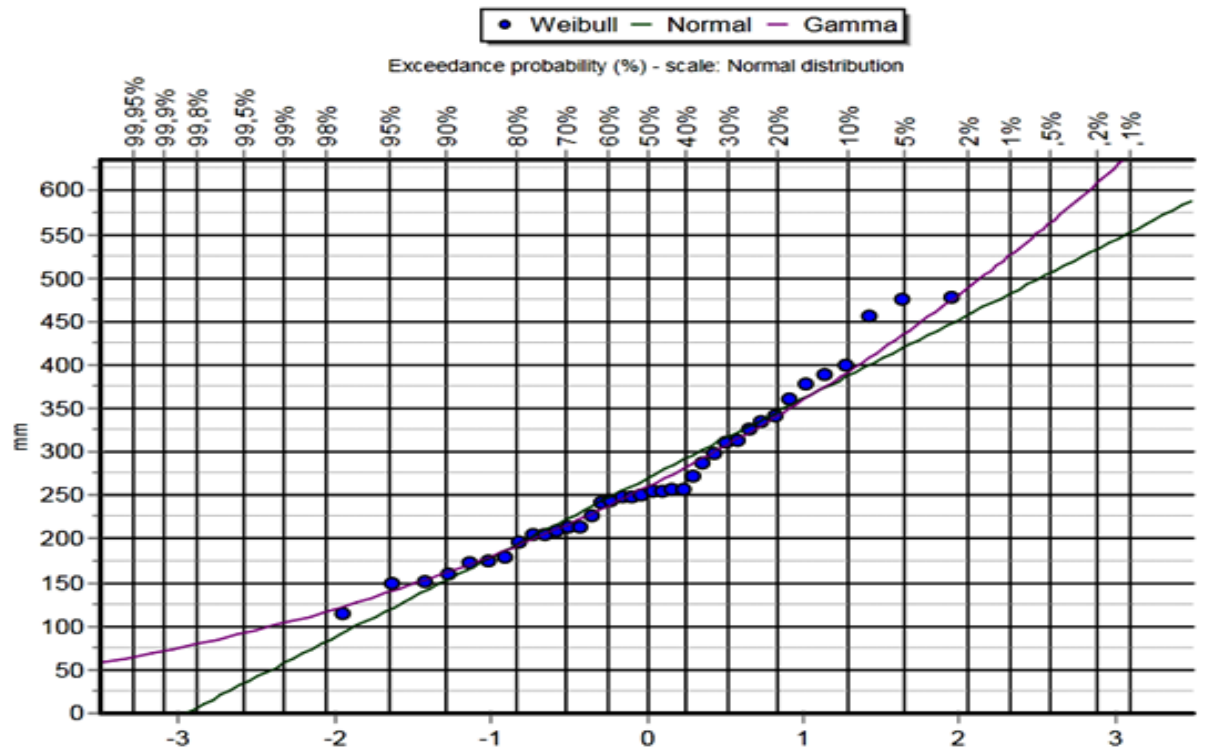


7.2.2. Fonction de densité

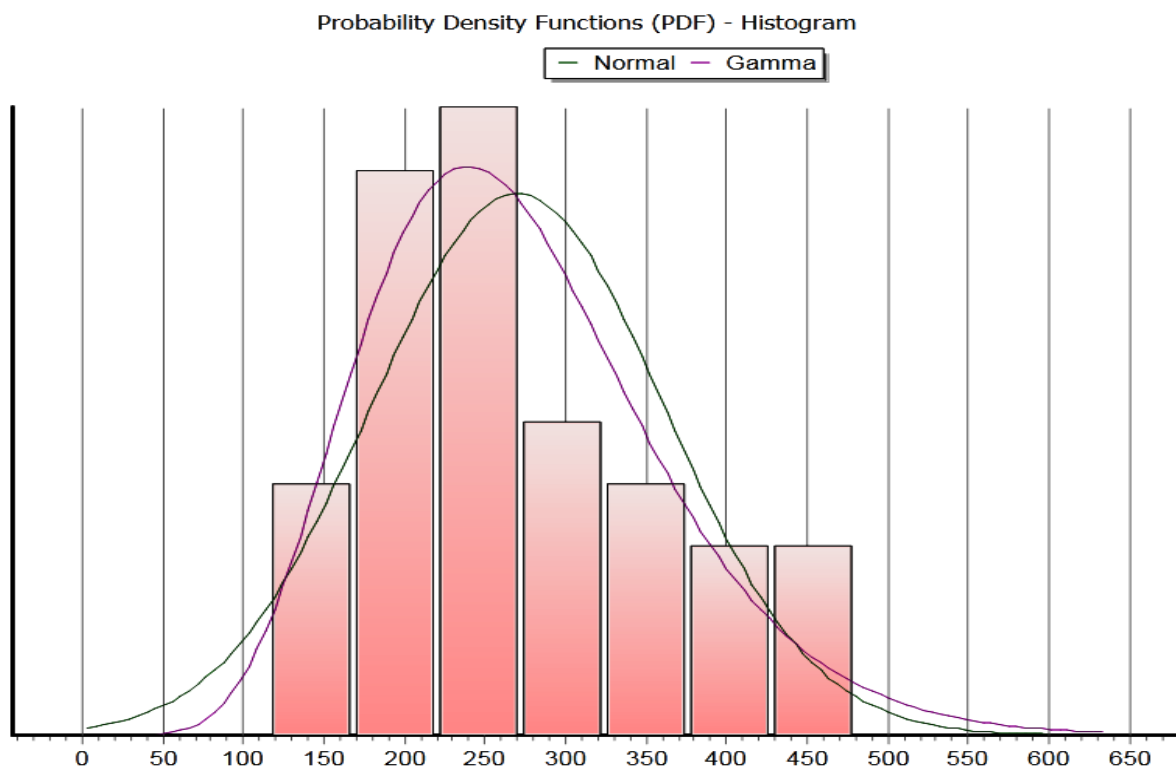


7.3. PV012704 (Ouled Ayche, S/bassin versant djiouia)

7.3.1. Fonction de distribution

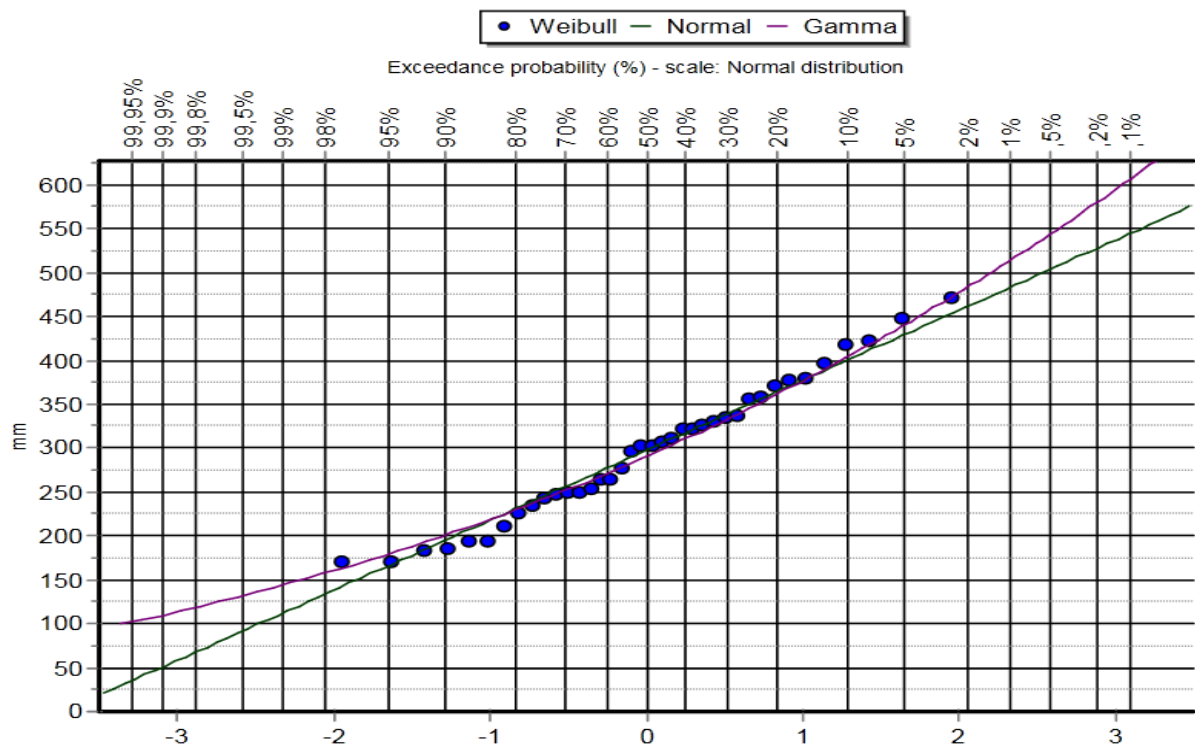


7.3.2. Fonction de densité

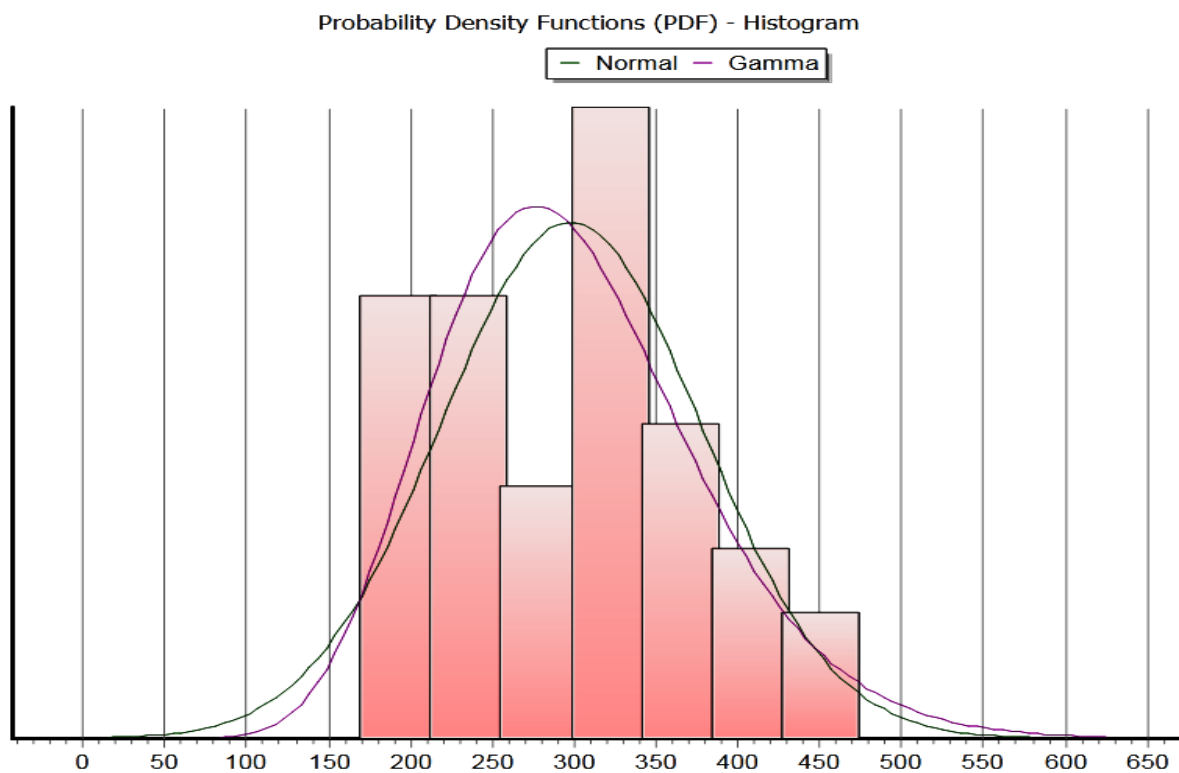


7.4. PV012803 (Hmadna INRAA, S/bassin versant Oued Chlef-Tarhia)

7.4.1. Fonction de distribution

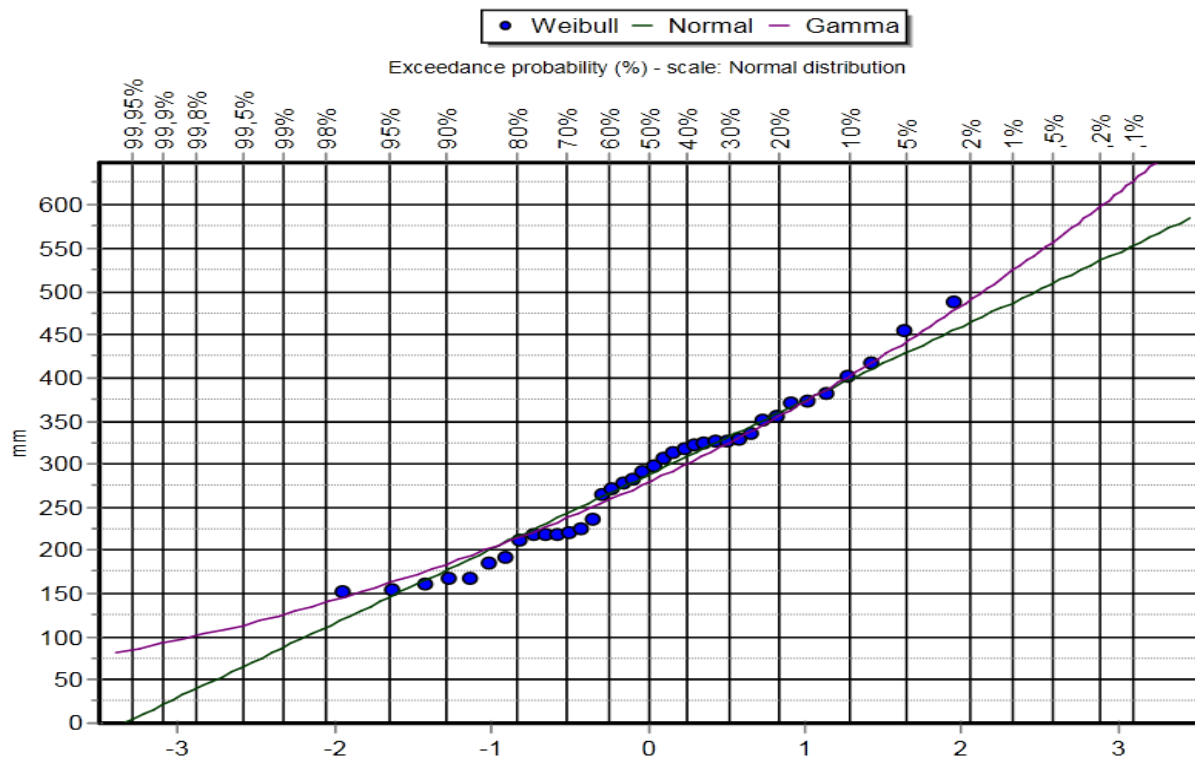


7.4.2. Fonction de densité

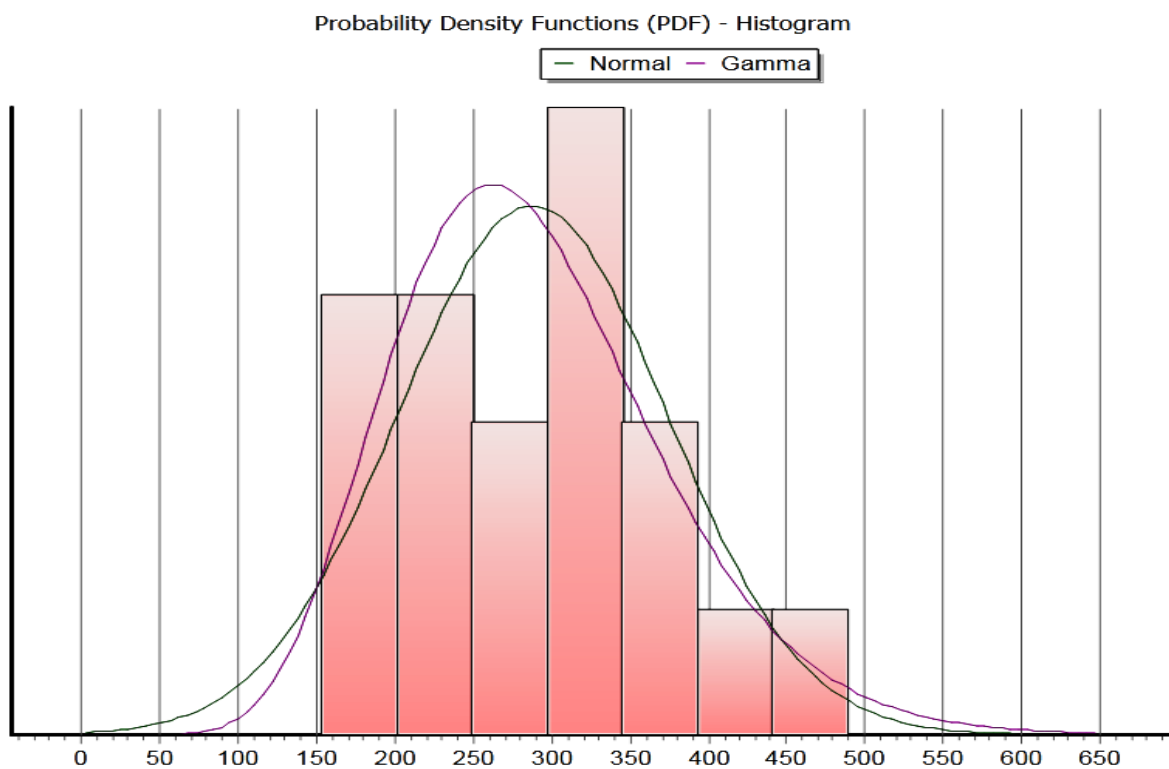


7.5. PV012804 (Domaine Si Lakhdar, S/bassin versant Oued Chlef-Tarhia)

7.5.1. Fonction de distribution

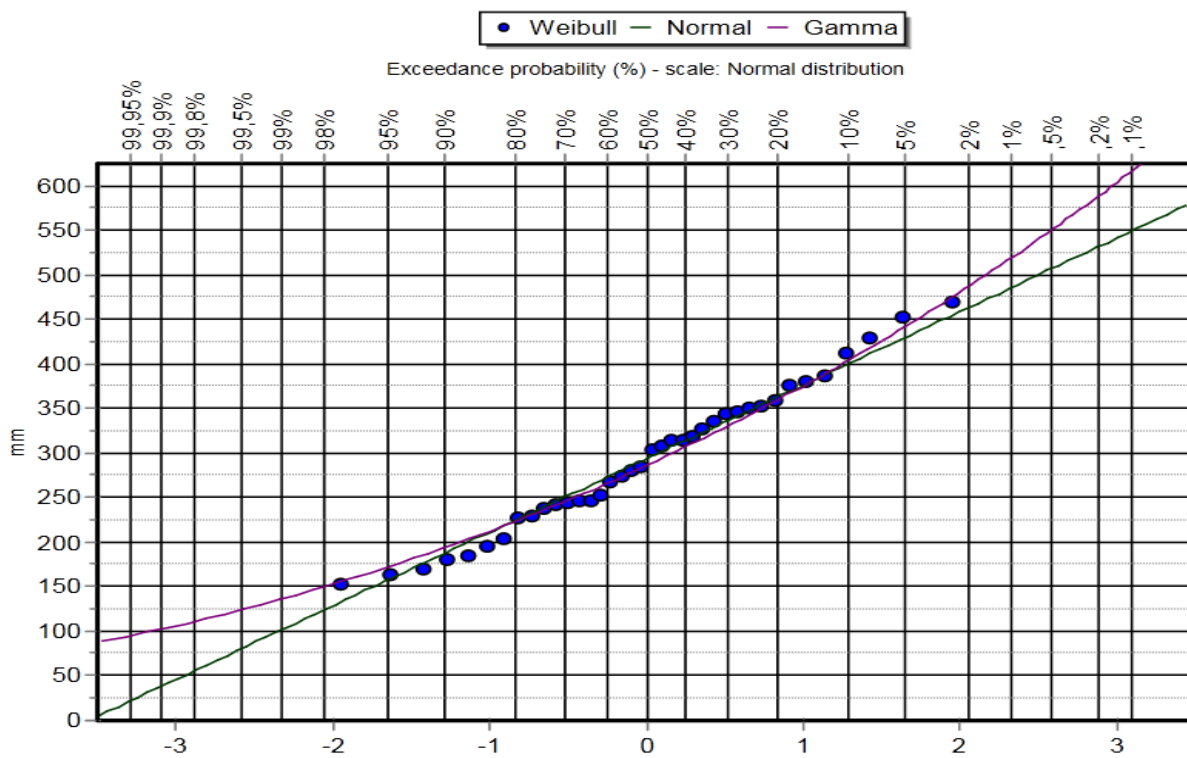


7.5.2. Fonction de densité

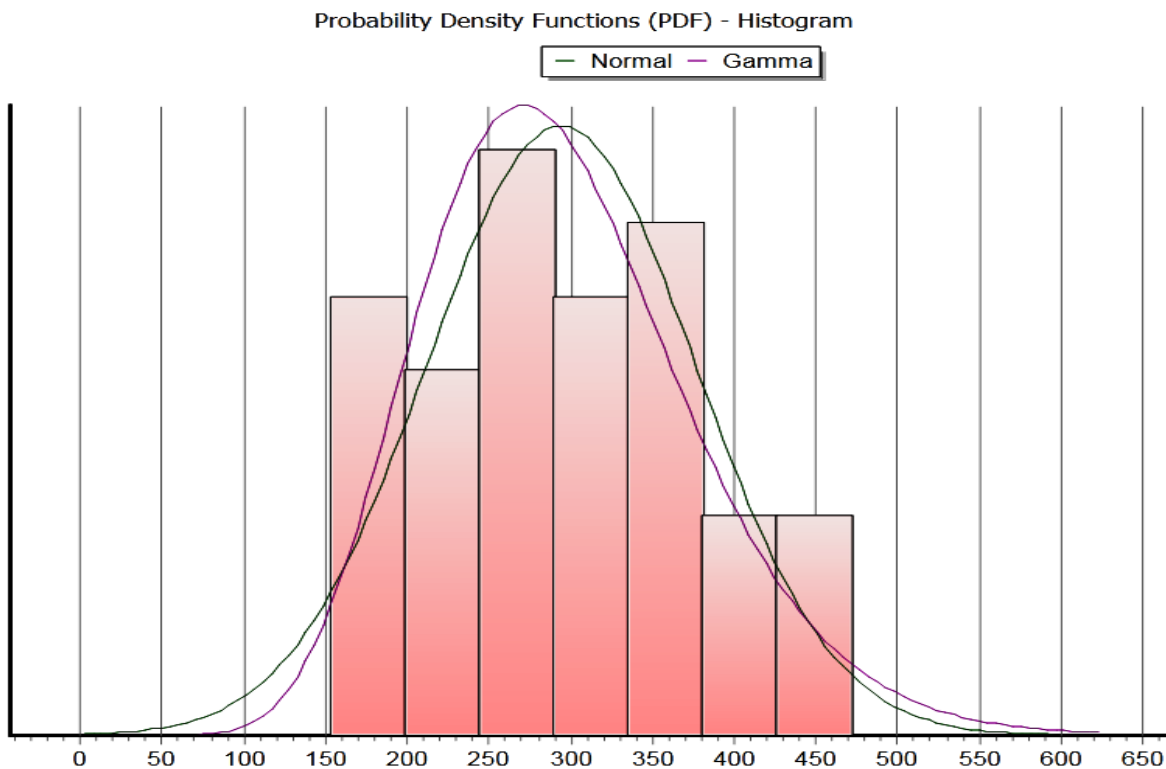


7.6. PV012806 (Djidiouia, S/bassin versant Oued Chlef-Tarhia)

7.6.1. Fonction de distribution

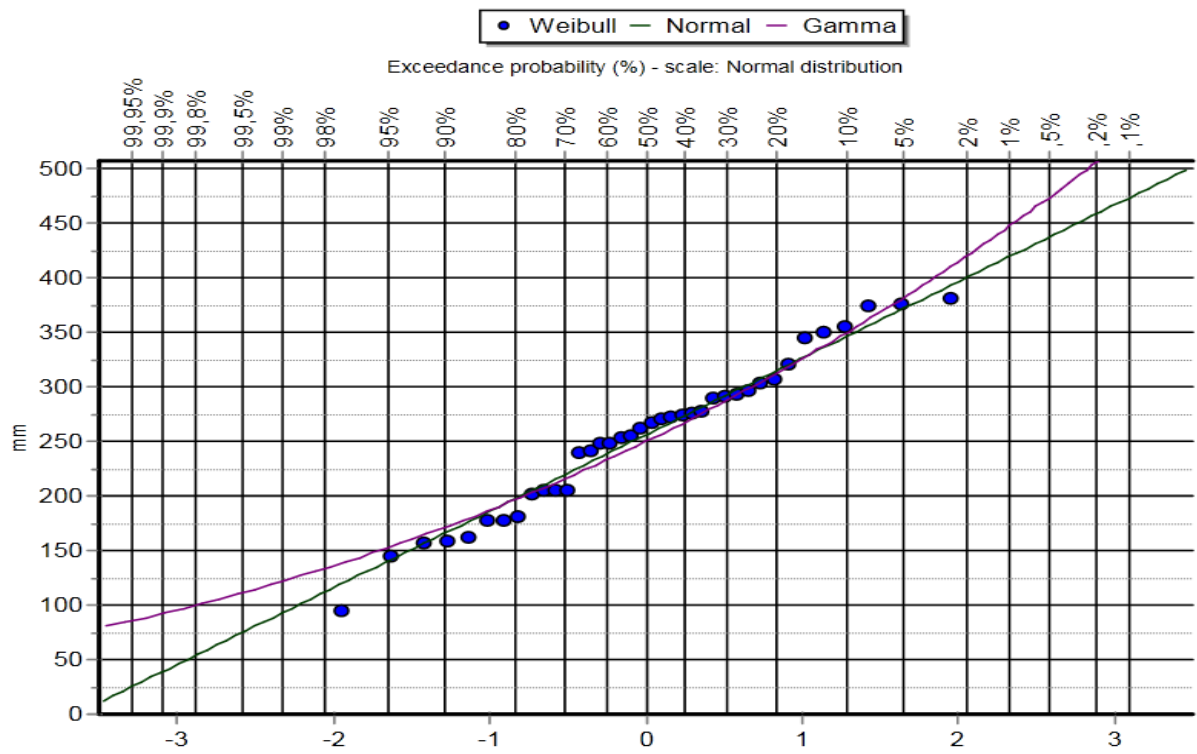


7.6.2. Fonction de densité

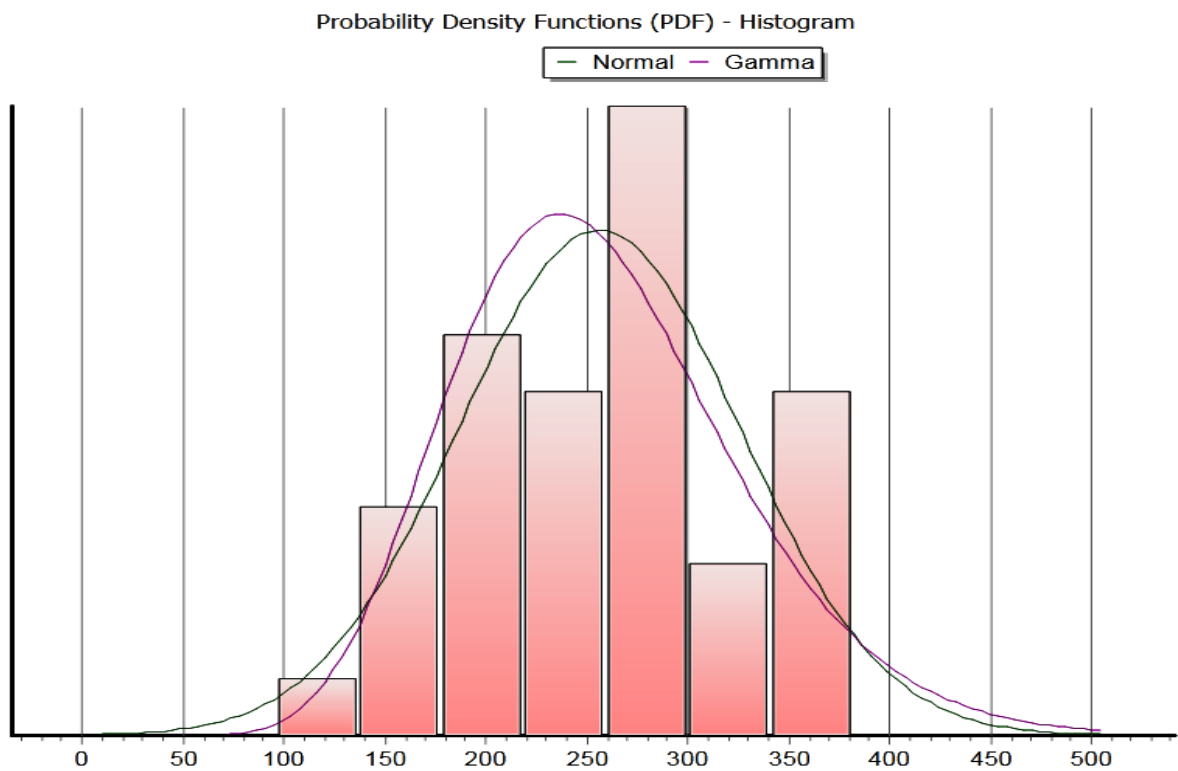


7.7. PV013504 (Saline Oued Djamaa, S/bassin versant Oued Mina aval)

7.7.1. Fonction de distribution

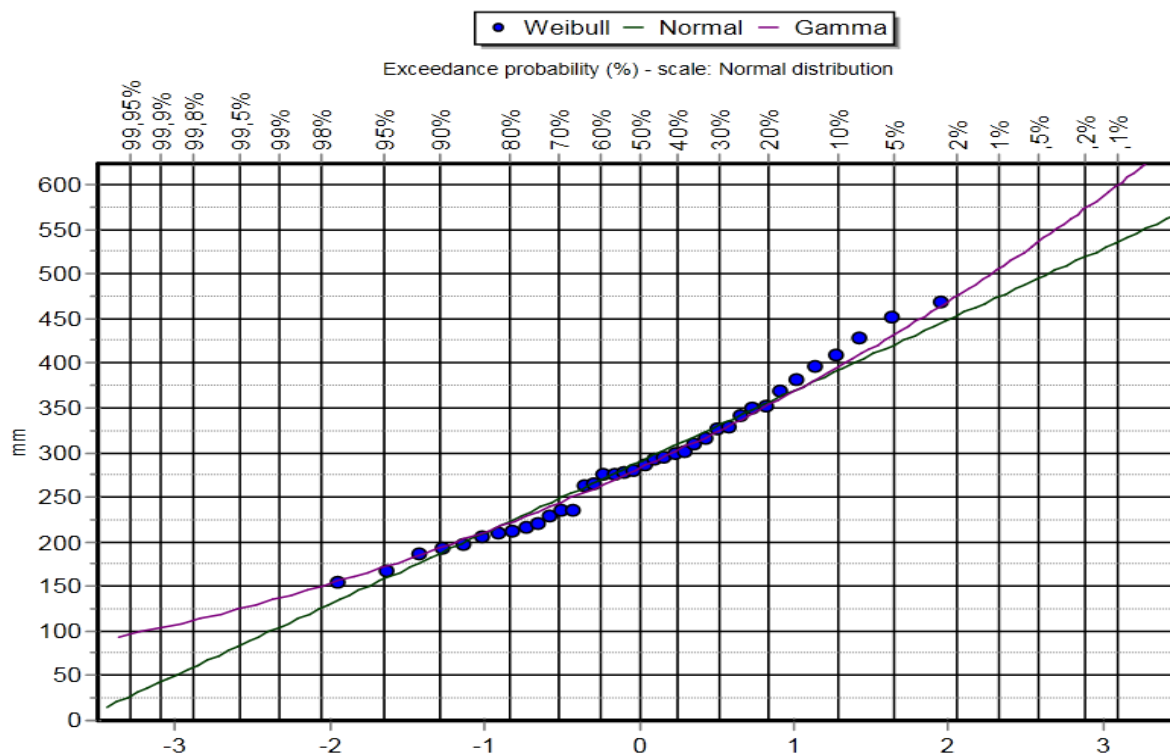


7.7.2. Fonction de densité

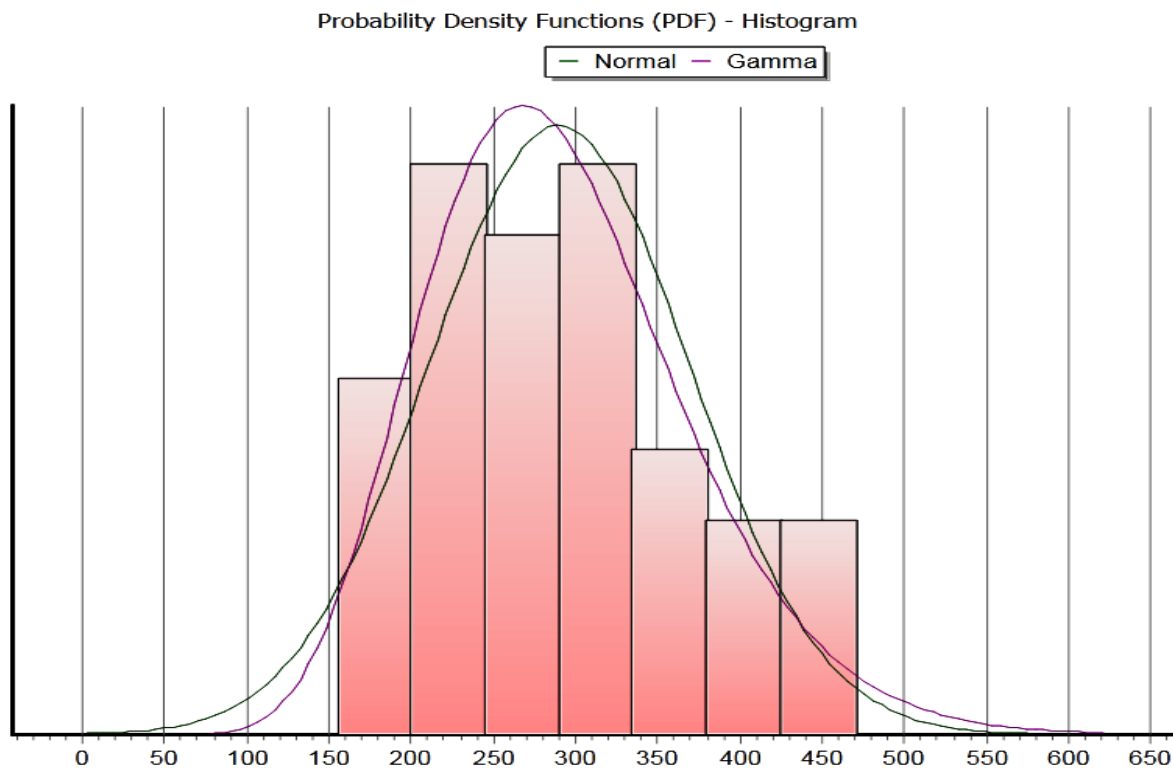


7.8. PV013606 (Oued El-Kheir, S/bassin versant Cheliff Maritime)

7.8.1. Fonction de distribution



7.8.2. Fonction de densité



Annexe 8. Appréciation de SPI_12 des 8 postes pluviométriques du Bas Cheliff (1973-2010)

Campagne	PV012409	PV012605	PV012704	PV012803	PV012804	PV012806	PV013504	PV013606
1973 - 1974	N	N	N	N	N	N	N	SH
1974 - 1975	MH	MH	MS	N	N	N	N	N
1975 - 1976	N	MH	N	N	N	MH	N	SS
1976 - 1977	N	MH	XH	N	N	N	N	MS
1977 - 1978	N	N	N	N	N	N	N	N
1978 - 1979	MH	N	SH	MH	MH	SH	N	MS
1979 - 1980	N	N	N	N	N	N	N	N
1980 - 1981	N	N	N+	N	N	N	N	N
1981 - 1982	MS	SS	MS	SS	SS	SS	MS	MS
1982 - 1983	N	N	N	N	N	SS	N	MH
1983 - 1984	N	N	N	N	N	N	MS	SH
1984 - 1985	N	N	N	SS	MS	MS	MS	SS
1985 - 1986	N	N	N	N	MH	N	N	N
1986 - 1987	N	N	N	MH	N	N	N	N
1987 - 1988	N	N	N	N	N	N	MH	N
1988 - 1989	N	MS	N	MS	SS	SS	MS	N
1989 - 1990	N	SS	SS	N	N	N	N	N
1990 - 1991	SS	N	N	N	N	N	N	N
1991 - 1992	SS	N	SS	N	N	N	N	N
1992 - 1993	XS	N	XS	MS	SS	MS	XS	N
1993 - 1994	N	MS	N	SS	MS	N	MS	N
1994 - 1995	MS	N	MS	MS	MS	MS	MS	MS
1995 - 1996	N	SH	MH	MH	XH	MH	SH	N
1996 - 1997	N	N	N	N	N	N	MS	N
1997 - 1998	N	SH	MH	N	N	N	N	N
1998 - 1999	N	N	N	N	N	N	N	N
1999 - 2000	N	MS	MS	SS	SS	SS	N	SS
2000 - 2001	N	MH	MH	SH	MH	SH	SH	SH
2001 - 2002	MH	N	N	MH	N	N	N	N
2002 - 2003	N	N	N	N	N	N	N	N
2003 - 2004	N	N	N	N	MH	N	N	N
2004 - 2005	N	MS	N	N	N	N	N	N
2005 - 2006	N	N	N	N	N	N	N	MH
2006 - 2007	N	N	N	N	N	N	N	N
2007 - 2008	N	N	N	N	N	N	MS	N
2008 - 2009	MH	SH	SH	SH	SH	SH	MH	MH
2009 - 2010	SH	N	MH	N	N	N	MH	N
2010 - 2011	MH	MH	N	MH	MH	MH	MH	MH

Annexe 9. Appréciation de la sécheresse selon le SPI et le RDI du poste PV012803 (Station de recherche-INRAA-Hmadna,période 1985-2010)

Campagne	Annuel		Automne- Printemps		Automne		Hiver		Printemps		Automne-Hiver		Hiver-Printemps	
	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI
1985	N	N	N	N	N	N	MH	MH	N	N	N	N	N	N
1986	MH	MH	N	N	N	N	MH	SH	SS	SS	SH	SH	N	N
1987	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1988	MS	MS	SS	SS	N	N	N	N	N	N	SS	SS	MS	N
1989	N	N	N	N	N	MS	N	N	N	MH	MS	MS	N	N
1990	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MH	N	N	N	MH
1991	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1992	N	N	N	N	N	N	MS	N	N	N	MS	N	N	N
1993	SS	MS	MS	MS	N	N	N	N	SS	MS	N	N	MS	N
1994	MS	MS	MS	MS	N	N	MS	MS	N	N	MS	MS	MS	MS
1995	MH	SH	MH	MH	N	N	SH	SH	N	N	SH	SH	SH	SH
1996	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1997	N	N	N	N	MH	MH	N	N	N	N	N	N	N	N
1998	N	N	N	N	MS	N	N	MH	N	N	N	N	N	N
1999	SS	SS	SS	SS	N	N	MS	N	SS	SS	N	N	XS	SS
2000	SH	MH	SH	SH	XH	XH	N	N	N	N	XH	XH	N	N
2001	N	MH	N	N	MH	MH	SS	SS	MH	MH	N	N	N	N
2002	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2003	N	N	N	N	N	N	N	N	N	MH	N	N	N	MH
2004	N	N	N	MS	N	N	N	N	XS	XS	N	N	N	SS
2005	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2006	N	N	N	N	XS	XS	N	N	SH	MH	N	N	SH	N
2007	N	N	N	MS	N	N	SS	XS	N	N	N	N	SS	XS
2008	SH	SH	SH	XH	MH	MH	MH	SH	MH	MH	SH	SH	SH	SH
2009	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2010	MH	MH	MH	MH	N	N	N	N	MH	N	N	N	N	N