

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

**ECOLE DOCTORALE : SCIENCES DE LA VIE,
DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT (ED-SEV/UCAD)**

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année : 2019

N° d'ordre : 201915



THESE DE DOCTORAT UNIQUE

Mention : Biologie, Physiologie et Productions Végétales

Option : Production et Protection des Végétaux

Spécialité : Malherbologie

La flore adventice du sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) en Haute Casamance (Sénégal): structure, dynamique, nuisibilité et calendrier de désherbage

Présentée par :

M. Samba Laha KA

Soutenue le 29 / 06 /2019 devant le jury composé de :

Président :	M. Kandioura NOBA	Professeur titulaire	UCAD
Rapporteur :	M. Abdala Gamby DIEDHIOU	Maître de conférences	UCAD
Rapporteur :	M. Aboubacry KANE	Maître de conférences	UCAD
Rapporteur :	M. Anicet MANGA	Maître de conférences	UGB
Examineur :	Mme Maïmouna SY NDIR	Maître de conférences	UCAD
Examineur :	M. Moustapha GUEYE	Chargé de recherches	ISRA

Directeur de thèse : M. Mame Samba MBAYE Maître de conférences UCAD

Citation de la thèse:

KA SL. (2019). La flore adventice du sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) en Haute Casamance (Sénégal): structure, dynamique, nuisibilité et calendrier de désherbage. Thèse de Doctorat Unique Production et Protection des Végétaux. Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 172pages.

Je rends grâce à DIEU de m'avoir permis de mener à terme ce travail.

Je le dédie:

***in memoriam* à :**

✓ **mes parents,**

✓ **Amadou Ido KA dit 'Pa KA',**

✓ **ma "gorgol" Mboyo Saykou KA,**

(Que Dieu vous accueille dans son paradis)

ensuite à :

✓ **ma famille à Mbour et au Djoloff,**

✓ **Habibou KA et sa famille,**

✓ **Babacar Samb et sa famille à la ZAC de Mbao,**

✓ **mes enseignants,**

✓ **mes amis.**

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je rends grâce à Dieu, qui de par sa miséricorde, nous a donné la force et la santé pour achever ce travail. Je prie sur son prophète Mohamed (PSL), la meilleure des créatures.

Une autre page se tourne!!!! Les années de thèse furent une occasion merveilleuse de rencontrer, d'échanger et plus encore de connaître des gens dont on se demande ce que serait la vie sans eux.

Bien que notre instinct nous recommande de ne pas s'aventurer dans la périlleuse aventure de citer les uns et forcément d'omettre les autres, la tradition nous impose de consacrer quelques lignes sans doute insuffisantes aux personnes qui ont contribuées de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Mes remerciements vont d'abord à mes institutions d'accueils que sont l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) et l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA). Je tiens à exprimer mes vifs remerciements au Professeur Kandiora Noba, chef du Laboratoire Botanique-Biodiversité de nous avoir ouvert les portes de son laboratoire depuis le Master et de nous avoir fait aimer la botanique. Accessible, Pr. Noba nous a fait bénéficier de son savoir-faire et de son expérience.

Mille fois merci à mon directeur de thèse le Pr. Mame Samba Mbaye. Toujours disponible, Dr. Mbaye m'a fait bénéficier de son expertise en assurant le suivi et l'encadrement scientifique de ce travail. Son sens de l'écoute, la pertinence de ses observations et ses suggestions ont donné à ce document toute sa portée scientifique. Qu'il veuille recevoir l'expression de ma plus haute gratitude.

Je tiens à remercier également mon superviseur à l'ISRA le Dr Moustapha Guèye. Merci pour l'appui, l'encadrement, la disponibilité, le dévouement et les conseils de tous les jours. J'associe à ses remerciements le directeur du Centre de Recherches Zootechniques de Kolda Dr. Mayécor Diouf. Mes remerciements vont aussi à l'endroit de tous les travailleurs du CRZ plus particulièrement Mamadou O Ly, Ernest Badji, Younouss Camara, Abdoulaye Diandy, Séga Ndao et la nouvelle équipe de Tambacounda Fatou Bintou Diouf, Banna Sané et Djibril Badiane.

Je tiens à remercier sincèrement les Drs Abdallah Gamby Diédhiou, Aboubacry Kane et Anicet Manga pour avoir accepté l'exigeant travail de rapporteur, ainsi que Dr. Maïmouna Sy Ndir et Dr. Moustapha Guèye qui ont bien voulu examiner et juger ce travail.

J'exprime toute ma gratitude à Abdoul Aziz Camara notre 'Bérhaut' pour l'aide précieuse dans l'identification des espèces et Rosalie Diouf documentaliste au CNRA de Bambey.

Mes remerciements s'adressent aussi à mes aînés au laboratoire de Botanique Biodiversité particulièrement aux Drs Godar Sène, Ablaye Ngom, César Bassène, Maïmouna Kane, Rahimi Mballo, Madiop Guèye, M. Birane Dieng et au marabout autoproclamé du laboratoire M. Mamadou Sidybé. J'associe à ces remerciements mes promotionnaires depuis le Master (Ndongo Diouf, Mokho Sarr, Fatou Kiné Guéye, Djibril Diop, Jules Diouf, Sanou Ndour, Sagar Ndong, Ousmane Touré, Mbéne Diakhaté, Seydina Sarr, Gamou Armand Monteiro, Sokhna Mbaye Hanne) et à tous les doctorants et étudiants du laboratoire Botanique-Biodiversité (Penda LO, ABDOU Salam, Seynabou Monique Diouf, Moussou Kéba Cissoko, Anna Samb...).

Merci à Mme Guèye née Fatou Dieng et Djeynaba Diallo Ba pour les repas copieux tout au long de ces années passées à Kolda.

Une partie de ce travail n'aurait jamais pu se réaliser sans les producteurs de sorgho du Fouladou qui ont rendu possible la phase de terrain, qu'ils trouvent ici l'expression de ma plus haute gratitude.

Enfin, je tiens à remercier ma famille et mes amis pour leur soutien incessant et affectueux. Nul ne doute que sans vous, rien de cela ne serait possible.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ACRONYMES, ABREVIATIONS ET SIGLES.....	VIII
LISTE DES FIGURES.....	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
RESUME.....	XIV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I: SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1.1. Le sorgho.....	3
1.1.1. Taxonomie et diversité génétique.....	3
1.1.2. Origine et diffusion.....	5
1.1.3. Biologie et Phénologie du sorgho.....	5
1.1.4. Besoins environnementaux du sorgho.....	12
1.1.5. Bioagresseurs du sorgho.....	13
1.1.6. Techniques culturales et post récolte.....	15
1.1.7. Transformation et usages.....	17
1.1.8. La production du sorgho.....	19
1.2. Les adventices.....	20
1.2.1. Une définition délicate !!!.....	20
1.2.2. Nuisibilité des adventices.....	21
1.2.3. Les leviers de gestion de la flore adventices.....	25
1.2.4. Les méthodes de luttés intégrées contre les mauvaises herbes.....	28
1.2.5. Les avantages de la présence des mauvaises herbes.....	29
CHAPITRE II: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	30
2.1. Le milieu d'étude.....	30
2.2. Reliefs et types de sols.....	31
2.3. Le climat.....	31
2.4. L'hydrographie.....	32
2.5. La végétation.....	32
CHAPITRE III: FLORE ADVENTICE DU SORGHO.....	34
3.1. Introduction.....	34
3.2. Méthodologie.....	35
3.2.1. Réalisation des relevés.....	35
3.2.2. Exploitation des données.....	35
3.3. Résultats.....	38
3.3.1. Spectre taxonomique.....	38
3.3.2. Spectre biologique.....	45

3.3.3.	Spectre chorologique.....	46
3.3.4.	Variabilité floristique.....	46
3.4.	Discussion	50
3.5.	Conclusion.....	54
CHAPITRE IV: IMPORTANCE AGRONOMIQUE DES ESPECES DE LA FLORE DU SORGHO 55		
4.1.	Introduction	55
4.2.	Méthodologie.....	56
4.2.1.	Le degré d'infestation.....	56
4.2.2.	L'Indice Partiel de Nuisibilité	58
4.3.	Résultats	59
4.3.1.	Degré d'infestation des espèces.....	59
4.3.2.	Nuisibilité des adventices	62
4.4.	Discussion	65
4.5.	Conclusion.....	68
CHAPITRE V: DYNAMIQUE DES LEVEES DES ADVENTICE DU SORGHO 69		
5.1.	Introduction	69
5.2.	Méthodologie.....	72
5.2.1.	Dispositif expérimental	72
5.2.2.	Traitement des données	73
5.3.	Résultats	75
5.3.1.	Structure de la flore levée.....	75
5.3.2.	Fréquence d'occurrence des espèces.....	76
5.3.3.	Importance relative des levées en fonction des conditions de fertilisation et de l'année	79
5.3.4.	Importance et chronologie des levées au cours du cycle cultural.....	80
5.3.5.	Variation de la diversité en fonction des conditions culturales et de l'année.....	82
5.4.	Discussion	86
5.4.1.	Diversité de la flore	86
5.4.2.	Densité des levées.....	87
5.4.3.	Importance et chronologie des levées au cours du cycle cultural.....	88
5.4.4.	Variation de la diversité en fonction des conditions culturales et de l'année.....	88
5.5.	Conclusion.....	90
CHAPITRE VI: ETUDE DE LA CONCURRENCE DES ADVENTICES VIS A VIS DU SORGHO 92		
6.1.	Introduction	92
6.2.	Matériel et méthode.....	94
6.2.1.	Matériel végétal	94
6.2.2.	Principe de l'expérimentation.....	94

6.2.3.	La préparation du sol	94
6.2.4.	Traitements	94
6.2.5.	Dispositif expérimental	98
6.2.6.	Le calendrier cultural.....	99
6.2.7.	Observations et mesures	100
6.2.8.	Traitements statistiques	101
6.3.	Résultats	103
6.3.1.	Variation de la production de feuilles en fonction de l'année, de la fertilisation et des traitements de binage.....	103
6.3.2.	Variation de la hauteur des plantes en fonction de l'année, de la fertilisation et des traitements de binages	106
6.3.3.	Variation du diamètre au collet en fonction de l'année et de la fertilisation	109
6.3.4.	Variation de la feuille drapeau en fonction de l'année, de la fertilisation et des traitements de binages	113
6.3.5.	Variation de la production en biomasse du sorgho en fonction de l'année et de la fertilisation et des traitements de binage	116
6.3.6.	Variation du rendement en panicules en fonction de l'année et de la fertilisation.....	119
6.3.7.	Variation du rendement en grains du sorgho en fonction de l'année et des traitements de binage	123
6.3.8.	Variation du poids mille grains en fonction de l'année et de la fertilisation	126
6.3.9.	Relation entre paramètres de croissance, de rendement et le rendement en conditions fertilisée et non fertilisée	130
6.3.10.	Détermination de la période critique de concurrence des adventices vis-à-vis du sorgho	138
6.4.	Discussion	139
6.4.1.	Variabilité de la croissance du sorgho en fonction des traitements de binage	139
6.4.2.	Variabilité du rendement du sorgho en fonction des traitements de binage.....	140
6.5.	Conclusion.....	142
DISCUSSION GENERALE		143
Flore adventice		144
Importance agronomiques des espèces.....		146
Dynamique de levées des adventices		147
Concurrence adventice		148
CONCLUSION GENERALE		151
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES		156

LISTE DES ACRONYMES, ABREVIATIONS ET SIGLES

AFNOR	Association Française de Normalisation
ACP	Analyse en Composante Principale
AFC	Analyse Factorielle des Correspondances
AFPP	Association Française de Protection des Plantes
ANACIM	Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (Sénégal)
ANOVA	Analysis of variance
ANSD	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
APG	Angiosperm Phylogeny Group
CERAAS	Centre d'Etudes et de Recherches sur l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse
CNRA	Centre National de Recherches Agronomiques
CORAF	Conseil des Responsables de la Recherche Agricole en Afrique de l'Ouest et du Centre
CRA	Centre de Recherches Agricoles (ISRA)
CRZ	Centre de Recherches Zootechniques (ISRA)
ED-SEV	Ecole Doctorale « Sciences de la Vie, de la Santé et de l'Environnement »
FAO	Food and Agriculture Organization of United Nations
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Statistics
ICRISAT	International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics
IPN	Indice Partiel de Nuisibilité
IRAT	Institut de Recherches Agronomiques Tropicales
ISRA	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
LSD	Least Significant Difference
MCA	Millenium Challenge Account
NPK	Azote-Phosphore-Potassium
PPAAO	Programme de Productivité Agricole pour l'Afrique de l'Ouest (WAAPP)
PSE	Plan Sénégal Emergent
RGPHAE	Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage
SNK	Student Newman Keuls
SOHC	Sénégal Oriental et Haute Casamance
UCAD	Université Cheikh Anta Diop de Dakar
UGB	Université Gaston Berger de Saint Louis
USAID	United States Agency for International Development
WAAPP	West Africa Agricultural Productivity Program (PPAAO)

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Panicules (A) et morphologie des épillets et des grains (B) des différentes races de sorgho (Vom Brocke et al., 2008; Chantereau et al., 2013).....	4
Figure 2: Morphologie de la feuille de sorgho (House, 1987).....	7
Figure 3: Morphologie générale d'un plant de sorgho (Chantereau et al., 2013).....	9
Figure 4: Carte de localisation de la région de Kolda, Sénégal (© KA, Février, 2018).....	31
Figure 5: Matrice de répartition des espèces en fonction des relevés.....	48
Figure 6: Diagramme des espèces en fonction du système de culture.....	49
Figure 7: Degré d'infestation des espèces de la flore.....	60
Figure 8: Proportion des groupes d'adventices selon leur IPN.....	64
Figure 9: Dispositif d'étude de la dynamique des levées.....	73
Figure 10: Importance relative des familles en fonction des conditions culturales et de l'année.....	76
Figure 11: Matrice de répartition spatiale des abondances.....	85
Figure 12: Traitement de désherbage et d'enherbement.....	97
Figure 13: Dispositif expérimental.....	98
Figure 14: Illustration d'une parcelle élémentaire.....	99
Figure 15: Cercle de corrélations des variables sur les paramètres de croissance, de rendement et le rendement en condition non azotée (F0), dans le plan des axes 1 et 2.....	130
Figure 16: Distribution des traitements de binage sur les axes 1 et 2 défini par l'ACP en F0.....	131
Figure 17: Corrélation entre les différentes variables mesurées sur le sorgho.....	133
Figure 18: Cercle de corrélations des variables sur les paramètres de croissance, de rendement et le rendement en condition fertilisée (F1), dans le plan des axes 1 et 2.....	134
Figure 19: Distribution des traitements de binage sur les axes 1 et 2 défini par l'ACP en condition fertilisée (F1).....	135
Figure 20: Corrélation entre les différentes variables mesurées sur le sorgho.....	137
Figure 21: Courbes de variation du rendement grain du sorgho en condition fertilisée (F1_2016 et F1_2017) et non fertilisée (F0_2016 et F0_2017).....	138
Figure 22: Résumé du calendrier de désherbage proposé pour permettre d'améliorer l'itinéraire technique proposé pour le sorgho (<i>Sorghum bicolor</i> var. F2-20) en conditions fertilisées pour la Haute Casamance.....	155

Figure 23: Résumé du calendrier de désherbage proposé pour permettre d'améliorer l'itinéraire technique proposé pour le sorgho (*Sorghum bicolor* var. *F2-20*) en conditions non fertilisées pour la Haute Casamance. 155

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Pluviométrie saisonnière 2015, 2016 et 2017 et normale 1981-2010.	32
Tableau 2: Liste des espèces recensées dans les cultures de sorgho, leur famille, leur type biologique et leur répartition biogéographique	38
Tableau 3: Structure de la flore adventice des cultures de sorgho	44
Tableau 4: Importance des familles dans la flore adventice du Sorgho	45
Tableau 5: Types biologiques des espèces recensées.....	46
Tableau 6: Répartition biogéographique des espèces recensées	46
Tableau 7: Echelle de Braun-Blanquet.....	56
Tableau 8: Correspondance entre le code d'abondance dominance (AD code), l'indice quantitatif d'abondance-dominance (AD num.) et le recouvrement moyen, minimum et maximum	57
Tableau 9: Transformation de l'abondance–dominance en pourcentage de recouvrement moyen	58
Tableau 10: Répartition des adventices du sorgho en fonction de leur potentiel d'infestation	61
Tableau 11: Indice partiel de nuisibilité (IPN).....	62
Tableau 12: Liste des espèces recensées, leur famille, genre et type biologique.....	75
Tableau 13: Fréquence d'apparition des espèces en fonction de l'année et des conditions de fertilisation dans les relevés.	76
Tableau 14: Fréquence d'apparition des espèces en fonction de l'année et des conditions de fertilisation	79
Tableau 15: Importance et chronologie des levées au cours du cycle cultural	81
Tableau 16: Variation de la diversité en fonction des conditions culturelles.....	83
Tableau 17: Influence de l'année et de la fertilisation sur la composition floristique	83
Tableau 18: Variation de la composition floristique en fonction des conditions culturelles	84
Tableau 19: Calendrier des opérations culturales	99
Tableau 20: Variation du nombre de feuilles par plant en fonction de l'année et de la fertilisation	103
Tableau 21: Variation de la production de feuilles en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée.....	104
Tableau 22: Variation de la production de feuilles en fonction des traitements de binage en condition fertilisée.....	105
Tableau 23: Variation de la hauteur en fonction de l'année.....	106

Tableau 24: Variation de la hauteur des plantes de sorgho en fonction des traitements de binages en condition non fertilisée.....	107
Tableau 25: Variation de la hauteur des plantes de sorgho en fonction des traitements de binages en condition fertilisée.....	109
Tableau 26: Variation du diamètre au collet en fonction de l'année et de la fertilisation	110
Tableau 27: Variation du diamètre au collet en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée.....	111
Tableau 28: Variation du diamètre au collet en fonction des traitements de binage en condition fertilisée.....	112
Tableau 29: Variation de la longueur de la feuille drapeau en fonction de l'année.....	113
Tableau 30: Variation de la longueur de la feuille drapeau en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée	114
Tableau 31: Variation de la longueur de la feuille drapeau en fonction des traitements de binage en condition fertilisée	115
Tableau 32: Variation de la production en biomasse en fonction de l'année	116
Tableau 33: Variation de la production en biomasse du sorgho en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée	118
Tableau 34: Variation de la production en biomasse du sorgho en fonction des traitements de binage en condition fertilisée	119
Tableau 35: Variation du rendement en panicules en fonction de l'année	120
Tableau 36: Rendement paniculaire du sorgho en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée.....	121
Tableau 37: Rendement paniculaire du sorgho en fonction des traitements de binage en condition fertilisée.....	122
Tableau 38: Variation du rendement en grains du sorgho en fonction de l'année.....	123
Tableau 39: Variation du rendement en grains du sorgho en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée	124
Tableau 40: Variation du rendement en grains du sorgho en fonction des traitements de binage en condition fertilisée	125
Tableau 41: Variation du poids mille grains en fonction de l'année	126
Tableau 42: Variation du poids mille grains du sorgho en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée	127
Tableau 43: Variation du poids mille grains du sorgho en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée	128

LISTE DES PLANCHES

Planche 1:Techniques de récolte et de séchage au champ du sorgho (Vélingara, Haute Casamance)	12
Planche 2:Couscous traditionnel consommé avec du lait frais (Vélingara, Haute Casamance)	18
Planche 3: Parcelle propre (A) et parcelle enherbée (B) du semis au 75 ^e jour après semis (CRZ de Kolda, Haute Casamance).	25

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1: Communication à l'occasion de l'InterDrought-V Conference, 21-25 Février 2017, Hyderabad, Telangana, INDIA	a
Annexe 2: Communication orale lors des premières journées scientifiques de l'ISRA du 05 au 09 Février 2018 à Dakar	b
Annexe 3: Article publié dans IJBCS (Résumé)	d
Annexe 4: Manuscrit n°1 pour publication scientifique (Abstract)	e
Annexe 5: Manuscrit n°2 pour publication scientifique (Abstract)	f
Annexe 6: Manuscrit n°3 pour publication scientifique (Résumé)	g

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
ECOLE DOCTORALE : SCIENCES DE LA VIE,
DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT (ED-SEV)
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Thèse de Doctorat Biologie, Physiologie et Productions Végétales

Mention : Production et Protection des Végétaux

Spécialité : Malherbologie

Doctorant : M. Samba Laha KA

Titre : La flore adventice du sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) en Haute Casamance (Sénégal): structure, dynamique, nuisibilité et calendrier de désherbage.

Date et lieu de soutenance : 29/06/2019 à Dakar

Composition du Jury :

Président :	M. Kandioura NOBA	Professeur titulaire	UCAD
Rapporteur :	M. Abdala Gamby DIEDHIOU	Maître de conférences	UCAD
Rapporteur :	M. Aboubacry KANE	Maître de conférences	UCAD
Rapporteur :	M. Anicet MANGA	Maître de conférences	UGB
Examineur :	Mme. Maïmouna SY NDIR	Maître de conférences	UCAD
Examineur :	M. Moustapha GUEYE	Chargé de recherches	ISRA
Directeur de thèse :	M. Mame Samba MBAYE	Maître de conférences	UCAD

RESUME

Au Sénégal, le sorgho est l'une des principales cultures vivrières notamment dans les zones Est, Sud-Est et au Nord où il est cultivé en décrue. Cependant, malgré la rusticité de cette céréale, les rendements sont très faibles. La concurrence exercée par les adventices est l'une des contraintes majeures à la production. Pour améliorer les rendements, il est important, entre autres de maîtriser la concurrence adventice avec un calendrier de désherbage adéquat. Ceci passe nécessairement par la connaissance de la flore adventice, la dynamique des levées et la nuisibilité des espèces. C'est dans cette optique que cette étude a été entreprise en Haute Casamance durant les années 2015, 2016 et 2017. Elle se fixait comme objectif global de participer à l'augmentation de la production agricole et plus spécifiquement de caractériser la flore et la végétation adventice du sorgho, de déterminer la période critique de concurrence des adventices et de proposer un calendrier de désherbage permettant une bonne maîtrise de l'enherbement. Pour l'étude de la flore et de la végétation, des relevés phytosociologiques ont été réalisés dans les champs de sorgho du semis à la récolte dans toute la Haute Casamance. L'étude de la concurrence a consisté d'une part à laisser les adventices dans les parcelles pendant des périodes de plus en plus longues avant le sarclage et d'autre part à maintenir la culture propre depuis la levée jusqu'à des dates de plus en plus reculées. Pour apprécier l'effet de la fertilisation, les traitements sont réalisés en conditions fertilisée avec l'engrais azotée et sans apport de fertilisants, mode le plus répandu en milieu paysan. L'étude de la flore a montré que la flore adventice du sorgho en Haute Casamance est riche de 232 espèces, réparties dans 138 genres et 43 familles. Les dicotylédones sont majoritaires par rapport aux monocotylédones avec 72,4% des espèces. En outre,

la famille des Fabaceae et celle des Poaceae sont les plus diversifiées avec respectivement 24,1% et 15,9% des espèces recensées. Pour ce qui est du spectre biologique, les thérophytes sont largement dominantes avec 69,8% des espèces, suivies des phanéropytes (13,8%), des hémicryptophytes (8,2%), des géophytes (5,6%), des chaméphytes (1,7%) et enfin des plantes parasites (0,9%). En ce qui concerne la répartition biogéographique, les espèces africaines et pantropicales sont majoritaires avec respectivement 44% et 25% de la flore. L'étude de la végétation à partir des relevés phytosociologiques a permis de déterminer l'importance agronomique des espèces à partir de deux paramètres que sont le degré d'infestation et l'indice partiel de nuisibilité. L'évaluation de ces paramètres a permis d'identifier un pool de 16 espèces potentiellement nuisibles pour le sorgho sorgho (*Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Mariscus squarrosus*, *Spermacoce stachydea*, *Mitracarpus villosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Kyllinga squamulata*, *Commelina benghalensis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hibiscus cannabinus*, *Sida rhombifolia*, *Senna obtusifolia*, *Corchorus tridens*, *Ipomoea eriocarpa*, *Urena lobata* et *Striga hermonthica*). L'étude de la dynamique des levées des adventices grâce au dénombrement périodique (10-15 jours) des plantules dans des rectangles permanents implantées au hasard dans les parcelles expérimentales a montré des taux de levées généralement faible à l'exception de *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hyptis suaveolens*, *Cyperus amabilis*, *Kyllinga squamulata*, *Mariscus squarrosus*, *Mitracarpus villosus* et *Spermacoce stachydea*. La diversité et l'abondance sont plus élevées dans les conditions non fertilisées comparées aux conditions ayant reçues l'apport d'engrais azoté. L'étude de la concurrence basée sur les méthodes d'enherbement et de désherbage progressifs a permis de noter qu'un contrôle précoce de l'enherbement permet d'avoir de bons rendements. Elle a aussi, situé la période critique de concurrence entre le 15^e et le 45^e jour après semis en condition non fertilisée et entre le 10^e et le 55^e jour après semis en condition fertilisée. Les résultats obtenus dans cette étude sur la flore, la végétation, la dynamique des levées et la période critique de désherbage sont nécessaires pour la mise au point d'un itinéraire technique adapté à la production du Sorgho en zone soudanienne du Sénégal.

Mots clés : adventice, concurrence, dynamique, flore, nuisibilité, période critique, Sénégal, sorgho, zone soudanienne.

SHEIKH ANTA DIOP UNIVERSITY OF DAKAR
DOCTORAL SCHOOL: LIFE SCIENCES,
HEALTH AND ENVIRONNEMENT (ED-SEV/UCAD)
FACULTY OF SCIENCES AND TECHNIQUES
Doctorate in Plant Biology, Physiology and Production
Mention: Crop Production and Protection
Specialty: Weed Science

PhD Candidate: Mr. Samba Laha KA

Title: Weeds flora of grain sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) in Upper Casamance (Senegal): structure, dynamics, species harmfulness and weeding calendar.

Date and venue of defense: 29/06/2019 in Dakar

Composition of Jury:

Chairman:	Mr. Kandoura NOBA	Full Professor UCAD
Reporter:	Mr. Abdala Gamby DIEDHIOU	Senior Lecturer UCAD
Reporter:	Mr. Aboubacry KANE	Senior Lecturer UCAD
Reporter:	Mr. Anicet MANGA	Senior Lecturer UGB
Examinator:	Ms. Maïmouna SY NDIR	Senior Lecturer UCAD
Examinator:	Mr. Moustapha GUEYE,	Researcher ISRA
Director of thesis:	Mr. Mame Samba MBAYE	Senior Lecturer UCAD

ABSTRACT

In Senegal, among the traditional crops, grain sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] represents one of the most important cereals in terms of area harvested and production. It's a staple food and the only crop that is capable of producing a reliable yield under the marginal environmental characterized by several biotic constraints and low inputs. Despite this importance, their production still low. This situation results from several factors such as drought, low soil fertility and weed pressure. Weed infestation is considered as one of the most important constraint that limits sorghum yields. Our investigation aimed to characterize the weeds flora of grain sorghum by assessing the structure of flora and the degree of infestation, to study the dynamic of weeds and to determine the critical period of weed competition in sorghum rainy crop under sudanian conditions of Southern Senegal. Phytosociological surveys were carried out during 2015, 2016 and 2017 crop years in sorghum fields and in stations trials. The present study revealed that 232 plant species were growing as weeds in sorghum fields of Sudano-sahelian zone of Senegal, which belonged to 138 genera in 43 families. Dicotyledons were the most important form with 72.4 percent of recorded species. Fabaceae and Poaceae were the most represented botanical families with respectively 24.1 and 15.9 of flora. Spectrum analysis indicated that the flora is largely dominated by therophytes, which includes 69.8 % of the flora, followed by phanerophytes (13.8%), hemicryptophytes (8.2%), geophytes (5.6%), chamephytes (1.7%) and parasitical plants (0.9%). Finally, the study of the biogeographical distribution, showed that african and pantropical species predominate with 44 % and 24.9% of the flora. We analyzed the agronomic importance of these species based on the degree of infestation and

the partial index of harmfulness. Our investigation allowed pointing out a pool of sixteen species (*Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Mariscus squarrosus*, *Spermacoce stachydea*, *Mitracarpus villosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Kyllinga squamulata*, *Commelina benghalensis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hibiscus cannabinus*, *Sida rhombifolia*, *Senna obtusifolia*, *Corchorus tridens*, *Ipomoea eriocarpa*, *Urena lobata* and *Striga hermonthica*) which constitute a major constraint in sorghum fields. Weed dynamics was studied in permanent rectangles by counting weed emergences. The permanent rectangles were placed randomly in two plot of 100 meter square one under mineral fertilization conditions, the other in unfertilized conditions, widely used in traditional cropping system. This study showed that weed species diversity and density is higher in traditional cropping system compared to chemical fertilized conditions. Most weed species has low emergence rates. However, some species have important emergence rates such as *Hyptis suaveolens*, (22.8%), *Kyllinga squamulata* (21.7%), *Mariscus squarrosus* (19.4%), *Dactyloctenium aegyptium* (16.9%) and *Digitaria horizontalis* (9.8%) which account for 91% of global weed emerged. The study of critical period of crop-weed competition revealed that the lowest growth parameters and yield were noticed in weedy check treatment followed by weedy up to 60 days after sowing and weed free up to 15 days after sowing. The maximum competition between crop and weeds was between 15 and 45 days after sowing under unfertilized conditions and 10 and 55 days after sowing under fertilized conditions, which can be considered as critical period of crop-weed competition. Based on this study, it can be concluded that higher dry matter, yield components and yield may be obtained by controlling the weeds during this period.

Keywords: competition, critical period, infestation, Senegal, sorghum, sudanian zone, weed dynamics, weed flora.

INTRODUCTION

L'agriculture sénégalaise est actuellement confrontée à de nombreuses contraintes abiotiques et biotiques dont les fluctuations pluviométriques, la forte pression sur les ressources naturelles et l'effet des bioagresseurs. A ces contraintes s'ajoutent la forte demande en produits agricoles avec l'augmentation de la population, la pauvreté des sols, les problèmes d'intrants et de crédits et enfin les problèmes fonciers. Ainsi, bien qu'elle emploie plus de 70% de la population active (ANSD, 2014), le secteur agricole n'a contribué qu'à hauteur de 7,6% du produit intérieur brut dans la période 2000-2012 alors que, dans la première moitié des années 1960, 18,75% du produit intérieur brut provenait du secteur agricole (FAO, 2007). Cette situation a entraîné une paupérisation des ménages surtout en milieu rural (essentiellement agricole) dont 57,1% vivent en dessous du seuil de pauvreté contre 10 points de moins dans les centres urbains (Anonyme¹, 2014).

D'ailleurs, la faible productivité de l'agriculture ainsi que la part encore importante du secteur informel expliqueraient la faible productivité globale de l'économie sénégalaise (Anonyme¹, 2014). Cette agriculture reste dominée par les cultures pluviales dont les grandes céréales que sont le mil, le sorgho, le riz et le maïs et les cultures de rente essentiellement l'arachide et le coton. La culture du mil et du sorgho s'étend sur l'ensemble des six zones agroécologiques du pays avec une nette dominance du mil à l'exception de la Haute Casamance. En effet, pour la campagne 2013-2014, près de 17 000 hectares de sorgho ont été emblavés dans cette zone contre 15 000 hectares de mil (ANSD, 2015). Malgré l'importance du sorgho, dans cette partie du pays, relativement bien arrosée (Koïta et Bodian, 2000), les rendements sont faibles et sont de l'ordre de 750 kg/ha. Cette situation résulte de la conjonction de plusieurs facteurs dont la faible fertilité des sols, l'utilisation de variétés locales rustiques mais peu productives, la concurrence des adventices *etc.* Cette dernière est l'une des contraintes majeure de l'agriculture en zone tropicale où chaleur et humidité favorisent un développement plus rapide des adventices plus que dans n'importe quelle autre partie du monde (Merlier et Montégut, 1982 ; Orkwor, 1983 ; Le Bourgeois, 1993; Le Bourgeois et Marnotte, 2002). Au Sénégal, les adventices entraînent des pertes importantes de rendements (Diallo, 1981 ; Noba, 2002 ; Mbaye, 2013 ; Bassène, 2014) et peuvent absorber entre 40 et 80 heures par hectare (Le Bourgeois et Merlier, 1995). C'est dans cette situation caractérisée par l'inefficacité des moyens traditionnelles de lutte et dans un contexte de remise en questions de l'utilisation des herbicides aux coûts économique, environnemental et sanitaire onéreux que la lutte sur seuil apparaît comme une alternative pour une augmentation de la production des céréales traditionnelles comme le sorgho.

Les travaux de recherches présentés dans ce document s'inscrivent donc dans le cadre de l'amélioration de la production agricole. Ils visent la mise en œuvre de stratégies raisonnées et durables de gestion des adventices. Plus spécifiquement cette étude cherche à : caractériser la flore adventice du sorgho à travers l'étude de la flore et de la végétation ; étudier la dynamique des adventices en zone soudanienne du Sénégal ; évaluer la concurrence des adventices vis-à-vis du sorgho ; déterminer la période critique de concurrence des adventices en fonction de laquelle sera modelée un calendrier de désherbage.

Ce manuscrit s'articule autour de six chapitres.

Le premier chapitre, à caractère bibliographique, s'organise en deux volets. Le premier est réservé au sorgho notamment sa taxonomie, son importance et les contraintes liées à sa production. Le deuxième volet concerne les adventices, leur définition, leur impact sur la production et les leviers pour leur gestion.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons la zone d'étude, sa spécificité et l'ensemble de la méthodologie adoptées.

Le troisième chapitre présente les résultats obtenus sur la flore, nous présentons la structure de la flore adventice de la zone à travers les aspects taxonomique, biologique et chorologique ;

L'étude de la végétation est présentée dans le chapitre quatre. Elle a permis de déterminer l'importance agronomique des espèces. Ainsi, les espèces posant le plus de problème en milieu paysan sont connues par quantification à partir du degré d'infestation et de l'indice partiel de nuisibilité ;

La dynamique de levées des espèces adventices, aspect important dans l'élaboration des méthodes de gestions de la flore adventice, la diversité, l'importance et la chronologie des levées sont présentées en fonction des conditions culturales est présentée dans le chapitre cinq;

Le sixième chapitre consacre l'étude de la compétition entre les adventices et le sorgho. Il y est présenté la nuisibilité globale des adventices du sorgho, les seuils précoces et tardives de concurrence et un itinéraire technique de désherbage en fonction de la période critique ;

La dernière partie du document est consacré à la discussion générale de tous les résultats obtenus et à la conclusion générale.

CHAPITRE I: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Le sorgho

1.1.1. Taxonomie et diversité génétique

1.1.1.1. Position systématique et Taxonomie

Le sorgho cultivé *Sorghum bicolor*, *subsp. bicolor*, est une monocotylédone annuelle appartenant à la famille des Poacées (Graminées) et à la tribu des Andropogonées. C'est une espèce diploïde à nombre chromosomique de base $n=10$. Le sorgho présente une très grande diversité de formes décrites par différentes classifications botaniques. La classification la plus récente et la plus utilisée est celle de Harlan et Wet (1972). Elle est fondée sur des caractéristiques des épillets (glume et grain) et de la forme des panicules. Cinq races de base sont distinguées à savoir les races *bicolor*, *guinea*, *caudatum*, *durra* et *kafir*, (Trouche et Chantereau, 2011) ainsi que les 10 combinaisons deux à deux de ces races de base (tels les sorghos *durra-caudatum* ou *guinea-kafir*,...).

Les races fondamentales ont été caractérisées par Chantereau et Nicou (1991).

- ✓ **La race *bicolor*** est cultivée dans toute l'Afrique et très répandue en Asie. Elle est la plus primitive. Les grains sont petits, allongés et enveloppés dans des glumes adhérentes ; les panicules sont lâches. Ces caractères sont proches de ceux rencontrés chez les sorghos sauvages.
- ✓ **La race *caudatum*** est essentiellement rencontrée en Afrique du Centre et de l'Est. Elle est caractérisée par un grain dissymétrique (en forme de carapace de tortue). La forme de la panicule est très variable.
- ✓ **La race *durra*** est la race principale en Inde ; elle se retrouve en Afrique de l'Est. Elle est bien adaptée à la sécheresse. Les grains sont gros et globuleux, les panicules compactes sont souvent portées par un pédoncule crossé.
- ✓ **La race *kafir*** est présente surtout en Afrique du Sud, où l'agriculture a été introduite plus tardivement. Elle est probablement d'origine récente. Les grains sont symétriques, les panicules denses sont en forme cylindrique.
- ✓ **La race *guinea*** est typique de l'Afrique de l'Ouest mais elle est aussi répandue en Afrique du Sud. Ces sorghos sont adaptés aux zones humides. Les grains sont symétriques et présentent une rotation entre les glumes à maturité ; les panicules sont lâches. Les sorghos de cette race présentent une grande variabilité morphologique ; ils ont fait l'objet de nombreuses classifications fondées sur la taille des grains et le rapport entre la taille des grains et celle des glumes. Trois ou quatre sous-races, dont la sous-race *margaritifera* (grains petits et vitreux), sont actuellement distinguées.

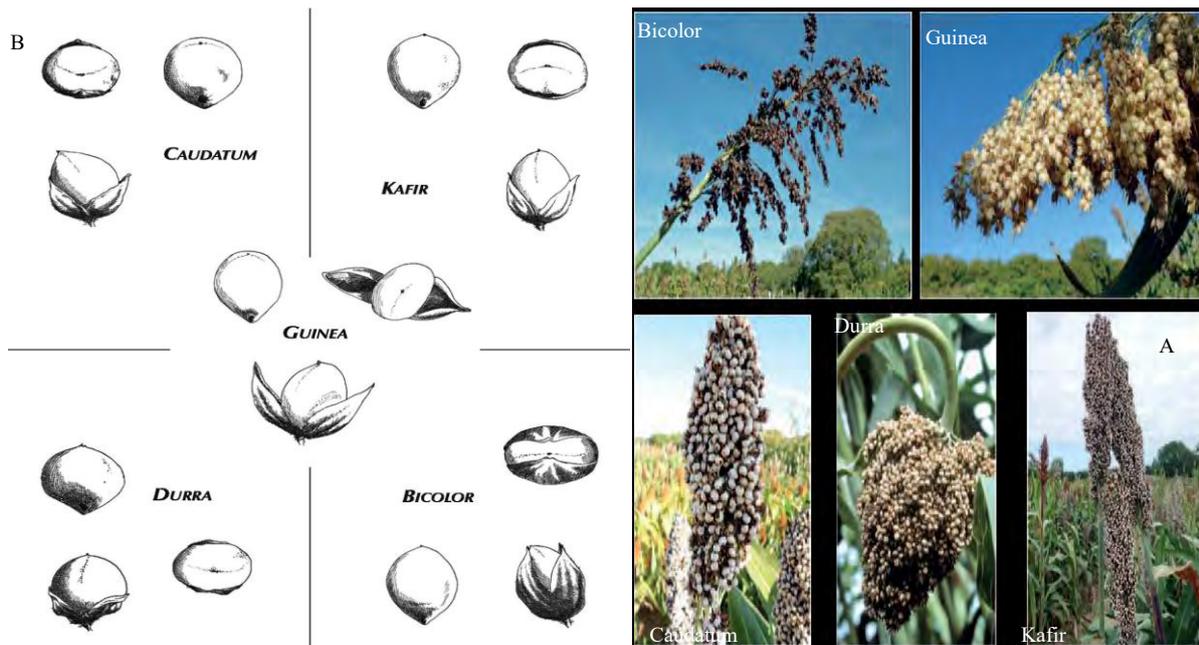


Figure 1: Panicules (A) et morphologie des épillets et des grains (B) des différentes races de sorgho (Vom Brocke *et al.*, 2008; Chantereau *et al.*, 2013).

1.1.1.2. Diversité génétique

En Afrique, *Sorghum bicolor* ssp. *bicolor* est en contact avec une sous-espèce annuelle de sorgho sauvage *Sorghum bicolor* subsp. *verticilliflorum* à même nombre chromosomique avec laquelle il se croise spontanément.

Les formes hybrides issues de cette interfertilité ont eux-mêmes le statut de sous-espèce sous le nom de *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii*. En Asie, il existe une autre espèce de sorgho sauvage diploïde ($n = 10$), pérenne, rhizomateuse : *Sorghum propinquum* qui est à l'origine d'une espèce de sorgho tétraploïde ($n = 20$) à rhizomes : *Sorghum halepense*. Cette dernière espèce constitue une adventice du sorgho cultivé partiellement nuisible. Elle est plus connue en Europe sous le nom de sorgho d'Alep et aux États-Unis sous le nom de *Johnson Grass*. (Chantereau *et al.*, 2013).

Outre cette sous-espèce, il existe, dans l'espèce *Sorghum bicolor*, deux autres sous-espèces qui peuvent donner des sorghos fourragers : *Sorghum bicolor* subsp. *arundinaceum*, forme diploïde sauvage du sorgho cultivé avec lequel il se croise facilement et *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii*, forme intermédiaire issue de l'hybridation naturelle entre les deux autres sous espèces.

Il existe aussi deux autres espèces de sorghos tétraploïdes utilisées pour donner des sorghos fourragers : *Sorghum halepense* et *Sorghum almun* (Chantereau *et al.*, 2002).

1.1.2. Origine et diffusion

Si son origine tropicale et africaine ne fait guère de doute, la localisation exacte de la domestication du sorgho ne fait pas l'unanimité. En effet, pour Wet *et al.* (1970), il est difficile de déterminer quand et où le sorgho a été domestiqué. Cependant, Murdock (1959) pense que les peuplades Mande qui vivent aux alentours des sources du Niger peuvent avoir domestiqué le sorgho. Mais plusieurs auteurs Doggett, 1965 ; Wet *et al.* 1970 ; Chantereau & Nicou, 1991 ; Grenier, 2000 ainsi que de récentes découvertes archéologiques suggéreraient une domestication aux confins du Nil allant de l'Éthiopie à l'Égypte.

Selon Chantereau (2013), cette domestication pourrait dater du troisième millénaire avant J.C. En effet, des restes archéologiques identifiés de sorghos cultivés en Afrique ont été trouvés en Nubie et datent du premier millénaire avant J.C. Ils ont été reconnus de race *bicolor* en adéquation avec l'antériorité supposée de cette race aux caractères les plus primitifs.

En fait, leur domestication pourrait dater du troisième millénaire avant J.C. Ces sorghos *bicolor* auraient ensuite diffusé en direction de l'Afrique de l'Ouest et du Sud, faisant de ces régions des centres secondaires de domestication pour les sorghos *guinea* et *kafir*. Dans la zone d'origine du sorgho, la poursuite du travail de domestication aurait abouti aux races *caudatum* et *durra* (Chantereau, 2013).

Dès le troisième millénaire avant J.C., ces sorghos auraient gagné l'Asie. Leur présence est attestée dans la péninsule arabique vers 2500 avant J.C., puis en Inde vers 1800 avant J.C. et enfin en Chine qui a pu être un dernier centre de diversification comme en témoigne l'originalité des sorghos *Kaoliang* qui y sont rencontrés (Chantereau *et al.*, 2002). Ce scénario de diffusion du sorgho est globalement étayé par les dernières analyses de diversité génétique du sorgho (Chantereau, 2013). L'arrivée du sorgho en Europe date de l'époque romaine. Transporté en Amérique à l'époque des grandes découvertes, le sorgho ne s'y est véritablement diffusé qu'à partir du XIX^{ème} siècle, notamment aux États-Unis d'Amérique. Aujourd'hui le sorgho est présent sur tous les continents (Chantereau *et al.*, 2002).

1.1.3. Biologie et Phénologie du sorgho

1.1.3.1. Description morphologique

Le sorgho est une plante herbacée de la famille des Poaceae composé de tiges robustes et dressées, garnies de feuilles plates et se terminent par une grande inflorescence rameuse (Dehaynin, 2007). Sa taille varie entre 0,5 et 5 m de haut selon les variétés avec un diamètre basal pouvant aller de 5 mm à 4 cm (Dehaynin, 2007; Chantereau *et al.*, 2013). Cette hauteur

de la plante de sorgho dépend du nombre de nœuds émis donc de la durée du cycle végétatif et de la taille des entre-nœuds sous contrôle génique (Mathieu, 2005).

Le sorgho possède un système racinaire puissant, capable de descendre rapidement à une grande profondeur du sol pour y extraire l'eau et les éléments minéraux (Clerget, 2004 ; Mathieu, 2005 ; Nicolas, 2007 ; Chantereau, 2013). Cette particularité explique en partie les qualités de rusticité et de résistance à la sécheresse observées chez les sorghos. Les racines adventives qui prennent naissance à partir du collet peuvent s'enfoncer jusqu'à 2 m à l'intérieur du sol et émettent par ramifications des racines latérales qui assurent l'exploration du sol dans toutes les directions (Chantereau *et al.*, 2013).

La tige principale de sorgho est cylindrique et dressée et est constituée d'un empilement régulier de nœuds et d'entre-nœuds, chacun portant une feuille, et cela jusqu'à la base de la panicule. Le nombre d'entre-nœuds est déterminé par la durée de cycle et la vitesse de production des phytomères généralement mesurée par le phyllochrone. La hauteur de la tige chez les variétés de sorgho cultivé va de 50 cm pour les plus courtes jusqu'à 5 à 7 m pour les plus hautes. Cette hauteur est le produit du nombre d'entre-nœuds par leur longueur, la longueur d'un entre-nœud étant une donnée assez stable le long de la tige, sauf pour les premiers entre-nœuds basaux (Chantereau, 2013). Le nombre de talles par plante varie en fonction des caractéristiques variétales et des conditions de culture. Il est élevé chez les sorghos fourragers (environ une dizaine de talles par plante), moyen chez les sorghos de race *guinea* et faible voir nul chez les hybrides sélectionnés, notamment quand ils sont semés à forte densité (Chantereau *et al.*, 2013)

La tige de sorgho présente un tissu interne, la moelle, qui peut être sèche ou juteuse. Le caractère est principalement déterminé par un gène majeur D, la sécheresse de la tige étant un caractère dominant. À partir de la montaison, la moelle initialement insipide s'enrichit progressivement en sucres simples. Cet enrichissement est bien marqué chez les sorghos sucrés dont la moelle, à maturité, doit être juteuse.

Les feuilles s'insèrent au niveau des nœuds de la tige à raison d'une par entre-nœud. Elles présentent un angle à peu près constant entre feuilles successives d'une même tige.

Elles sont distribuées de façon variable le long de la tige chez le sorgho; chez certains types, elles sont concentrées près de la base, alors que chez d'autres elles sont plus ou moins uniformément disposées (House, 1987). Chaque feuille est constituée d'une gaine enserrant la tige sur une longueur d'environ 20 à 25 cm, puis d'un limbe avec, à leur jonction, la ligule (Chantereau *et al.*, 2013). Le nombre de feuilles varie de 14 à 30 par plants et est fonction de

la variété et des conditions de cultures. Ces feuilles peuvent atteindre 1 m de long pour 10 à 15 cm de large. La taille des feuilles croît avec leur rang sur la tige jusqu'à un maximum puis diminue régulièrement pour les 4 à 6 feuilles terminales.

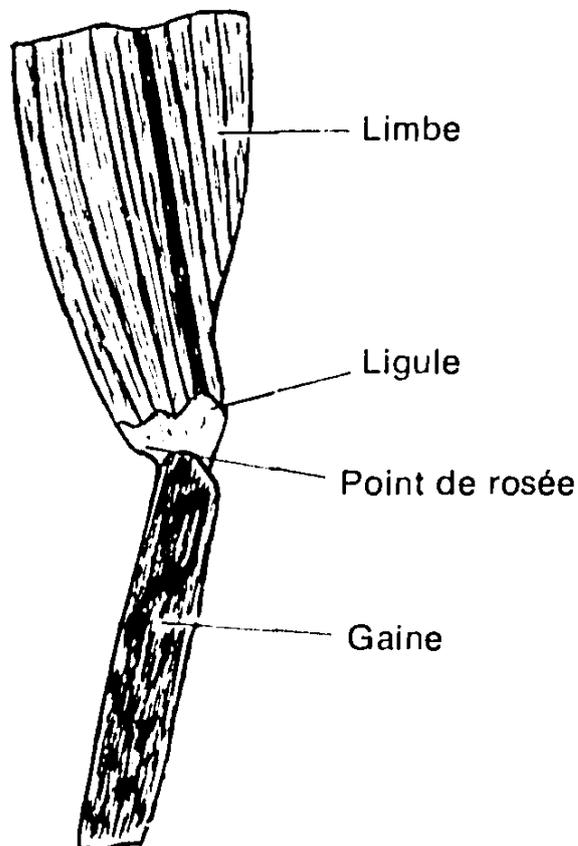


Figure 2: Morphologie de la feuille de sorgho (House, 1987)

L'inflorescence est une panicule de forme allongée ou pyramidale, totalement lâche ou très compacte. A partir du rachis partent des ramifications primaires, secondaires et même tertiaires dans certains cas. Chaque ramification est terminée par un racème qui porte une paire d'épillets, l'un pédicellé et stérile, l'autre sessile et fertile. L'épillet sessile porte généralement deux fleurs dont seule la supérieure est complète avec trois étamines et un ovaire à deux stigmates et donnera un fruit après fécondation. En conditions normales de production, la panicule porte de 2 000 à 4 000 graines (Chantereau *et al.*, 2013).

La graine de sorgho est un caryopse composé de trois parties principales : l'enveloppe (le péricarpe), l'albumen (le tissu de réserve) et le germe.

L'albumen est le plus souvent blanc. Il existe néanmoins des variétés à albumen jaune dont la couleur est due à la présence de pigments caroténoïdes riches en provitamine A, élément qui améliore la qualité nutritionnelle du grain. À la base de la graine et en grande partie enchâssé dans l'albumen, se trouve le germe. Il comprend l'embryon et le scutellum. Au contact de l'albumen, le scutellum est un tissu de réserve riche en protéines, lipides, enzymes et vitamines. L'embryon contient une radicule, qui est l'ébauche de la racine séminale, et la gemmule, qui est le point végétatif avec trois à quatre ébauches foliaires (Chantereau *et al.*, 2013).

L'albumen présente au centre du grain une partie farineuse plus ou moins importante qui est entourée par une partie vitreuse. L'albumen est normalement blanc. Il existe cependant des sorghos à albumen jaune. Cette particularité leur vient d'une haute teneur en pigments caroténoïdes qui améliore la qualité nutritive des grains. En contrepartie, elle augmente leur sensibilité aux moisissures.

La couleur du grain de sorgho est une caractéristique variétale due à plusieurs facteurs génétiques. Elle peut aller du blanc au brun très foncé en passant par le jaune, l'orangé, le rouge. Globalement, plus la couleur du grain est claire et plus sa teneur en tanins est faible et sa valeur nutritive bonne. Le poids de 1 000 graines est généralement compris entre 15 et 40 grammes (Chantereau *et al.*, 2002).

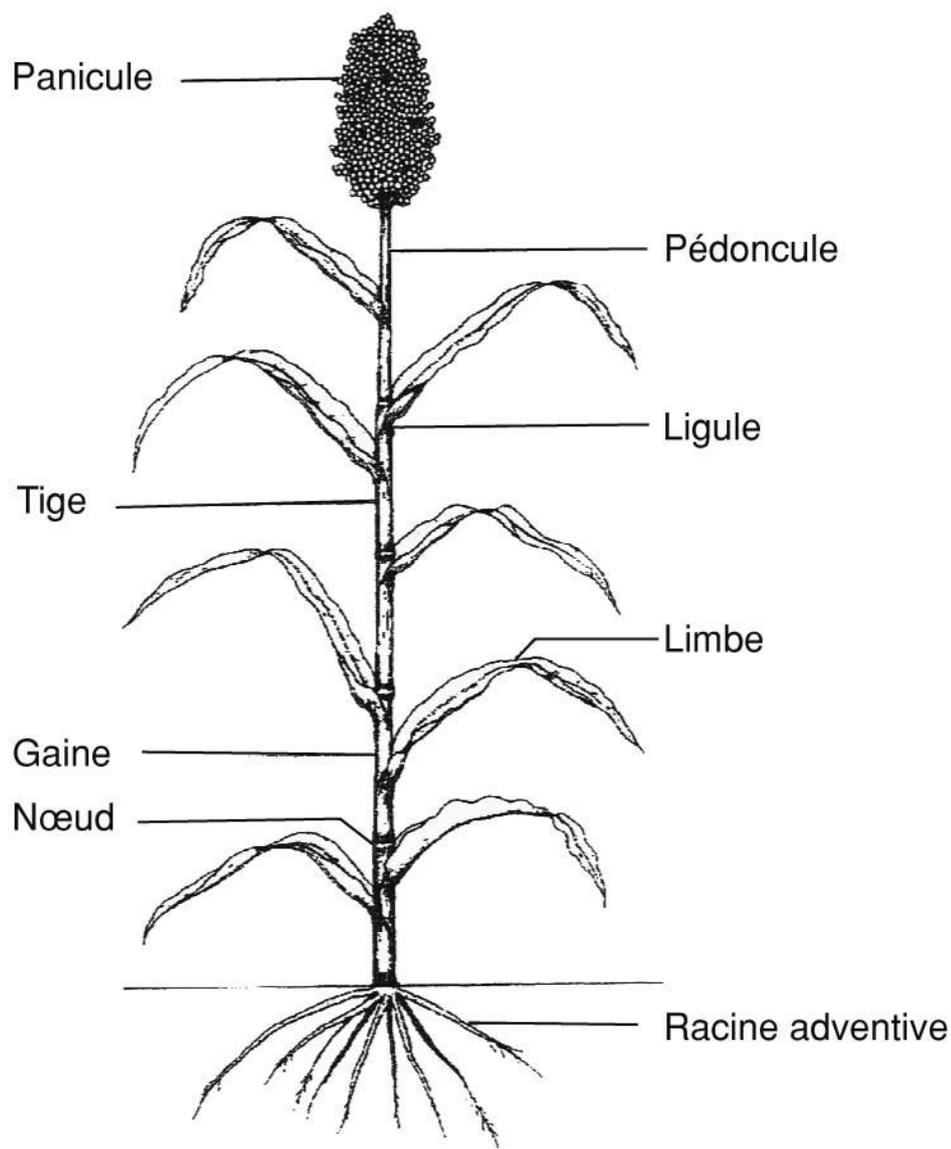


Figure 3: Morphologie générale d'un plant de sorgho (Chantereau *et al.*, 2013)

1.1.3.2. Physiologie du sorgho

La croissance et le développement du sorgho se déroulent en trois phases successives que sont la phase végétative, la phase reproductive et la phase de remplissage et de maturation des graines.

Phase végétative

Elle va de la germination à l'initiation de la panicule. Les graines de sorgho cultivé n'ont habituellement pas de dormance et leur germination ne dépend que des conditions de température et d'humidité du sol. En condition de température optimale ($T > 27$) l'émergence du coléoptile intervient au bout de 3 à 4 jours marquant le début de la phase végétative. (House, 1987 ; Sène, 1995 ; Chantereau *et al.*, 2013). Après l'émergence, la plante devenue

entièrement autotrophe commence une intense croissance végétative. Grâce à une photosynthèse en C4, le sorgho a un taux de production en matière sèche élevé, relativement aux quantités d'eau absorbées, à la masse du couvert végétal et à la pluviométrie (Chantereau & Nicou, 1991). En même temps que croît le coléoptile, la racine séminale s'enfonce dans le sol. La jeune plante commence sa croissance, en produisant d'autres feuilles, le coléoptile restant à la base du pied sous forme d'une gaine. Le mésocotyle croît durant cette période et un nœud se forme à la base du coléoptile juste en-dessous de la surface du sol. Des racines secondaires commencent à se développer au niveau de ce nœud, trois à sept jours après l'émergence du plant. La jeune plantule vit durant cette période sur les éléments nutritifs stockés dans l'endosperme. A peu près au moment où les racines secondaires ont commencé à se développer, le mésocotyle commence à disparaître et un système racinaire plus important se développe à partir des racines secondaires ou adventives. Certains sorghos tallent abondamment en particulier les *Sudan grass* et les sorghos fourragers. Les sorghos-grains ont une capacité de tallage variable mais en général ils ne tallent que si l'humidité du sol est convenable ou que si le peuplement est clair. Chez les variétés qui tallent normalement, les talles prennent naissance à partir de bourgeons adventifs au nœud basal aussitôt après la sortie des racines secondaires (House, 1987). L'initiation paniculaire ou initiation florale marque l'arrêt de la production des feuilles par le méristème apical de la tige (Chantereau *et al.*, 2013).

Phase reproductive

Cette phase s'étant de l'initiation paniculaire ou initiation florale à la floraison. Elle marque l'arrêt de la production des feuilles par le méristème apical de la tige. Chez les variétés peu ou pas photopériodiques, l'initiation paniculaire intervient avant que la plante n'ait initié une vingtaine de feuilles tandis que chez les variétés photopériodiques la montaison précède l'initiation florale (Clerget, 2004). Les ébauches florales initiales apparaissent 30 à 40 jours après la germination mais la formation de la fleur peut demander de 19 à 70 jours ou plus (House, 1987).

Le début de l'épiaison est marqué par le déploiement de la dernière feuille correspondant à l'émission de la feuille drapeau. L'émergence de la panicule est annoncée par le gonflement de la dernière gaine foliaire. En conditions tropicales, il s'écoule environ trois à quatre jours du stade feuille drapeau à l'épiaison et environ une semaine entre le début de l'épiaison de la panicule et celui de la floraison (Chantereau *et al.*, 2013).

Au moment de la floraison les glumes s'ouvrent et les trois anthères pendent librement, tandis que les deux stigmates sortent, chacun d'entre eux porté par un style rigide. Tôt le matin ou juste après le lever du soleil, les anthères effectuent leur déhiscence lorsqu'elles sont sèches (mais pas en condition de forte rosée ou de pluies), et le pollen est entraîné dans l'air (House, 1987) Le pollen n'est viable que deux à trois heures tandis que la réceptivité des stigmates est en revanche beaucoup plus longue et s'étend sur plusieurs jours. Le sorgho est une plante autogame préférentielle avec un taux d'autopollinisation de plus de 90% et des fécondations croisées en moyenne de 5 à 6% (House, 1987 ; Trouche & Chantereau, 2011). Des différences variétales existent cependant, depuis des cultivars sans allogamie, cas des variétés *Sorghum bicolor* subs. *membranaceum* aux fleurs cléistogames, jusqu'à d'autres cultivars avec 30 % de fécondations croisées, cas de certaines variétés à panicules lâches *Sorghum bicolor* subs *guinea* ou *Sorghum bicolor* subs *bicolor*. Durant la phase reproductive, l'émission de racines nodales et leur croissance se poursuivent activement. Suivant la profondeur des sols, le front racinaire peut descendre à plus de 2 m avec des vitesses de 2 à 3 cm par jour. Cependant, la plus grande partie de la masse racinaire est concentrée dans les 30-40 premiers centimètres du sol (Chantereau *et al.*, 2013).

Phase de remplissage et de maturation des graines

Cette phase d'une durée de 30 à 50 jours débute à la fécondation des fleurs et se termine à la maturité physiologique. Durant cette phase la graine passe par le stade laiteux puis début pâteux et enfin fin pâteux.

Les graines commencent par passer du vert à la couleur qu'elles auront à maturité. Les graines contiennent environ 30% d'humidité à leur maturité physiologique ; elles sèchent jusqu'à 10-15% d'humidité durant les 20 à 25 jours qui suivent entraînant une perte de 10% de leur poids sec durant cette période (House, 1987 ; Sène, 1995 ; Chantereau *et al.*, 2013).

A la fin de son cycle, exceptées les variétés à sénescence lente ou *stay green*, le sorgho voit ses feuilles sécher et tomber progressivement, à partir de la base. Ce sont les trois à quatre feuilles terminales qui assurent le remplissage des graines. Toutefois, en cas de stress hydrique en fin de cycle, les tiges contribuent au remplissage des graines. Cette migration des photosynthétats affaiblit la tenue des plantes ce qui se traduit souvent par de la verse soit d'origine mécanique, soit liée à des attaques parasitaires des tiges causées par le *Macrophomina phaseolina* qui provoque la pourriture charbonneuse du pied (Chantereau & Nicou, 1991).

La maturité physiologique se caractérise par l'apparition d'un point noir dans la région du hile, visible après l'extraction des graines de leurs glumes. À ce stade, la composition de la graine dépend du milieu et du génotype. Elle se caractérise par une teneur en protéines qui varie de 7 à 26 %, la teneur moyenne est un peu supérieure à 10 %.

En zone tropicale, la décomposition des résidus libère des composés toxiques qui se maintiennent à cause de la faible activité biologique des sols sableux. C'est le phénomène d'allélopathie qui entraîne un effet dépressif du sorgho sur la culture qui lui succède, et notamment sur le sorgho lui-même (Chantereau, 2002 ; Dehaynin, 2007 ; Chantereau *et al.*, 2013)



Planche 1: Techniques de récolte et de séchage au champ du sorgho (Vélingara, Haute Casamance) © S.L. KA, Octobre 2017

1.1.4. Besoins environnementaux du sorgho

1.1.4.1. Température

La température optimale de croissance pour le sorgho se situe autour de 30° avec une température de base de 11°C et une température maximum de 42°C. Cependant, les exigences en température du sorgho ne sont pas uniformes et il existe des différences variétales (Chantereau *et al.*, 2002).

1.1.4.2. Photopériode

En raison de son origine tropicale, le sorgho est une plante photopériodique de jours courts (ou nyctipériodiques). La plupart des variétés locales, notamment africaines, sont photopériodiques de jours courts. La floraison est déclenchée lorsque la durée du jour raccourcit et devient inférieure à une valeur seuil. Il existe une liaison entre cette valeur seuil

et la fin de la saison des pluies du lieu d'origine des variétés locales. Quelle que soit la date de semis, celles-ci y fleuriront à une date relativement fixe qui permet un calage de la maturation des grains sur le début de la saison sèche. Ainsi, une variété photopériodique aura un cycle variant de 90 à 160 jours (Chantereau *et al.*, 2002). Cependant, l'adaptation du sorgho aux zones subtropicales puis tempérées a été possible par perte de photosensibilité, ceci explique qu'aujourd'hui, il existe des variétés peu ou pas photopériodiques (Chantereau *et al.*, 2013).

1.1.4.3. Pluviométrie et besoins en eau

Le sorgho présente une plasticité adaptative étonnante vis-à-vis des disponibilités en eau. En Afrique de l'Ouest, il est cultivé depuis des zones allant de 300 mm de pluviométrie (Sénégal, Mali, Niger) à plus de 1 500 mm (Guinée, Sierra Leone) (Chantereau *et al.*, 2013). La supériorité du sorgho consiste en une meilleure aptitude à supporter les périodes de sécheresse, surtout en début de culture (Chantereau *et al.*, 2002). Cette aptitude est due à trois mécanismes d'adaptation que sont l'échappement, l'évitement et la tolérance.

L'échappement se caractérise par la capacité des plantes à esquiver la sécheresse par le cycle, l'évitement lié au maintien d'un bon état hydrique des plantes en situation de stress hydrique et enfin la tolérance due à la capacité des plantes à rester fonctionnelles sous faible teneur en eau des tissus (Sène, 1995 ; Chantereau *et al.*, 2013). Ainsi produire un kilogramme de matière sèche nécessiterait 20% d'eau en plus chez le maïs par rapport au sorgho (Le Blanc, 1994 ; Chantereau *et al.*, 2002).

1.1.4.4. Besoins en éléments minéraux

Le sorgho est une plante rustique pouvant s'adapter à des sols à la fertilité limitée. Dans les systèmes de cultures traditionnels tropicaux, la culture de sorgho ne reçoit pas d'engrais ou, au plus, bénéficie du reliquat de la fertilisation appliquée sur les cultures de rente qui le précèdent dans la rotation, comme le cotonnier.

La rusticité du sorgho s'explique d'une part par l'importance et la profondeur de son système racinaire. Celui-ci assure une capacité d'extraction des minéraux du sol supérieure à celle d'autres plantes comme le maïs. D'autre part, chez les sorghos photopériodiques de cycle long, la dissociation de la phase de montaison et de la phase d'initiation paniculaire implique une répartition des besoins minéraux de façon régulière et sur un temps long.

1.1.5. Bioagresseurs du sorgho

1.1.5.1. Maladies fongiques, bactériennes et virales

En raison de son origine tropicale et de la période de culture caractérisée par un climat chaud et humide, le sorgho, est confronté à un grand nombre de bioagresseurs dont entre autres les

virus, les bactéries, les champignons, les nématodes, les insectes, les plantes parasites et les oiseaux (Doggett, 1988 ; Frederiksen & Odvody, 2000), responsable en partie de sa faible production (Ndiaye *et al.*, 2005). Cependant, les conditions agroécologiques du développement de ces ravageurs diffèrent, si bien que, dans une région donnée, la culture du sorgho n'est heureusement confrontée qu'à une gamme limitée de ses ennemis (Chantereau *et al.*, 2013).

Fontes de semis

Les fontes de semis constituent la principale cause des mauvaises levées du sorgho. Elles se caractérisent par une nécrose du système racinaire et sont dues à deux types de complexes fongiques que sont les champignons du sol et les microorganismes fongiques (Chantereau *et al.*, 2013).

Maladies foliaires

Essentiellement dues à des champignons, les maladies foliaires se manifestent par des tâches sur les feuilles. Elles sont surtout redoutées chez le sorgho fourrager où elles provoquent une dépréciation de la qualité et de la quantité.

Les maladies foliaires peuvent être diverses mais les principales sont : *l'antracnose, la maladie des bandes de suie, la maladie des grains de sable, l'helminthosporiose, les mildious, la rouille, la maladie des tâches grises, la maladie des taches zonées, la maladie des taches ovales...*

Maladies des tiges et des racines

En raison des fonctions assurées par les tiges et les racines, les maladies de ces organes ont souvent plus d'impact économique sur la production des grains que les maladies foliaires. Leurs attaques, même tardives, se traduisent par des chutes de rendement dues à un mauvais remplissage des graines et à de la casse ou de la verse des tiges (Chantereau *et al.*, 2013).

Il s'agit essentiellement de la pourriture rouge et de la pourriture charbonneuse, provoquée respectivement par deux champignons que sont *Colletotrichum graminicola* et *Macrophomina phaseolina*.

Maladies des panicules et des graines

Ces maladies ont un effet direct sur le rendement et donc constitue un problème majeur pour la culture du sorgho. Parmi elles on peut citer les moisissures des graines, l'ergot, le charbon...

Maladies virales

Plus d'une vingtaine de maladies virales ont été répertoriées sur le sorgho. Ces maladies peuvent se manifester par des mosaïques, des marbrures ou des stries de taches foliaires chlorotiques ou pigmentées... Cependant les symptômes des infections virales dépendent du virus, de la variété et des conditions culturales (Chantereau *et al.*, 2013).

Généralement en cas d'attaques, on note un tallage excessif, des retards de floraison et parfois même une nécrose de la plante.

1.1.5.2. Les insectes

Selon Chantereau *et al.* (2013) plus de 160 espèces d'insectes ont été répertoriés dans les cultures de sorgho dont une centaine en Afrique tropicale. Cependant l'essentiel de ces insectes n'atteignent pas le seuil économique de nuisibilité. Les insectes les plus redoutés dans les cultures de sorgho sont : *Atherigona soccata* pour la mouche des semis, *Euristylus oldi* pour les punaises des panicules et *Stenodiplosis sorghicola* pour la cécidomyie (Ratnadass, 1998).

1.1.6. Techniques culturales et post récolte

La production principale du sorgho est assurée pendant la saison des pluies. Toutefois, le sorgho est aussi cultivé en condition irriguée, en culture de décrue et en culture repiquée.

Le sorgho irrigué est cultivé dans des périmètres aménagés dans les vallées fluviales africaines au Sénégal, au Niger et le long du Nil. Les systèmes de culture repiquée et de décrue reposent sur des variétés spécialisés, surtout de races *Sorghum bicolor* subs. *durra* (Chantereau *et al.*, 2013).

1.1.6.1. Préparation du terrain, semi et entretien

En raison de son action sur la porosité du sol, le labour améliore les capacités d'infiltration de l'eau et facilite la pénétration des racines du sorgho (Chopart & Nicou, 1976).

Cependant, la préparation du sol est fonction du précédent cultural, de la texture du sol et de l'équipement dont dispose l'agriculteur. Après une jachère, la parcelle est défrichée pendant la saison sèche, sans dessouchage. Derrière une culture, les résidus de récolte sont rassemblés en tas et brûlés sur place à la fin de la saison sèche. Dans les terrains légers un grattage et un billonnage sont souvent effectués à l'aide d'une houe ou d'un multicutteur à traction asine. Dans les terrains plus lourds il n'y a souvent pas de travail du sol. En zone cotonnière le niveau d'équipement est plus important : le labour et le billonnage tendent à devenir la règle. Ils sont réalisés en traction bovine ou motorisée (Clerget, 2004).

Le semis doit être réalisé dans un sol bien humide mais sans excès d'eau, à une profondeur d'environ 2 cm avec des graines saines et récentes traitées par un mélange fongicide insecticide.

Traditionnellement, le sorgho est semé manuellement en poquets de 5 à 6 graines. En culture intensive, le semis est effectué à l'aide d'un semoir. Les densités de semis varient beaucoup selon les systèmes de culture (Chantereau *et al.*, 2002). Généralement, les écartements appliqués sont de l'ordre de 80 cm entre les lignes et 30 à 60 cm entre les poquets placés sur la même ligne. Très souvent, les agriculteurs cultivent le sorgho en association avec du niébé ou de l'arachide (Chantereau *et al.*, 2013).

Le démariage est rarement effectué en culture traditionnelle, si ce n'est dans le but de faire des repiquages pour compenser les poquets manquants (dans ce cas, le repiquage doit être fait avec des plantules âgées de trois à quatre semaines). En culture intensifiée avec un semis en poquet, le démariage doit intervenir rapidement, une dizaine de jours après la levée et laisser trois pieds par poquet. On recommande de faire le premier sarclage au même moment. Par la suite, les sarclo-binages doivent être réalisés de façon à empêcher les mauvaises herbes de concurrencer le sorgho.

1.1.6.2. Amendement et fertilisation

Le sorgho pluvial traditionnel n'est généralement pas fertilisé. Au mieux, dans les zones cotonnières, le sorgho faisant suite au cotonnier pourra tirer parti d'un arrière effet de la fertilisation minérale et organique appliquée sur cette dernière culture (Chantereau *et al.*, 2013). Pourtant le sorgho valorise complètement l'azote si les quantités de phosphore assimilables sont suffisantes. Ainsi, pour produire 2 t/ha, on estime qu'il faut apporter, suivant les situations, 35 à 45 kg/ha de N. La fumure minérale doit être étroitement associée à la fumure organique, sous forme de fumier ou de compost. L'engrais minéral de fond PK ou NPK doit être épandu de préférence à la volée avant les préparations du sol précédant le semis. S'il n'y a pas de travail du sol, il doit être épandu au semis. Un épandage complémentaire d'azote est à faire au début de la montaison (House, 1987 ; Chantereau *et al.*, 2002).

1.1.6.3. Récolte et post récolte

La récolte peut être effectuée dès que les grains ont atteint leur maturité ou après un temps plus ou moins long de séchage « sur pied » au champ. Selon les variétés, la maturité est atteinte 3 à 6 mois après le semis et quelles que soient les zones climatiques, les producteurs choisissent des variétés qui arrivent à maturité en fin de saison des pluies. À maturité, les tiges

et les feuilles sont desséchées (2/3 au moins des feuilles de la plante ont une couleur jaune) et les grains relativement durs présentent à la base de leur partie insérée dans les glumes un point noir (Chantereau *et al.*, 2013). Puisque la récolte du sorgho est reléguée au second rang après celui des cultures de rentes, la sécheresse revenue écarte les risques biotiques et les très hautes tiges des sorghos traditionnels ne versent ni ne cassent (Clerget, 2004).

En culture traditionnelle tropicale, le sorgho est récolté sous forme de panicules à 15-20 % d'humidité. La paille restante est aussi de plus en plus souvent récoltée. Le séchage des panicules est conduit au champ ou à proximité des habitations. La conservation est généralement faite en grenier traditionnel sous forme de panicules. Le battage est effectué au bâton, sur des aires aplanies et nettoyées, par couche de panicules de 10 à 15 cm d'épaisseur. Pour des quantités plus modestes correspondant à des besoins journaliers, le travail est fait au mortier et au pilon. Le battage est suivi d'un vannage (Chantereau *et al.*, 2002). Le battage mécanisé des panicules existe à l'aide de petites batteuses à céréales qui nécessite au préalable certains réglages spécifiquement adaptés au sorgho (Chantereau *et al.*, 2013).

1.1.7. Transformation et usages

1.1.7.1. Transformation primaire

La transformation primaire consiste à obtenir de la farine ou de la semoule à partir des grains de sorgho. Elle est constituée d'une succession d'opérations (nettoyage, décorticage, vannage, lavage, mouture) réalisées quasi quotidiennement par les femmes pour la préparation des repas. Les deux principales opérations que sont le décorticage et la mouture sont effectuées par pilage des grains dans un mortier en bois (Chantereau *et al.*, 2013).

1.1.7.2. Transformation secondaire

Le grain peut être consommé entier ou concassé (couscous) et bouilli, ou moulu pour donner une farine qui sera utilisée pour une préparation épaisse non fermentée (le tô), une bouillie claire plus ou moins fermentée (ogi au Nigéria et Ghana), des galettes (waisna au Nigéria) et des beignets (tubani et ganda au Nigéria). Le décorticage et la mouture sont traditionnellement effectués au pilon par les femmes. Il sert aussi à préparer des boissons maltées non fermentées (fura au Nigéria et au Burkina Faso) et de la bière traditionnelle (Clerget, 2004).



Planche 2: Couscous traditionnel consommé avec du lait frais (Vélingara, Haute Casamance)
© KA, Octobre 2017.

1.1.7.3. Utilisation du sorgho

Le sorgho connaît une grande diversité d'utilisations que ce soit en alimentation humaine (farines, semoules, boissons,...), en alimentation animale (sorgho grain, sorgho fourrager, ensilage), en agroénergie (sorgho sucrier, sorgho biomasse) voire en agromatériaux (sorgho fibre).

Le sorgho est la céréale de base de l'alimentation de nombreuses populations des régions tropicales sèches en Afrique, en Asie ou en Amérique centrale où la production est, pour l'essentiel, autoconsommée.

En Afrique soudano-sahélienne, le sorgho et le mil gardent une image de céréales traditionnelles. Elles sont consommées sous la forme de pâtes consistantes ou de bouillies épaisses comme le fameux *tô* du Burkina Faso et du Mali ou de galettes à pâte fermentée comme le *kisra* du Soudan et le *kissar* du Tchad. Ces plats sont préparés à partir de la farine qui a été obtenue après décorticage et mouture des grains. Si les céréales comme le sorgho et le mil restent la base de l'alimentation des régions tropicales sèches, elles conservent, pour de nombreux consommateurs des villes, une image de céréales rustiques, difficiles et longues à préparer. Aujourd'hui on cherche à développer de nouvelles formes de consommation par la mise sur le marché de produits finis prêts à l'emploi et de haute qualité technologique, nutritionnelle, organoleptique et sanitaire (Chantereau *et al.*, 2013).

Ainsi, le sorgho est utilisé aujourd'hui dans la fabrication de pains, biscuits, pâtisseries, pâtes alimentaires, de farines infantiles, de produits roulés, de boisson...

Cependant, au niveau mondial et notamment dans les pays du Nord, l'alimentation animale constitue la principale utilisation du sorgho. Il y est cultivé sous la forme de sorgho grains, de sorgho plante entière pour l'ensilage et de sorgho fourrager (Chantereau *et al.*, 2002 ; Chantereau *et al.*, 2013).

Le sorgho joue aussi un rôle important dans l'agroénergie dans un contexte de réduction de la dépendance à l'énergie fossile. En effet, l'intérêt du sorgho pour la production d'agrocarburants et, plus globalement, d'agroénergie est certain. Toutes les parties de la plante se prêtent à cette valorisation avec trois principales stratégies possibles d'exploitation pouvant être complémentaires. Il s'agit de l'utilisation de l'amidon de sorgho contenu dans les grains, l'utilisation des sucres extraits de tiges et l'utilisation de la biomasse lignocellulosique (Chantereau *et al.*, 2013).

1.1.8. La production du sorgho

Le sorgho est la 5^e céréale mondiale (Levesque, 2014) et sa production était estimée en 2010 à 56 millions de tonnes. Avec une production estimée à 8,8 millions de tonnes en 2010, les Etats Unis sont le premier producteur mondial de sorgho suivit du Mexique, de l'Inde, du Nigeria et de l'Argentine. En Afrique de l'Ouest, le sorgho est l'aliment de base des populations du Nigeria, du Burkina Faso et du Mali. D'ailleurs le Nigeria (4,2 millions de tonnes) et le Burkina Faso (2 millions de tonnes) figurent dans le top 10 des plus grands pays producteurs au monde. Le sorgho est plutôt une culture d'importance secondaire dans les autres pays d'Afrique de l'Ouest. C'est le cas au Sénégal où il est, après le mil, la deuxième céréale pluviale cultivée, avec une superficie totale estimée à plus de 230 000 ha pour une production nationale de 147 000 tonnes. C'est une culture traditionnelle pratiquée en système pluvial, mais aussi en système de décrue, dans la vallée du fleuve Sénégal. Les principales régions de production sont par ordre d'importance la Haute-Casamance, le Sénégal-Oriental, le sud du Bassin arachidier et la région de Thiès. Le rendement moyen est d'environ 0,64 t/ha (Ndiaye *et al.*, 2005 ; ANSD, 2015).

1.2. Les adventices

1.2.1. Une définition délicate !!!

Au commencement, il n’y avait pas d’adventices. Les plantes poussaient dans leur écologie naturelle et faisaient partie de la végétation d’une zone donnée. En Afrique de l’Ouest, tout comme dans d’autres régions du monde, la notion d’adventice n’est apparue que lorsque l’homme a commencé à détruire la végétation naturelle et à la transformer afin qu’elle réponde à ses besoins en matière d’agriculture et de loisirs, ou à des fins purement esthétiques (Akobundu, 1987).

Mauvaises herbes et adventices en français, *weeds* en anglais et *unkraut* en allemand sont peut-être les termes les plus importants de la malherbologie. Cependant leur définition pose des difficultés insurmontables (Godhino, 1984). Si pour la botanique une adventice est une espèce végétale étrangère à la flore indigène dans lequel elle est accidentellement introduite et peut s’installer (Rodriguez 2015), l’agronomie et la malherbologie définissent les adventices (mauvaises herbes) comme des plantes herbacées ou ligneuses indésirables à l’endroit où elles se trouvent (AFNOR, 1977 ; Merlier, 1982 ; AFPP, 2011 ; Rodriguez, 2015). En écologie, le terme adventice désigne une plante introduite accidentellement dans des milieux modifiés par l’homme (Godhino, 1984). Cette définition se rapproche de celle anglaise de Baker (1965) “*A plant is a weed if, in any specific geographical area, its population grows entirely or predominantly in situations markedly disturbed by man (without of course, being deliberately cultivated plants)*”. Cependant certains auteurs remettent en cause ces définitions et parlent de “*Plants for which man has not yet found a use*” (Anderson, 1977). Ces auteurs considèrent les adventices comme des espèces auxquelles on n’a pas encore trouvé d’utilité, ce qui souvent n’est pas le cas. Des individus d’une espèce peuvent être des mauvaises herbes alors que d’autres sont cultivés, ou servent à l’alimentation de l’homme (e.g. *Echinochloa crus-galli*), ou à d’autres fins (Godinho, 1984). D’ailleurs pour Longchamp (1977), une mauvaise herbe n’est pas mauvaise en soi, tout dépend des inconvénients qu’elle présente pour l’homme.

C’est dans ce contexte bibliographique très vaste, souvent incomplet et imprégné de partis-pris, que se situe la notion de « mauvaise herbe ». Les définitions de spécialistes peuvent néanmoins aider à mieux cerner les fonctions de ces espèces (Chauvel, 2014).

La connotation péjorative de l’expression « mauvaise herbe » tend à éliminer cette locution dans les instances scientifiques et naturalistes au profit d’« espèce adventice ». Ce glissement sémantique est actuellement très net allant jusqu’à la dénomination d’Unité de recherche en «

Malherbologie et Agronomie » en Unité de « Biologie et gestion des adventices » pour se fondre dans l'ensemble plus large d'« Agroécologie » (Chauvel, 2014).

1.2.2. Nuisibilité des adventices

La nuisibilité est l'ensemble des phénomènes qui se produisent au cours d'une année de végétation et qui se traduisent par une perte soit de quantité (nuisibilité directe), soit de qualité (nuisibilité indirecte) du produit récolté. La nuisibilité des mauvaises herbes concerne aussi la possibilité de réinfestation par les organes de propagation dans une parcelle ou dans les parcelles voisines (AFPP, 2014). Cette nuisibilité est très variable d'une adventice à une autre. La nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle est à relier principalement à leurs effets négatifs sur la croissance et le développement de la plante cultivée. En termes d'interactions biologiques, les effets mesurés traduisent les résultats de la concurrence entre mauvaises herbes et plante cultivée. Ils sont causés par divers processus biologiques comme la compétition, l'allélopathie ou tout autre processus d'exploitation (Caussanel, 1989). On distingue la nuisibilité primaire, qui correspond à un effet indésirable de la population d'adventices sur la culture et la nuisibilité secondaire qui correspond aux dommages que la flore potentielle ou réelle peut avoir sur la capacité de production ultérieure (Caussanel, 1989).

On distingue ainsi une flore potentielle liée au potentiel semencier et une flore réelle ou flore de surface qui se met en place à partir du potentiel semencier et qui se renouvelle plus ou moins bien en fonction de la nature et de la date de semis de la plante cultivée, des techniques agronomiques et des facteurs climatiques et pédologiques.

Ainsi la nuisibilité chez les adventices englobe 2 sortes d'effets : la nuisibilité due à la flore potentielle et la nuisibilité due à la flore réelle. La nuisibilité due à la flore potentielle est celle dont il faudrait tenir compte si, pour chaque espèce, chacun des organes de multiplication conservés dans le sol à l'état de repos végétatif (semences, bulbes, tubercules, etc..) donnait un individu à la levée (Caussanel, 1989). Cependant, ce risque doit être réduit dans les prévisions car même s'il existe une relation entre stock et levées, la densité des levées dans une culture ne représente qu'une faible proportion du nombre de semences enfouies dans la couche arable (Debaeke, 1988). Plusieurs expérimentations sur différentes cultures situent les levées entre 5 et 10% du nombre de semences enfouies (Barralis, 1972 ; Debaeke, 1988 ; Caussanel, 1989 ; Barralis *et al.* 1996, Rahman *et al.*, 2006). Pour autant, la levée constitue un maillon décisif de la nuisibilité des adventices et de la reproduction de leur stock de semences. Ainsi, la possibilité d'admettre une relation stable entre stock de semences viables

sur la couche travaillée et flore levée est d'une double utilité en permettant d'une part de prévoir les risques d'infestation futures et d'autre part de décider de l'opportunité d'une intervention herbicide de prélevée ; elle facilite par ailleurs l'évaluation rapide du stock semencier d'une parcelle et donc le jugement de l'effet des systèmes de culture (Debaeke, 1988).

La levée au champ est une étape importante du cycle de développement d'une mauvaise herbe annuelle, et la connaissance des relations entre le stock semencier et la densité des levées est un élément majeur pour la prévision des infestations et la définition de stratégies raisonnées de désherbage. Elle est considérée comme un paramètre critique pour tout modèle de gestion des mauvaises herbes (Forcella *et al*, 1992).

Cette nuisibilité est due aux plantes qui lèvent réellement au cours du cycle de la culture. Chaque espèce adventice possède sa propre nuisibilité (nuisibilité spécifique) qui contribue à la nuisibilité globale du peuplement adventice dans des conditions d'offre environnementale définies (Caussanel, 1989). Lorsque la nuisibilité due à la flore adventice réelle n'est prise en compte que par ses effets indésirables sur le produit récolté, cette nuisibilité est dite primaire. Si les dommages dus à l'action conjuguée de la flore réelle et de la flore potentielle s'étendent aussi à la capacité ultérieure de production, soit au niveau de la parcelle (accroissement du potentiel semencier du sol notamment), soit au niveau de l'exploitation agricole (création et multiplication de foyers d'infestation, contamination du sol ou du matériel végétal, nuisances et pollution), la nuisibilité est qualifiée de secondaire (Caussanel, 1989).

La nuisibilité n'est pas toujours évidente à déterminer. En effet, celle-ci peut être d'ordre direct, les adventices étant compétitives de la culture ou provoquant des retards de croissance par allélopathie, ou d'ordre indirect, en augmentant le temps de travail lors de la récolte ou en favorisant des maladies ou insectes par leur présence (Le Bourgeois & Merlier, 1995). *A contrario*, les adventices peuvent être bénéfiques en créant des réservoirs d'auxiliaires et en participant à la biodiversité du milieu. La nuisibilité directe est la plus facile à quantifier mais cela peut tout de même se compliquer lorsque l'on raisonne à l'échelle de la rotation c'est-à-dire la nuisibilité secondaire par augmentation du stock semencier (Delval, 2013).

1.2.2.1. La nuisibilité directe

La nuisibilité directe affecte prioritairement le potentiel de rendement de la culture (Caussanel, 1989). Il est représenté par un seuil de nuisibilité biologique qui est défini comme étant le niveau d'infestation à partir duquel une baisse de rendement de la culture est mesurée pour une espèce adventice considérée. Ce seuil est modifié par un ensemble de paramètres. Il

dépend des couples d'espèces considérées (culture et adventice), des densités de peuplement adventice, de la densité de semis, des stades de croissance respectifs, des structures spatiales des cultures et des adventices (Viox, 2004) Cela peut s'exprimer par le nombre de pieds suffisants au m² pour faire chuter le rendement. Cependant, les expérimentations ont montré que la seule densité n'est pas l'unique facteur à considérer pour fixer les seuils de nuisibilité ; il faut aussi considérer : la période de concurrence, la nature des adventices, la répartition des plantes sur le terrain sont des facteurs tous aussi importants (Arvalis, 2013)

En somme, les effets de nuisibilité directe sont causés par les phénomènes de concurrence entre plantes cultivées et adventices, ceux-ci comportent les phénomènes de compétition et d'allélopathie.

La Compétition

La compétition se définit comme la concurrence qui s'établit entre plusieurs organismes pour une même source d'énergie ou de matière lorsque la demande est en excès sur les disponibilités

(Lemée, 1967).

Chez les plantes, cette compétition pour les ressources peut se faire sur divers plans, aussi bien au niveau racinaire pour l'utilisation de l'eau ou de l'azote du sol (Dunahy, 2007), qu'au niveau foliaire pour l'exposition à l'ensoleillement (Page *et al.*, 2010).

Le port, la hauteur, la vitesse de croissance, la durée du cycle sont des facteurs biologiques intrinsèques à l'espèce qui influencent la compétitivité (Hannachi, 2010).

La compétition par la lumière

Au-dessus de la surface du sol, la ressource lumineuse est essentielle à la croissance des plantes et devient source de compétition lorsqu'elle est limitante. Cette ressource est essentielle à la croissance des plantes car elle leur permet, via le processus de photosynthèse, de produire des assimilats carbonés qui rentrent dans la constitution des différents organes aériens et souterrains de la plante. La lumière est une ressource unidirectionnelle. Bien que la direction des rayons lumineux varie au cours d'une journée, la plante qui sera plus haute que les autres captera la lumière tandis qu'elle provoquera un ombrage et donc une plus faible disponibilité de la ressource pour les plantes plus basses (Tardy, 2015).

La compétition pour les ressources du sol

En dessous de la surface du sol se trouvent un grand nombre de ressources utiles à la croissance des plantes. On y trouve des macro et micro nutriments (comme l'azote et le phosphore) et la ressource hydrique. Ces ressources ne sont pas présentes de manière

homogène dans le sol et ne sont pas toutes accessibles de la même façon. Contrairement à la lumière les plantes ont un avantage compétitif proportionnel à leur occupation du sol par les racines : on dit que la compétition pour les ressources du sol est « symétrique » par rapport à la taille des plantes. L'acquisition et l'utilisation des ressources du sol reposent sur quatre principaux processus : la demande de la plante, le transport des ressources dans la plante, l'exploration du sol dans l'espace et l'exploration du sol dans le temps. Ces processus dépendent essentiellement de la structure du système racinaire des plantes, et de leurs aptitudes à croître en profondeur, en largeur et à prélever la ressource (Tardy, 2015).

L'Allélopathie

L'allélopathie est un phénomène d'interaction différent, de nature chimique, faisant intervenir l'émission par certaines plantes (origine donc biotique) et/ou leurs résidus (origine donc abiotique) de molécules toxiques pour d'autres plantes (Charles *et al.*, 2012). Ces interactions chimiques entre végétaux comprennent celles qui s'exercent soit directement entre les plantes (cholines), soit indirectement par l'intermédiaire de microorganismes pendant la vie active des végétaux et au cours de la décomposition de leurs résidus (Caussanel, 1989). Ces médiateurs chimiques sont des métabolites secondaires dont les terpènes les alcaloïdes les molécules aromatiques *etc.* (Valantin-Morison, 2008).

1.2.2.2. La nuisibilité indirecte

Ce sont les autres effets indésirables des mauvaises herbes (adventices) concernant l'impact sur la qualité de la récolte, sur la qualité sanitaire de culture (les mauvaises herbes pouvant être réservoirs ou hôtes de divers parasites) et la capacité ultérieure de production (augmentation du stock semencier) (Arvalis, 1995).

Pour certains auteurs les différentes formes de nuisibilité peuvent être groupées en 4 types : gêne des pratiques culturales, altération de la qualité de la récolte, baisse du rendement de la culture et réserve d'ennemis des cultures (Chicouène, 2014).

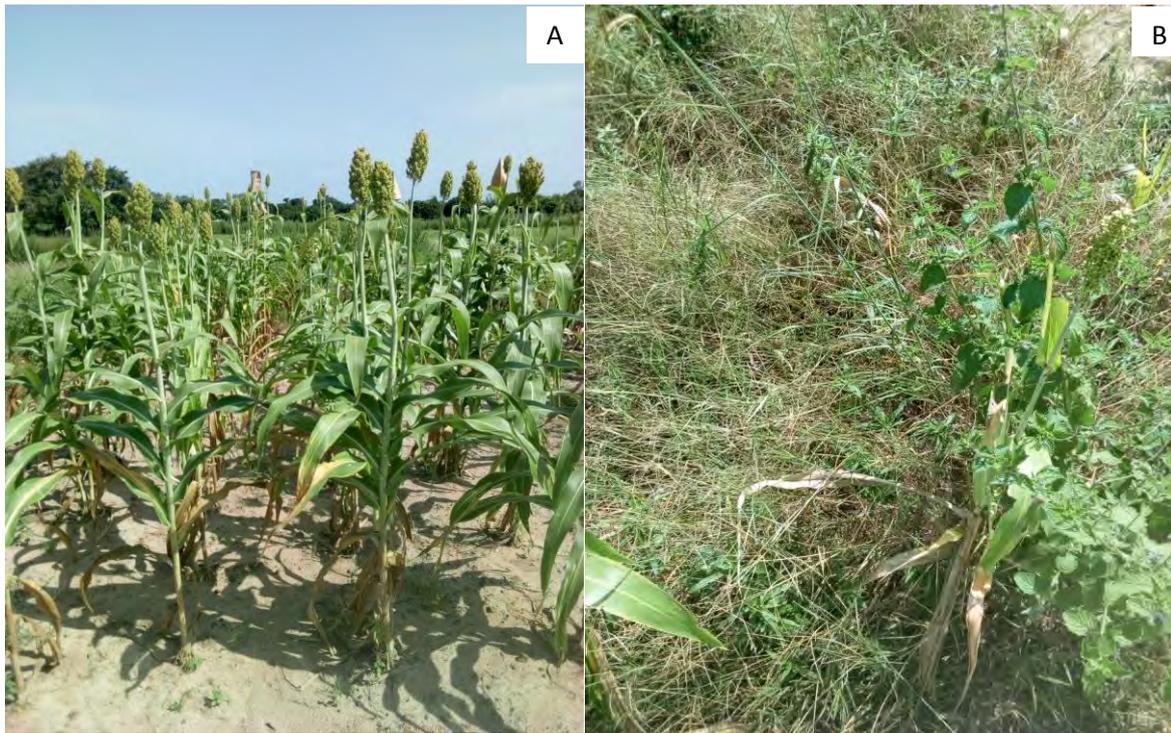


Planche 3: Parcelle propre (A) et parcelle enherbée (B) du semis au 75^e jour après semis (CRZ de Kolda, Haute Casamance) © KA, Octobre 2017.

1.2.3. Les leviers de gestion de la flore adventices

1.2.3.1. Les leviers préventifs

Le labour

Le labour est un travail du sol avec retournement et déplacement latéral du sol pouvant aller jusqu'à 25-30 cm. Il permet de détruire lors du passage les adventices déjà levées et d'enfouir en profondeur les graines d'adventices produites au cours de la campagne précédente (Agrotransfert, 2011). En effet, l'enfouissement des graines lors du labour les place dans des conditions limitant leur germination et levée. Cette technique est plus ou moins efficace selon les espèces présentes sur la parcelle (Pipon, 2011).

Le faux semis

Le principe du faux-semis est de décaler le développement de la culture par rapport à celui des adventices, afin de réduire le stock de graines du sol avant l'implantation de la culture pour semer sur un sol propre (Pipon, 2011).

Il existe, aussi, la technique du faux semis qui consiste à préparer le sol 2 à 4 semaines avant le semis et à appliquer un herbicide non sélectif juste avant le semis afin de détruire les mauvaises herbes qui auront émergé. Le désherbage manuel est encore aussi largement utilisé

pour pallier aux inefficacités des autres méthodes de lutte, surtout pour de petites surfaces (Buhler, 2009).

La rotation culturale

La rotation culturale désigne une succession de cultures planifiée dans le temps au sein d'une même parcelle. Malgré cette planification, elles sont toujours dynamiques : les agriculteurs adaptent leurs choix en fonction des conditions du milieu et des marchés. Le rôle de la rotation est primordial car la flore adventice présente dans la parcelle est étroitement liée au système de culture (Schaub, 2010). La gestion des adventices peut ainsi passer par augmentation du nombre de cultures ou par l'inclusion de cultures plus compétitives envers les mauvaises herbes (Douville *et al.*, 2002). En effet, une rotation où les périodes de semis et les cycles culturaux sont diversifiés permet de limiter la sélection d'une flore spécialisée calée sur le cycle d'une culture par exemple (Agrotransfert, 2011).

Les dates de semis

Jouer sur les dates de semis permet d'éviter l'exposition de la culture à une période où elle est le plus sensible à la concurrence des adventices (Munier-Jolain *et al.*, 2008).

Il existe ainsi deux stratégies : une stratégie d'évitement qui consiste à semer après la levée des adventices ou une stratégie de développement concurrentiel en implantant la culture avant cette levée de mauvaises herbes (Bonin, 2010).

Les densités de semis et les écarts entre les rangs

Pour maximiser la vitesse de couverture du sol, on peut également augmenter les densités de semis et réduire les écarts entre les rangs. Des densités plus élevées et des écarts réduits augmentent les chances de la culture d'occuper tout l'espace (Valantin-Morison *et al.*, 2008). La concurrence exercée par le couvert sur les adventices est donc plus forte et, puisqu'elles sont étouffées, une réduction de la production de semences peut être observée (Attoumani-Ronceux *et al.*, 2010).

L'utilisation de couvert

Entre la récolte d'une culture et le semis de la suivante, le sol peut se retrouver nu ce qui laisse le temps aux adventices de s'installer et de proliférer, si rien n'empêche leur développement. Dans ce contexte, la mise en place d'un couvert végétal peut être intéressante. Si dans un premier temps les couverts étaient plutôt utilisés pour améliorer la structure des sols et piéger l'azote, ils peuvent constituer un atout majeur dans la gestion des adventices (Douville, 2002). Les bénéfices de l'utilisation des cultures de couverture sont bien connus ;

ils protègent le sol contre l'érosion par le vent et l'eau, conservent l'humidité du sol, enrichissent le sol de matière organique, augmentent l'activité microbienne, améliorent la structure du sol et remédient à la compaction des sols. (McClurg *et al.*, 2003). Ils sont semés entre deux cultures principales, puis sont récoltés (on parle alors de cultures dérobées) pour le fourrage ou pour la vente, ou alors détruits et enfouis mécaniquement ou chimiquement.

Un couvert doit atteindre une biomasse aérienne d'au moins 2000kg/ha pour concurrencer efficacement les adventices (Douville, 2002). Lorsque le sol est occupé par le couvert, le développement des adventices est d'autant plus limité que les espèces du couvert sont étouffantes et se développent rapidement (Pipon, 2013).

Allélopathie

Depuis 1996, la Société Internationale de l'Allélopathie définit l'allélopathie comme étant tout processus impliquant des métabolites secondaires produits par des plantes, microorganismes, virus et champignons qui influencent la germination, la croissance et le développement d'une plante avoisinante (Narwal, 1999 ; Buhler, 2009). L'utilisation de couverts allélopathiques à effets négatifs sur les adventices vise la valorisation de plantes vivantes et une gestion ciblée de leurs résidus pour profiter des substances allélochimiques relâchées par lessivage, décomposition des résidus, volatilisation, exsudats racinaires ou diffusion de pollen (Khanh *et al.*, 2005 ; Charles *et al.*, 2012).

1.2.3.2. Les leviers curatifs

Le désherbage mécanique

Le désherbage mécanique est un moyen agronomique curatif qui peut être utilisé pour supprimer ou réduire l'usage des herbicides. Il repose sur l'utilisation d'outils mécaniques tractés, avec différents modes d'action. On distingue les techniques d'arrachage, d'écimage, de sectionnement des racines ou de recouvrement des plantules (Rodriguez, 2005). Les outils à disposition des agriculteurs pour ce type de désherbage sont essentiellement les bineuses, herses étrilles et houes rotatives. Cette technique nécessite de réunir plusieurs conditions pour être efficace : un sol ressuyé et des conditions asséchantes suite aux travaux pour permettre la dessiccation des adventices détruites (Agrotransfert, 2011), et des plantules jeunes, au stade « fil blanc » (Perspectives Agricoles, 2010) : en effet, plus les mauvaises herbes sont jeunes, plus les outils seront efficaces (Schaub, 2010). De nombreuses études ont montré l'efficacité du désherbage mécanique et sa sélectivité vis-à-vis des plantes cultivées, mais il offre également d'autres avantages : il permet de niveler le sol, de relancer la minéralisation de la matière organique, d'améliorer la porosité, de limiter les pertes d'eau et les ruissellements

(Cuma Ouest, 2005). Néanmoins, cette efficacité reste très variable et dépend grandement du climat, de la nature des adventices et de leur stade de développement (Pipon, 2013). Ainsi, pour une meilleure efficacité, les mauvaises herbes doivent être au stade cotylédon. Un travail trop profond apporte plus de semences de mauvaises herbes à la surface du sol, réduit l'humidité du sol et détruit les racines des cultures. Le travail doit être réalisé par des journées ensoleillées (Buhler, 2009).

Le désherbage chimique

Le traitement herbicide est utilisé de façon croissante compte tenu des avantages à la fois agronomiques pour accélérer la préparation des parcelles et maîtriser certaines adventices vivaces, et économiques en réduisant légèrement les coûts par rapport à l'emploi de manœuvres salariés (Mathieu, 2005). Ainsi, les herbicides sont largement utilisés et occupent 40 % du total d'IFT moyen toutes grandes cultures confondues (Valentin, 2008) et sont efficaces à 98 % contre les adventices. (Munier Jolain, 2008)

L'utilisation continue d'herbicides, année après année, crée cependant plusieurs problèmes : persistance dans les sols, contamination de l'environnement, phytotoxicité à la culture et aux cultures subséquentes, augmentation des cas de mauvaises herbes résistantes ou adaptées et augmentation des coûts pour le développement de nouveaux herbicides (Narwall, 1999 ; Worsham, 1991). En 2008, plus de 183 espèces de mauvaises herbes ont été identifiées comme étant résistantes aux herbicides (Buhler, 2009), rendant la gestion chimique beaucoup plus difficile (Chauvel *et al.*, 2001). Le désherbage systématique a également considérablement diminué la biodiversité végétale dans les paysages agricoles (Fried *et al.*, 2009).

1.2.4. Les méthodes de lutttes intégrées contre les mauvaises herbes

La lutte intégrée contre les mauvaises herbes tire le meilleur parti possible de toutes les méthodes de lutte offertes. Ces méthodes comprennent la rotation des cultures, les cultures de couverture, les cultures intercalaires, les cultures allélopathiques, la fertilisation azotée, les modèles de plantation, les systèmes de travail du sol, l'utilisation de doses minimales effectives d'herbicides, les périodes critiques des interventions et les seuils de nuisibilité économique (Riggs, 2003 ; Anonyme³, 2005). Aucune de ces méthodes prises individuellement n'offre une maîtrise suffisante des mauvaises herbes. La lutte intégrée repose sur une combinaison de ces méthodes et une connaissance de l'historique des champs ainsi que des populations de mauvaises herbes par dépistage (Buhler, 2009).

1.2.5. Les avantages de la présence des mauvaises herbes

La présence des adventices a toujours été perçue comme négative. Pourtant, de nombreuses recherches attestent aujourd'hui de l'utilité de la présence des adventices qui sont une partie intégrante de la biodiversité. En effet, les mauvaises herbes permettent d'améliorer la structure du sol, jouent le rôle de plantes hôtes pour les prédateurs. Elles servent aussi de nourriture et de refuge pour les parasites et les auxiliaires, luttent contre l'érosion et elles assurent une meilleure régulation de l'eau tout en absorbant les excédents de fertilisation (Schaub *et al.*, 2010). De plus, la présence d'un tapis végétal diminue la tendance à l'acidification des sols (Baudry *et al.*, 1989).

CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1. Le milieu d'étude

La Haute Casamance correspond à la région administrative de Kolda et s'étend sur une superficie de 13721 km² soit 7% du territoire national. Elle est composée de trois départements : Kolda, Médina Yoro Foula et Vélingara (Figure 4). Le département de Vélingara est le plus vaste avec 40% de la superficie régionale, suivi de Médina Yoro Foula avec 34% et de Kolda 26%. La Haute Casamance est limitée au nord par la Gambie, à l'est par la région de Tambacounda, à l'ouest par la région de Sédhiou et au sud par la Guinée Bissau et la Guinée Conakry. Sa position de région frontalière à trois pays, lui confère un potentiel géostratégique énorme dans les dynamiques économiques, sociales et culturelles de la sous-région (ANSD, 2014). La présente étude a été conduite dans cette région qui constitue avec le Sénégal Oriental l'un des bassins de production du sorgho au Sénégal (Fofana *et al.*, 2009 ; ANSD, 2015). Les relevés phytosociologiques ont été réalisés dans l'ensemble de la région allant de la frontière avec la Guinée Bissau où la pluviométrie la plus abondante est enregistrée à Foudou en zone médiane frontalière de la région de Tambacounda. Ces relevés ont été effectués en milieu semi-contrôlé dans les stations de Kolda et de Vélingara mais aussi en milieu paysan. Les expérimentations ont été réalisées dans la station expérimentale du Centre de Recherches Zootechniques de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles de Kolda. Les exploitations paysannes sont généralement constituées par des champs de cases et des champs de brousses. En champ de case, le sorgho se succède généralement à lui-même depuis plusieurs années tandis que, les champs de brousses sont généralement de nouvelles défriches ou ayant un précédent cultural « arachide » et plus rarement le « coton » pour profiter de l'arrière effet de ces cultures qui reçoivent généralement l'apport de fertilisants chimiques.

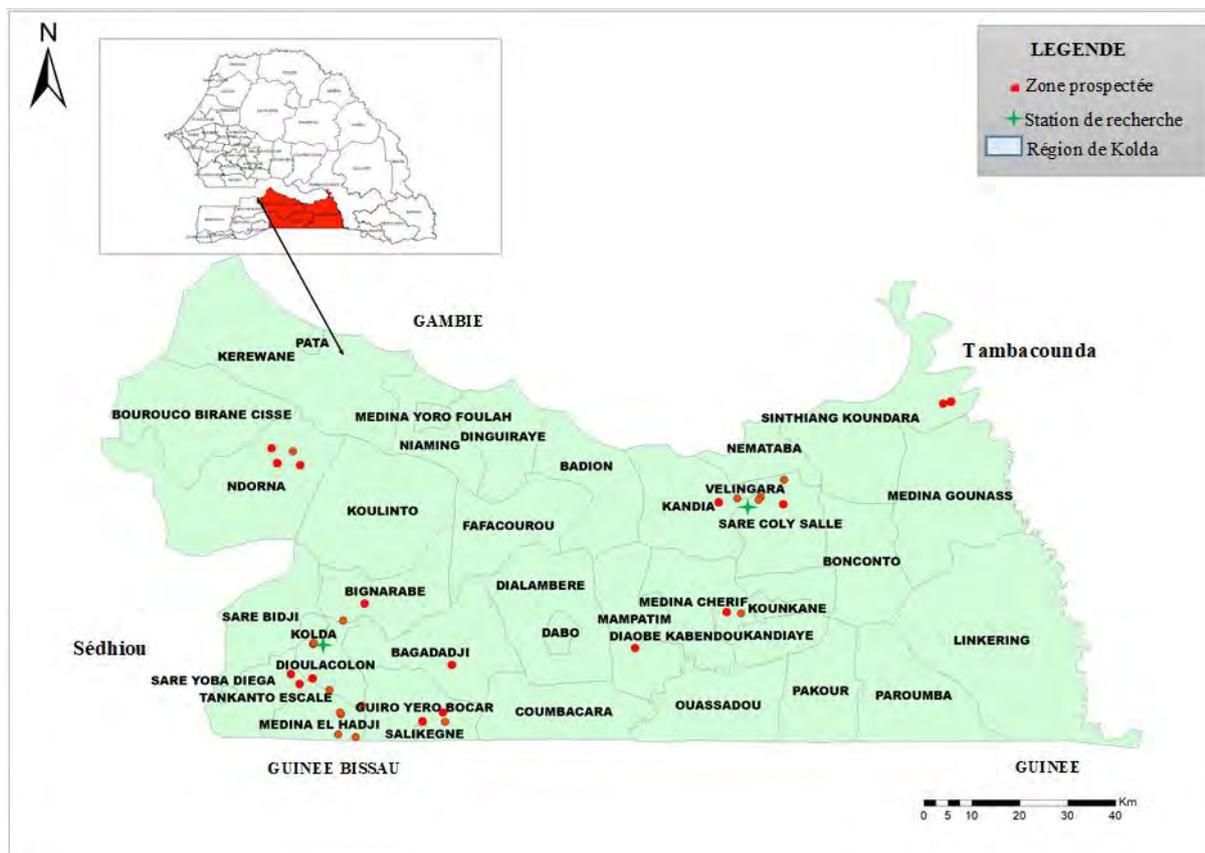


Figure 4: Carte de localisation de la région de Kolda, Sénégal (© KA, Février, 2018)

2.2. Reliefs et types de sols

Trois types de relief se succèdent dans l'espace régional : les plateaux, les versants et les bas-fonds. Toutefois les plateaux de grès issus des formations du secondaire et du tertiaire dominant largement. Chaque niveau de relief correspondant à un type de sol déterminé. Au niveau des plateaux, les sols ferrugineux tropicaux, plus ou moins lessivés, sont localisés dans le département de Vélingara. A l'ouest notamment dans les départements de Kolda et Sédhiou les plateaux sont moins étendus et les vallées, aux sols hydromorphes et des limons argilo-sableux, plus fréquentes. D'après le schéma régional d'aménagement du territoire ces vallées couvrent environ 250.000 hectares, soit 12,5% de la superficie régionale (Anonyme⁴, 2009).

2.3. Le climat

Le climat est de type soudano guinéen recevant des précipitations qui s'étalent de juin à octobre avec une intensité maximale en août et septembre, et une saison sèche qui couvre la période de novembre à mai. Les précipitations moyennes varient de 700 à 1300 mm

(Anonyme, 2009 ; ANSD, 2015). Les températures moyennes mensuelles les plus basses sont enregistrées entre décembre et janvier et varient entre 25 à 30°C, les plus élevées sont notées entre mars et septembre avec des variations de 30 à 40°C. Le relief est constitué de grès sablo-argileux formant des plateaux avec une végétation naturelle abondante (savane ou forêt claire), entrecoupées de vallées dans lesquelles se trouvent les rizières et les pâturages de bas-fonds (ANSD, 2015).

Tableau 1:Pluviométrie saisonnière 2015, 2016 et 2017 et normale 1981-2010.

Mois	Pluviométrie saisonnière (mm)			Normale climatique 1981-2010 (mm)
	2015	2016	2017	
	CRZ de Kolda (Région de Kolda)			
Mai	5	22,5	52	6,5
Juin	79,5	109,6	239,5	113,3
Juillet	213,8	196,9	332	263,7
Août	407,8	476,5	523,9	264
Septembre	254,9	380,8	161,5	241,5
Octobre	109	0	27	70,3
Total	1070,0	1186,3	1335,9	959,3

2.4. L'hydrographie

Le réseau hydrographique est composé d'un cours d'eau principal, le fleuve Casamance et ses affluents. Sa rive droite est longée par le marigot de Saré Kouyatel tandis que sur la rive gauche se trouvent les marigots de Thiango Dianguina, de Khorine et de Dioulacolou. La zone de Kounkané est arrosée par le fleuve Kayenga et son affluent l'Anambé. Le barrage de Ndiandouba et celui de l'Anambé élevés respectivement sur ces cours d'eau font que la zone dispose de l'eau de façon continue. En plus, les eaux de pluie alimentent les nappes superficielles du continental terminal, du miocène (50 et 150 m de profondeur) et du quaternaire. Dans cette zone, le Maestrichen est accessible à moins de 160 m au centre Sud et au Sud Est de la Région. La qualité de l'eau est bonne (ANSD, 2015).

2.5. La végétation

Kolda est une région qui dispose d'importantes ressources végétales. C'est une zone de savane arborée qui est une formation ouverte, avec un tapis de graminées continues. Sur le long des cours d'eau se dressent des rônneraies moins denses que dans le sud de la région.

Cependant malgré son potentiel faunique et forestier, la région de Kolda connaît une dégradation de son environnement forestier occasionnée par une surexploitation forestière, les feux de brousse qui détruisent annuellement l'habitat sauvage et le sol. Cette dégradation du tissu végétal entraîne à long terme une progression de l'érosion mais aussi une détérioration progressive de la productivité. Ce qui constitue une véritable menace pour les populations (ANSD, 2015).

CHAPITRE III: FLORE ADVENTICE DU SORGHO

3.1. Introduction

Le Sénégal est un pays sahélien où l'agriculture contribue à 10-15% du produit intérieur brut et occupe près de 70% de la population active (ANSD; 2014; Kane, 2014; Guèye, 2016). Les cultures les plus importantes sont le mil, l'arachide, le niébé, le maïs, le riz et le sorgho (ANSD, 2014). Parmi ces spéculations, le mil et le sorgho occupent une place prépondérante notamment au Sénégal Oriental et en Haute Casamance (SOHC) où ils couvrent plus de la moitié des superficies emblavées en céréales (Fofana *et al.*, 2009). D'ailleurs, la Haute Casamance est la première région de production du sorgho au Sénégal suivi du Sénégal Oriental, du Sud du Bassin arachidier et de la région de Thiès. Malgré les potentialités de cette zone, les rendements de cette céréale restent faibles, avec environ 700kg/ha, à cause de la combinaison de plusieurs facteurs dont les maladies, les insectes, les techniques culturales inadaptées et l'utilisation de variétés locales rustiques mais peu productives (Fofana *et al.*, 2007). En outre, la pression des adventices est un des facteurs biologiques qui réduisent considérablement les rendements du sorgho. En effet, les adventices ont un effet négatif direct par compétition avec la culture vis-à-vis des éléments nécessaires à la croissance : eau, nutriments, lumière, espace de développement (Mbaye, 2013). Cette compétition est d'autant plus importante en début de cycle qu'aux premiers stades de développement les mauvaises herbes absorbent plus vite les nutriments que la culture. Des pertes de rendement importantes peuvent être occasionnées par les adventices. Au Sénégal, ces pertes de rendement dues aux adventices peuvent atteindre 30% de la production agricole (Noba, 2004). Ainsi, la gestion de l'enherbement est un problème majeur des agriculteurs. Elle nécessite un travail soutenu de désherbage dans une zone où les niveaux de pauvreté ne permettent pas une utilisation à grande échelle des herbicides à cause de leur coût souvent élevé (Noba, 2002 ; Mbaye, 2013). Si des études ont été menées sur la flore adventice du mil (Noba, 2002) ; de l'arachide (Noba, 2002) ; de l'association mil niébé (Mbaye, 2013) et du maïs (Bassène, 2014) dans le bassin arachidier, peu d'études ont concerné les adventices du sorgho et la flore adventice de la Haute Casamance en générale. Or, pour bien raisonner la lutte contre les adventices, il est impératif de connaître la structure de la flore (Noba, 2004 ; Mbaye, 2013 ; Bassène 2014). C'est fort de ce constat que cette étude a été menée pour caractériser la flore adventice du sorgho par l'élaboration des spectres taxonomique, biologique et chorologique.

3.2. Méthodologie

3.2.1. Réalisation des relevés

Les inventaires ont été effectués en 2015, 2016 et 2017 en Haute Casamance. Ils ont eu lieu aussi bien en milieu paysan qu'au niveau des stations expérimentales de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles de Kolda en zone subhumide et de Vélingara en zone médiane. Ces inventaires se sont échelonnés depuis la levée des jeunes plants de sorgho (~15^e jour après semis) jusqu'à la récolte. La technique de relevé floristique utilisée est celle du tour de champs, qui permet de répertorier les espèces de la parcelle de façon exhaustive (Maillet, 1981). Elle consiste à « parcourir la parcelle dans différentes directions jusqu'à ce que la découverte d'une espèce nouvelle nécessite un parcours important » (Le Bourgeois, 1993). Cette technique permet de tenir compte d'espèces rares mais de grande importance d'un point de vue agronomique, notamment les espèces à extension rapide ou les espèces indicatrices de certaines caractéristiques du milieu (Maillet, 1981). Ces inventaires ont démarré 15 jours après semis et se sont poursuivis selon une périodicité de 15-20 jours jusqu'à la récolte. La technique de relevé floristique utilisée est celle du « tour de champ », qui consiste à parcourir la parcelle dans différentes directions (Maillet, 1981 ; Chicouène, 2000).

L'identification des espèces a été effectuée à l'aide :

- des flores (Hutchinson *et al.*, 1958 ; Berhaut, 1967, 1971-1991 ; Merlier *et* Montégut, 1982; Le Bourgeois & Merlier, 1995) ;
- des travaux du Laboratoire de Botanique et Biodiversité (LBB) du Département de Biologie Végétale de la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) : (Noba *et* Bâ, 1992 ; Noba *et al.*, 1994, 2004 ; Noba, 2002 ; Sambou, 2000 ; Mbaye *et al.*, 2001 ; Sarr *et al.*, 2007 ; Bassène, 2008) ;
- des échantillons de l'Herbier de Dakar.

Les espèces qui n'ont pas pu être déterminées immédiatement ont été mises sous presse et déterminées au CRZ de Kolda et à l'herbier de Dakar.

La nomenclature employée est celle de Lebrun & Stork (1966) et est basée sur la classification APGIII (2009) pour la répartition des familles.

3.2.2. Exploitation des données

Les données recueillies ont été analysées selon des approches qualitative et quantitative. L'analyse floristique qualitative a permis de dresser la liste des espèces à partir du croisement des différentes relevées effectuées dans les parcelles de sorgho. Le traitement des données a

commencé par l'identification des espèces indéterminées et dont un code provisoire a été attribué auparavant. Ensuite, l'analyse de la structure de la flore a été faite.

Pour analyser la flore adventice, il a été élaboré les spectres, taxonomique, biologique et chorologique.

✓ **Le spectre taxonomique**

Pour chaque espèce recensée et identifiée, son nom scientifique (nom de genre + épithète spécifique) et sa famille lui sont attribués. Ainsi, le nombre total, des espèces, des genres et des familles de la flore adventice est connu.

✓ **Le spectre biologique**

Pour réaliser le spectre biologique, les espèces sont classées selon leur type biologique. Les types biologiques définissent à la fois le cycle de vie, le mode de reproduction et la taille de l'espèce. Ainsi, les espèces sont réparties dans les différents types biologiques en fonction de leurs cycles biologiques. La classification de Raunkier (1934), adaptée à la zone tropicale où la saison défavorable correspond à la saison sèche, sera utilisée (Trochain, 1966 ; Lebrun, 1966). Cette classification distingue 6 formes biologiques qui sont : les nanophanérophytes (P), les chaméphytes (C), les hémicryptophytes (H), les géophytes (G), les thérophytes (T) et les plantes parasites (Par).

- Les phanérophytes et nanophanérophytes qui sont représentées par des plantes (arbres, arbustes, arbrisseaux et lianes) dépassant 25 cm de hauteur ;
- les chaméphytes qui sont formées de sous-arbrisseaux, herbes et plantes subligneuses ne dépassant pas 25 cm de hauteur ;
- les hémicryptophytes qui regroupent des plantes basses à bourgeons pérennants situés au ras du sol ;
- les géophytes qui constituent des plantes dont les organes de conservation sont souterrains (rhizomes, bulbes, tubercules) ;
- les thérophytes sont des plantes annuelles qui passent la mauvaise saison à l'état de graine. Selon Merlier *et al.*, (1982), ce type biologique rassemble la plupart des adventices tropicales. Les plantes pérennes peuvent appartenir selon le cas, aux hémicryptophytes, aux chaméphytes, aux nanophanérophytes ou aux géophytes.

✓ **Le spectre chorologique**

Pour élaborer le spectre chorologique, les espèces sont classées selon leur origine géographique (Hutchinson & Dalziel, 1972 ; Berhaut, 1971-1991). Les types d'espèces suivantes ont été identifiées : les Espèces Africaines (Af), les Espèces Afro-américaines (Am), les Espèces Afro-américaines et Asiatiques (Am As), les Espèces Afro-asiatiques (As), les Espèces Afro-asiatiques et australiennes (Asu), les Espèces Afro-malgaches (M), les Espèces Afro-malgaches et asiatiques (Mas), les Espèces Afro-asiatiques-américaines-australiennes ou européennes (Masue) et les Espèces Pantropicales (Pt).

3.3. Résultats

3.3.1. Spectre taxonomique

Le Tableau 2 présente la liste des espèces recensées dans les parcelles de sorgho, leur famille, leur type biologique (T.B.) et leur répartition géographique (R.G.). La flore adventice du Sorgho en Haute Casamance est composée de 232 espèces appartenant à 138 genres et 43 familles. Cette flore est dominée par les dicotylédones qui renferment la majorité des espèces (72,4%), des genres (73,9%) et des familles (81,4%). Le reste de la flore soit 27,6% des espèces, 26,1% des genres et 18,6% des familles appartiennent aux monocotylédones (Tableau 3).

Tableau 2: Liste des espèces recensées dans les cultures de sorgho, leur famille, leur type biologique et leur répartition biogéographique

FAMILLE	ESPECE	T.B.	R.G.
ACANTHACEAE (D)	<i>Dicliptera paniculata</i> (Forssk.) I. Darbysh.	T	As
	<i>Monechma ciliatum</i> (Jacq.) Milne-Redh.	T	Af
AMARANTHACEAE (D)	<i>Achyranthes aspera</i> L.	T	Cosm
	<i>Alternanthera nodiflora</i> R. Br.	T	Amu
	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	T	Pt
	<i>Amaranthus viridis</i> L.	T	Pt
	<i>Celosia trigyna</i> L.	T	As
	<i>Pandiaka angustifolia</i> (Vahl) Hepper	T	Af
ANACARDIACEAE (D)	<i>Anacardium occidentale</i> L.	P	Am
	<i>Mangifera indica</i> Linn.	P	Cosm
APOCYNACEAE (D)	<i>Aclepiadoideae</i> <i>Calotropis procera</i> (Aiton) W.T. Aiton	P	As
	<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne.	P	Af
	<i>Apocynoideae</i> <i>Saba senegalensis</i> (A. DC.) Pichon	P	Pt
ARACEAE (M)	<i>Stylochaeton hypogaeus</i> Lepr.	G	Af
	<i>Stylochaeton lancifolius</i> Kotschy & Peyr.	G	Af
ASPARAGACEAE (M)	<i>Asparagus flagellaris</i> (Kunth) Baker	G	Af
	<i>Ledebouria sudanica</i> (A. Chev.) Burg	G	Af
ASTERACEAE (D)	<i>Acanthospermum hispidum</i> DC.	T	Pt
	<i>Blainvillea gayana</i> Cass.	T	Af
	<i>Cyanthillium cinereum</i> (L.) H. Rob.	T	Af
	<i>Eclipta prostrata</i> (Linn.) Linn.	T	Cosm
	<i>Pentanema indicum</i> (L.) Y. Ling	T	Af
	<i>Pseudoconyza viscosa</i> (Mill.) D'Arcy	T	Pt
	<i>Synedrella nodiflora</i> (L.) Gaertn.	T	As
<i>Vernonia galamensis</i> (Cass.) Less.	T	Af	
BIXACEAE (D)	<i>Cochlospermum tinctorium</i> Perr. ex A. Rich.	G	Af

FAMILLE	ESPECE	T.B.	R.G.
CAPPARIDACEAE (D)	<i>Crateva adansonii</i> DC.	P	As
CELASTRACEAE (D)	<i>Gymnosporia senegalensis</i> (Lam.) Loes.	P	Af
COLCHICACEAE (M)	<i>Gloriosa superba</i> L.	G	Af
COMBRETACEAE (D)	<i>Combretum apiculatum</i> Sond	P	Af
	<i>Combretum geitonophyllum</i> (Diels) Okafor	P	Af
	<i>Combretum nigricans</i> Lepr.	P	Af
	<i>Guiera senegalensis</i> J.F. Gmel.	P	Af
	<i>Terminalia macroptera</i> G. et Perr.	P	Af
COMMELINACEAE (M)	<i>Commelina benghalensis</i> L.	T	As
	<i>Commelina forskaolii</i> Vahl.	T	Mas
	<i>Commelina gambiae</i> (C.B. Clarke)	T	Mas
	<i>Floscopa glomerata</i> (Willd. ex Schult. & Schult. f.) Hassk	P	M
CONVOLVULACEAE (D)	<i>Ipomoea dichroa</i> (Roem. ex Sch.) Choisy	T	Asu
	<i>Ipomoea eriocarpa</i> R. Br.	T	Masu
	<i>Ipomoea heterotricha</i> F. Didr	T	Asu
	<i>Ipomoea involucrata</i> P. Beauv.	H	Af
	<i>Ipomoea pes-tigridis</i> L.	T	Asu
	<i>Ipomoea obscura</i> (L.) Ker Gawl.	T	Af
	<i>Ipomoea ochracea</i> (Lindl.) G. Don	T	Af
	<i>Ipomoea triloba</i> L.	T	Am
	<i>Ipomoea vagans</i> Bak.	T	Af
	<i>Jacquemonthia tamnifolia</i> (L.) Griseb.	T	Am
	<i>Merremia aegyptiaca</i> (L.) Urban.	T	Af
	<i>Merremia kentrocaulos</i> (C.B. Clarke) Rendle	T	Af
	<i>Merremia pinnata</i> (Hochst.) Hallier.	T	Af
CUCURBITACEAE (D)	<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Mansf.	T	Cosm
	<i>Cucumis melo</i> L.	T	As
	<i>Cucumis maderaspatanus</i> L.	T	Asu
	<i>Lagenaria vulgaris</i> seringe.	T	As
	<i>Luffa acutangula</i> Roxb.	T	As
CYPERACEAE (M)	<i>Bulbostylis barbata</i> (Rottb.) CB Clarke	T	Pt
	<i>Cyperus amabilis</i> Vahl.	T	Pt
	<i>Cyperus cuspidatus</i> Kunth.	H	Pt
	<i>Cyperus difformis</i> L.	T	Pt
	<i>Cyperus esculentus</i> L.	G	Cosm
	<i>Cyperus iria</i> L.	T	Pt
	<i>Cyperus rotundus</i> L.	G	Cosm
	<i>Cyperus sphacelatus</i> Rottb.	T	Pt
	<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl	H	Af
<i>Fimbristylis hispidula</i> (Vahl) Kunth	T	Af	

FAMILLE		ESPECE	T.B.	R.G.
		<i>Kyllinga squamulata</i> Thon.et Vahl.	T	Am As
		<i>Mariscus cylindristachyus</i> Steud.	T	Pt
		<i>Mariscus hamulosus</i> (M. Bieb.) Hooper	T	As
		<i>Mariscus squarrosus</i> (L.) C.B.Clarke	T	Pt
		<i>Pycreus flavescens</i> (L.) P. Beauv. ex Rchb.	T	Pt
DIOSCOREACEAE (M)	<i>Dioscoroideae</i>	<i>Dioscorea lecardii</i> Willd.	G	Af
	<i>Taccoideae</i>	<i>Tacca leontopetaloides</i> (L.) Kuntze	G	Af
EUPHORBIACEAE (D)		<i>Acalypha ciliata</i> Forssk.	T	As
		<i>Chrozophora senegalensis</i> (Lam.) A. Juss.	T	Af
		<i>Euphorbia convolvuloides</i> Hochst. ex Benth.	H	Pt
		<i>Euphorbia hirta</i> L.	T	Pt
		<i>Micrococca mercurialis</i> (L.) Bentham.	T	Af
FABACEAE (D)	<i>Caesalpinioideae</i>	<i>Cassia absus</i> L.	T	Af
		<i>Cassia rotundifolia</i> Pers.	T	Am
		<i>Cassia sieberiana</i> DC.	P	Af
		<i>Chamaecrista mimosoides</i> (L.) Greene	C	Af
		<i>Chamaecrista nigricans</i> (Vahl) Greene	T	Af
		<i>Senna obtusifolia</i> L.	C	Pt
		<i>Senna occidentalis</i> (L.) Link	T	Pt
		<i>Senna siamea</i> (Lam.) H.S. Irwin & Barneby	P	As
		<i>Piliostigma reticulatum</i> (OC.) Hochst.	P	Af
	<i>Piliostigma thonningii</i> (Schum.) M.-Readh.	P	Af	
	<i>Faboideae</i>	<i>Aeschynomene indica</i> L.	T	Pt
		<i>Alysicarpus ovalifolius</i> (Schumach.) Léonard	T	Pt
		<i>Alysicarpus rugosus</i> (Willd.) DC.	T	As
<i>Cajanus scarabaeoides</i> (L.) Thouars		H	Asu	
<i>Calopogonium mucunoides</i> Desv.		T	Af	
<i>Crotalaria comosa</i> Baker		T	Af	
<i>Crotalaria deightonii</i> Hepper		T	Pt	
<i>Crotalaria goreensis</i> Guill.et Perr.		T	Af	
<i>Crotalaria hyssopifolia</i> Klotzsch		T	Af	
<i>Crotalaria juncea</i> L.		T	As	
<i>Crotalaria retusa</i> L.	T	Pt		
<i>Desmodium hirtum</i> Guill. & Perr.	T	Af		
<i>Desmodium setigerum</i> (E. Mey.) Benth. ex Harv.	H	Af		
<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC.	T	Af		

FAMILLE	ESPECE	T.B.	R.G.
	<i>Indigofera arrecta</i> A. Rich.	T	Asu
	<i>Indigofera dendroides</i> Jacq.	T	Af
	<i>Indigofera hirsuta</i> L.	T	Amu
	<i>Indigofera diphylla</i> Vent.	T	Af
	<i>Indigofera macrocalyx</i> G. et Perr.	T	Af
	<i>Indigofera microcarpa</i> Desv.	H	Am
	<i>Indigofera pulchra</i> Willd.	T	Af
	<i>Indigofera nummulariifolia</i> (L.) Livera ex Alston	T	Af
	<i>Indigofera pilosa</i> Poir.	T	Af
	<i>Indigofera prieuriana</i> Guill. & Perr.	T	Af
	<i>Indigofera secundiflora</i> Poir.	T	Af
	<i>Indigofera senegalensis</i> Lam.	T	Af
	<i>Indigofera stenophylla</i> G. et Perr.	T	Af
	<i>Lablab purpureus</i> (L.) Sweet.	T	As
	<i>Macrotyloma daltonii</i> (Webb) Verdc.	T	Af
	<i>Macrotyloma stenophyllum</i> (Harms) Verdc.	T	Af
	<i>Rhynchosia minima</i> (L.) DC.	T	Am As
	<i>Sesbania pachycarpa</i> DC.	T	Asu
	<i>Stylosanthes fruticosa</i> (Retz.) Alston	T	Af
	<i>Tephrosia bracteolata</i> Guill. Et Perr.	T	Af
	<i>Tephrosia deflexa</i> Baker	T	Af
	<i>Tephrosia pedicellata</i> Back.	T	Af
	<i>Tephrosia platycarpa</i> G. et Perr.	T	Af
	<i>Vigna filicaulis</i> Hepper	T	Af
	<i>Vigna kirki</i> (Baker) J. B. Gillet.	T	Af
	<i>Vigna paludosa</i> Milne-Redh.	P	Af
	<i>Vigna racemosa</i> (G. Don) Hutch. et Dalz.	T	Af
	<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walpers	T	Af
	<i>Zornia glauchidiata</i> Reichb. ex DC	T	Pt
	<i>Acacia seyal</i> auct.	P	Af
Mimosoideae	<i>Dicrostachys cinerea</i> (L.) Wight et Am.	P	Af
	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) Benth.	P	As
HYPOXIDACEAE (M)	<i>Curculigo pilosa</i> (Schumacher et Thonn.) Engler (velu).	G	Af
ICACINACEAE (D)	<i>Icacina oliviformis</i> (Poir.) J. Raynal	G	Af
	<i>Hyptis spicigera</i> Lam.	T	Am As
	<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit.	T	Am As
LAMIACEAE (D)	<i>Leucas martinicensis</i> (Jacq.) R. Br.	T	Pt
	<i>Ocimum canum</i> Sims.	T	Amu
	<i>Vitex madiensis</i> Oliv	P	Pt

FAMILLE	ESPECE	T.B.	R.G.	
LOGANIACEAE (D)	<i>Strychnos innocua</i> Del.	P	Af	
	<i>Strychnos spinosa</i> Lam.	P	Af	
MALVACEAE (D)	<i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench	T	As	
	<i>Hibiscus cannabinus</i> Hook. F.	T	Af	
	<i>Hibiscus diversifolius</i> Jacq.	T	Af	
	<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	T	Af	
	<i>Sida alba</i> L.	T	Pt	
	<i>Sida linifolia</i> Juss. ex Cav.	T	Am	
	<i>Sida rhombifolia</i> L.	T	Pt	
	<i>Sida stipulata</i> Cav.	T	Pt	
	<i>Sida urens</i> L.	T	Pt	
	<i>Urena lobata</i> Linn.	H	Pt	
	<i>Sterculioideae</i>	<i>Sterculia setigera</i> Delile	P	Af
		<i>Walteria indica</i> L.	C	Pt
	<i>Tilioideae</i>	<i>Corchorus aestuans</i> L.	T	Pt
	<i>Corchorus olitorus</i> L.	T	Pt	
	<i>Corchorus tridens</i> L.	T	Asu	
	<i>Triumfetta pentandra</i> A. Rich.	T	Pt	
MELIACEAE (D)	<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	P	Pt	
MENISPERMACEAE (D)	<i>Cissampelos mucronata</i> A. Rich.	T	Af	
NYCTAGINACEAE (D)	<i>Boerhavia. diffusa</i> L.	T	Pt	
	<i>Boerhavia erecta</i> L.	T	Pt	
ONAGRACEAE (D)	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G. Don) Exell	T	Pt	
OROBANCHACEAE (D)	<i>Striga aspera</i> (Willd.) Benth.	Par	Mas	
	<i>Striga hermonthica</i> (Delile) Benth.	Par	Af	
PEDALIACEAE (D)	<i>Sesamum indicum</i> L.	T	Af	
	<i>Sesamum radiatum</i> Schum. Et Thonn.	T	As	
PHYLLANTHACEAE (D)	<i>Flueggea virosa</i> (Roxb. ex Willd.)	P	Asu	
	<i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn.	T	Pt	
PLANTAGINACEAE (D)	<i>Scoparia dulcis</i> L.	T	Pt	
	<i>Andropogon gayanus</i> Kunth.	H	Af	
	<i>Andropogon pseudapricus</i> Stapf.	T	Am	
	<i>Brachiaria deflexa</i> (Schumach.) C.E. Hubb. ex Robyns	T	Mas	
	<i>Brachiaria lata</i> (Schumach.) Hubb.	T	Pt	
	<i>Brachiaria ramosa</i> (L.) Stapf	T	As	
	<i>Brachiaria stigmatisata</i> Stapf.	T	Af	
	<i>Brachiaria villosa</i> (Lam.) A. Camus	T	Pt	
	<i>Brachiaria xantholeuca</i> (Hack) Stapf	T	Pt	
	<i>Cenchrus biflorus</i> Roxb.	T	As	
POACEAE (M)	<i>Chloris pilosa</i> Schum. & Thonn	T	As	

FAMILLE	ESPECE	T.B.	R.G.
	<i>Ctenium elegans</i> Kunth.	T	Af
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	H	Cosm
	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> Beauv.	T	Pt
	<i>Digitaria argillacea</i> (Hitchc. & Chase).	T	Pt
	<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	T	Pt
	<i>Digitaria exilis</i> (Kippist) Stapf	T	Af
	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	H	Cosm
	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	T	Pt
	<i>Eragrostis atrovirens</i> (Desf.) Trin ex Steud.	H	Af
	<i>Eragrostis aspera</i> (J.) Nees	T	As
	<i>Eragrostis ciliaris</i> (L.) R. Br.	T	Pt
	<i>Eragrostis tenella</i> (L.) P. Beauv. ex Roem. & Schult.	T	Af
	<i>Eragrostis tremula</i> Steud.	T	As
	<i>Hackelochloa granularis</i> (L.) Kuntze	T	Pt
	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Raeusch.	T	Pt
	<i>Ischaemum rugosum</i> Salisb.	T	As
	<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz.) P. Beauv.	T	Pt
	<i>Oryza sativa</i> L.	T	Pt
	<i>Panicum walense</i> Mez.	T	Asu
	<i>Panicum laetum</i> Kunth.	T	Af
	<i>Panicum maximum</i> L.	T	Af
	<i>Paspalum scrobiculatum</i> L.	H	Mas
	<i>Pennisetum glaucum</i> L.	T	Pt
	<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin.	T	Asu
	<i>Pennisetum polystachion</i> (L.) Schultes	T	Asu
	<i>Schizachyrium sanguineum</i> (Retz.) Alston	H	Pt
	<i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult.	T	Asu
POLYGALACEAE (D)	<i>Polygala arenaria</i> Willd.	T	Af
PORTULACACEAE (D)	<i>Portulaca oleracea</i> L.	T	Cosm
RHAMNACEAE (D)	<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	P	As
	<i>Diodia sarmentosa</i> Sw.	H	Pt
	<i>Kohautia confusa</i> (Hutch. & Dalziel) Bremek.	T	Af
	<i>Mitracarpus villosus</i> (Sw.) DC.	T	Am As
RUBIACEAE (D)	<i>Sarcocephalus latifolius</i> (J.E. Smith) Bruce.	C	Af
	<i>Spermacoce radiata</i> (DC.) Sieb. Ex Hiern.	T	Af
	<i>Spermacoce ruelliae</i> DC.	T	Af
	<i>Spermacoce stachydea</i> (DC.) Hutch. & Dalz.	T	Af

FAMILLE	ESPECE	T.B.	R.G.
	<i>Oldenlandia corymbosa</i> L.	T	Pt
	<i>Oldenlandia herbacea</i> (L.) Roxb.	T	Pt
RUTACEAE (D)	<i>Citrus aurantium</i> . L.	P	As
SOLANACEAE (D)	<i>Datura inoxia</i> Mill.	T	Cosm
	<i>Physalis angulata</i> L.	T	Cosm
SIMABOURACEAE (D)	<i>Quassia undulata</i> (Guill. & Perr.) D. Dietr.	P	Af
URTICACEAE (D)	<i>Laportea aestuans</i> (L.) Chew	T	Af
	<i>Clerodendrum capitatum</i> (Willd.) Schum. Et Thonn.	P	Af
	<i>Lantana Camara</i> L.	P	Pt
VITACEAE (D)	<i>Ampelocissus multistriata</i> (Baker) Planch.	H	Af
	<i>Cayratia gracilis</i> (Guill. & Perr.) Suess.	H	Af
	<i>Cissus aralioides</i> (Baker) Planch.	H	Af
	<i>Cissus palmatifida</i> (Baker) Planch.b	H	Af
	<i>Cissus populnea</i> Guill. & Perr.	H	Af

Tableau 3: Structure de la flore adventice des cultures de sorgho

Classe	Famille		Genre		Espèce	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Dicotylédones	35	81,4	102	73,9	169	72,4
Monocotylédones	8	18,6	36	26,1	64	27,6
Total	43	100	138	100	232	100

Importance des familles

Le Tableau 4 donne des indications sur l'importance relative des différentes familles répertoriées dans la zone d'étude. Cette flore est dominée par la famille des Fabaceae et celle des Poaceae qui renferment respectivement 24,1% et 15,9% des espèces recensées. Elles sont suivies par les Malvaceae (6,9%), les Cyperaceae (6,5%), les Convolvulaceae (5,6%), les Rubiaceae (3,9%), les Asteraceae (3,4%) et les Amaranthaceae (2,6%). Les familles des Combretaceae, des Cucurbitaceae, des Euphorbiaceae, des Lamiaceae et des Vitaceae sont représentées chacune par 5 espèces. Les Commelinaceae et les Apocynaceae font respectivement 1,7 et 1,3% de la flore tandis que les 28 autres familles restantes contribuent pour 17,2% de la flore et aucune d'elle n'excède guère 2 espèces.

Tableau 4: Importance des familles dans la flore adventice du Sorgho

Famille	Espèce	
	Nombre	Proportion (%)
Fabaceae (D)	56	24,1
Poaceae (M)	37	15,9
Malvaceae (D)	16	6,9
Cyperaceae (M)	15	6,5
Convolvulaceae (D)	13	5,6
Rubiaceae (D)	9	3,9
Asteraceae (D)	8	3,4
Amaranthaceae (D)	6	2,6
Combretaceae (D)	5	2,2
Cucurbitaceae (D)	5	2,2
Euphorbiaceae (D)	5	2,2
Lamiaceae (D)	5	2,2
Vitaceae (D)	5	2,2
Commelinaceae (M)	4	1,7
Apocynaceae (D)	3	1,3
Autres* (28 familles)	40	17,2
Total	233	100

*Autres= Ensemble des familles dont la contribution relative est inférieure à 1% de la flore.

3.3.2. Spectre biologique

L'analyse du spectre biologique (Tableau 5) a permis de noter que la flore adventice du sorgho en Haute Casamance est largement dominée par les thérophytes avec 69,8% des espèces recensées. Les espèces vivaces (phanérophytes, hémicryptophytes, géophytes et chaméphytes) font 29,3% de la flore cependant avec une nette prédominance des phanérophites (13,8%) et des hémicryptophytes (8,2%). Avec deux espèces répertoriées (*Striga hermonthica* et *Striga aspera*), les plantes parasites sont le type biologique le moins représenté dans la flore adventice du sorgho en Haute Casamance.

Tableau 5: Types biologiques des espèces recensées.

Type biologique	Nombre d'espèces	Proportion
Thérophytes	162	69,8
Phanérophytes	32	13,8
Hémicryptophytes	19	8,2
Géophytes	13	5,6
Chaméphytes	4	1,7
Parasites	2	0,9
Total	232	100

3.3.3. Spectre chorologique

L'essentiel de cette flore (69%) est constitué d'espèces d'origines africaines (44%) et pantropicales (25%). Les espèces afro-asiatiques (11,2%) sont aussi relativement bien représentées. Elles sont suivies par les espèces afro-asiatiques et australiennes (5,6%) et les espèces cosmopolites (4,7%). La présence des autres types chorologiques demeure faible et aucun d'eux n'atteint 5% de la flore (Tableau 6).

Tableau 6: Répartition biogéographique des espèces recensées

Type géographique	Nombre d'espèces	Proportion(%)
Espèces africaines (Af)	102	44,0
Espèces Pantropicales (Pt)	58	24,9
Espèces afro-asiatiques (As)	26	11,2
Espèces afro-asiatique et australiennes(Asu)	13	5,6
Espèces cosmopolites (Cosm)	11	4,7
Espèces afro-américaines (Am)	8	3,4
Espèces afro-américaines et asiatiques (Am As)	5	2,1
Espèces afro-malgaches et asiatiques (Mas)	5	2,1
Espèces afro-américaines et australiennes (Amu)	3	1,3
Espèces afro-malgaches (M)	1	0,4
Espèces afro-malgaches-asiatiques et australiennes (Masu)	1	0,4
Total	233	100

3.3.4. Variabilité floristique

3.3.4.1. Variabilité floristique en fonction des relevés

La matrice de 134 relevés et 232 espèces a été soumise à une Analyse Factorielle des Correspondances pour définir les différents groupements végétaux (Figure 5). Pour améliorer

la lisibilité du graphe seules les 30 espèces et les 20 lignes qui ont la meilleure qualité de représentation sont activés. L'analyse de la Figure 5 montre que les deux premiers axes expliquent environ 7,76% de la variance du nuage des points, dont 4,14% pour le premier axe ; le second axe expliquant 3,62% de la variabilité totale. L'agencement des relevés dans le plan factoriel principal montre une très nette séparation suivant l'axe II, de deux groupes de relevés. Le premier groupe G1 (abscisses positives) est formé des relevés effectués majoritairement dans les champs de case et est caractérisée par la présence des espèces telles que *Boerhavia erecta*, *Cassia occidentalis*, *Amaranthus spinosus*.... Un deuxième groupe s'écarte du côté négatif des axes 1 et 2. Il se distingue par la présence des espèces comme *Hackelochloa granularis*, *Digitaria argillaceae*, *Monechma ciliatum*. Ces espèces ont été essentiellement retrouvées dans les relevés effectués sur de nouvelles défriches. . Un troisième groupe d'espèces s'écartent sur le côté positif de l'axe 1 et rassemble des espèces comme *Cenchrus biflorus*, *Merremia pinnata*, *Setaria pumila*, *Cucumis melo* présentes majoritairement dans les relevés effectués dans les stations. Le facteur de variation semble être le milieu de culture. Pour déceler ces éventuelles liaisons une analyse factorielle des correspondances espèces/zone de culture a été appliquée.

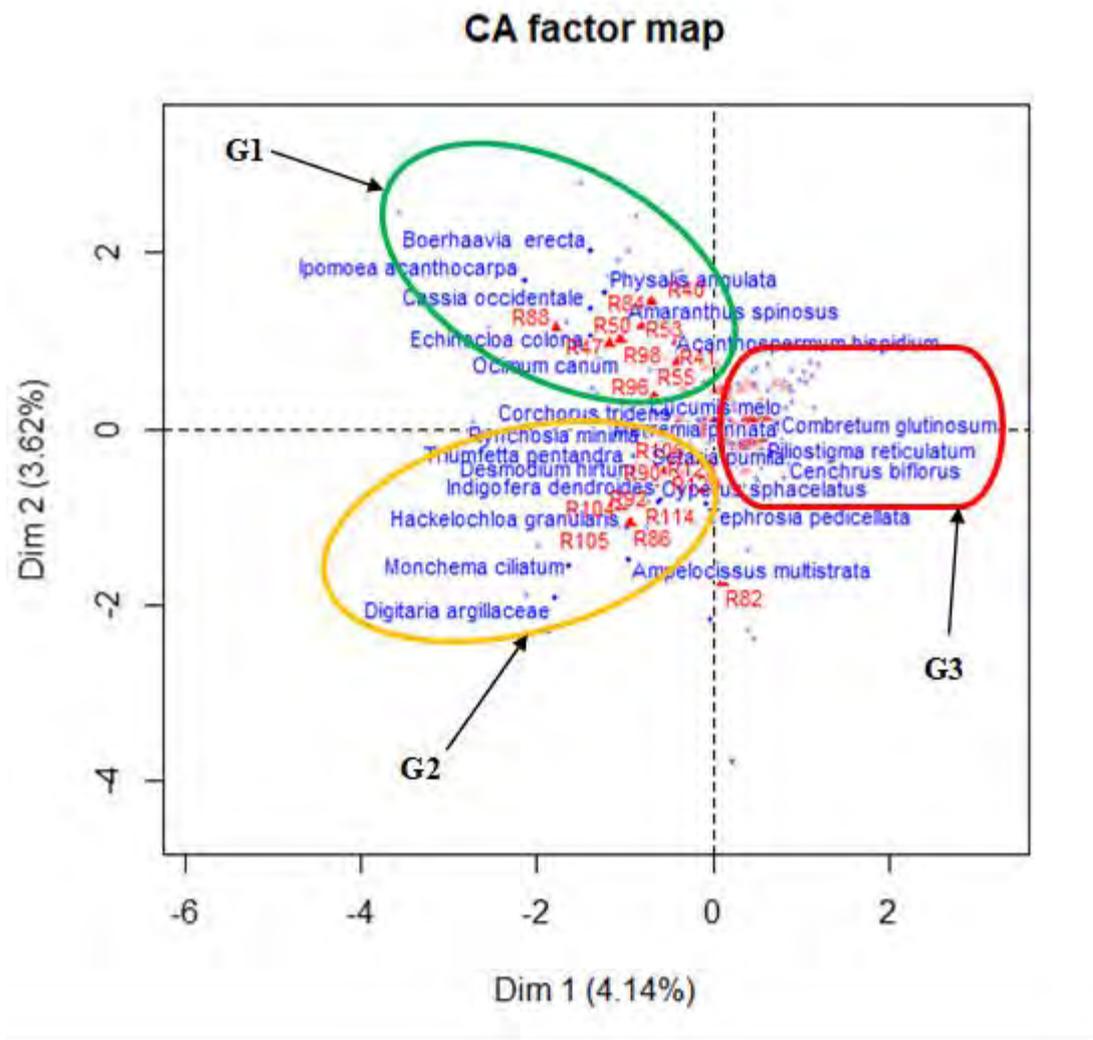


Figure 5: Matrice de répartition des espèces en fonction des relevés

3.3.4.2. Variabilité floristique en fonction des milieux de culture

Le traitement des données par l'Analyse Factorielle des Correspondances est réalisé à partir d'un tableau croisé de 232 espèces et 3 variables représentant le milieu de culture (Figure 6). L'information est concentrée sur les axes 1 et 2 qui expliquent 100% de l'inertie totale. Suivant l'axe 1, se différencient deux groupes d'espèces en fonction de la zone de culture. Un premier groupe d'espèces s'écartent sur le côté positif de l'axe 1 et rassemble des espèces présentes exclusivement où à occurrence élevée dans les relevés de stations (*Chrozophora senegalensis*, *Indigofera macrocalyx*, *Cissus palmatifida*, *Merremia aegyptiaca*, *Cyperus iria*...) qui sont associées au groupe à *Sida linifolia* et *Bulbostylis barbata*. L'abondance des petites cypéracées (*Cyperus amabilis*, *Cyperus cuspidatus*, *Mariscus hamulosus*...) dans les stations est une caractéristique de la dégradation des sols et une tendance à l'acidification.

Le Groupe à *Hackelochloa granularis* et *Tacca leontopetaloides*, située dans les ordonnées négatives de l'axe 1 rassemble majoritairement les espèces inféodées aux champs de brousse. On y retrouve des espèces à cycle long (*Schizachyrium sanguineum*, *Hyptis spicigera*), ombrophiles (*Tacca leontopetaloides*, *Triumfetta pentandra*) et sensibles aux perturbations profondes du milieu (*Dioscorea lecardii*, *Cochlospermum tinctorium*, *Euphorbia convolvuloides* ...).

Le groupe à *Physalis angulata* et *Amaranthus spinosus* s'écarte du côté positif de l'axe 2. Les espèces comme *Amaranthus viridis*, *Acanthospermum hispidum*, *Diodia sarmentosa*, *Echinochloa colona*, *Ipomoea pes-tigridis* sont retrouvées dans ce groupe qui rassemble des espèces inféodées aux champs situés au voisinage immédiat des habitations.

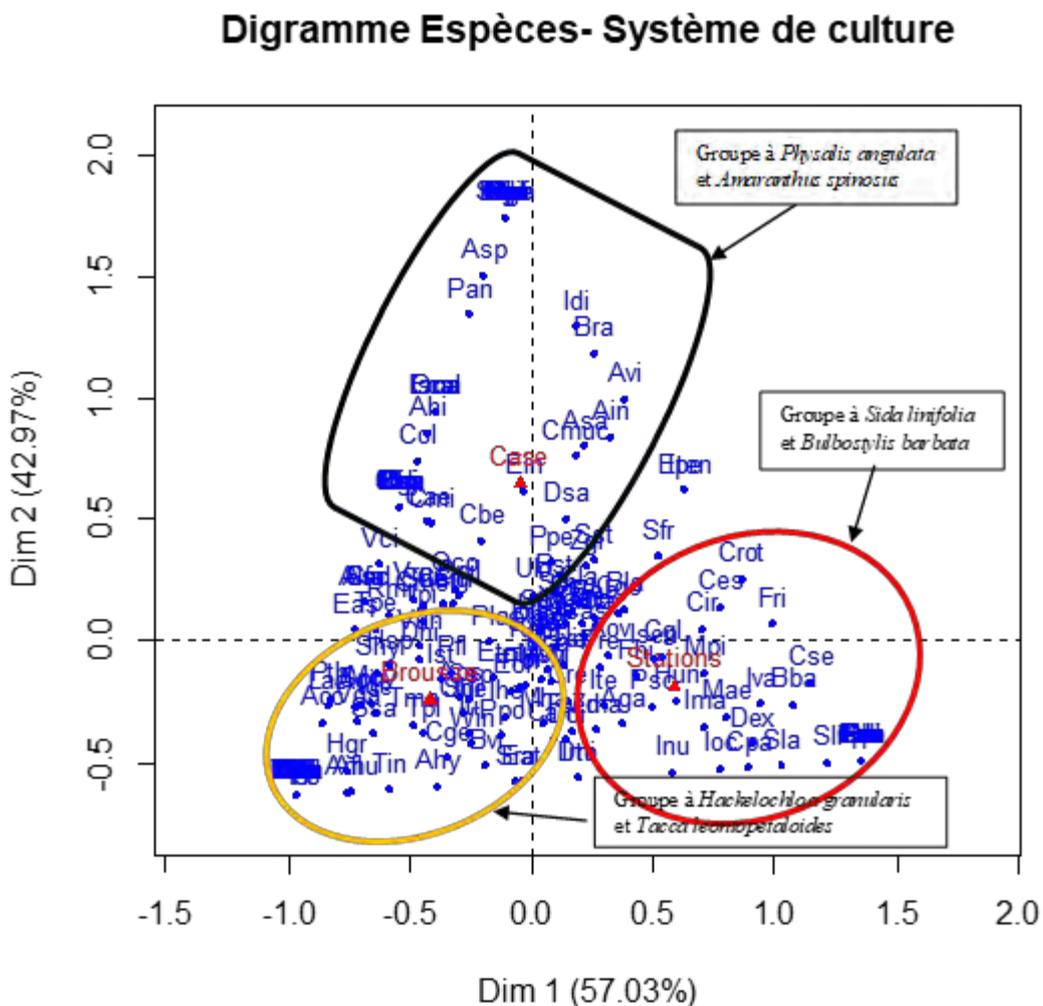


Figure 6: Diagramme des espèces en fonction du système de culture

3.4. Discussion

Ce travail de caractérisation de la flore adventice du sorgho en Haute Casamance a permis de recenser 232 espèces adventices, appartenant à 138 genres et 43 familles. Cette flore est plus diversifiée que la flore adventice des cultures vivrières dans le Sud du Bassin arachidier (Noba *et al.*, 2004), la flore des cultures d'oignons dans la zone péri-urbaine de Dakar (Sarr *et al.*, 2007) et la flore adventice du maïs dans le Sud du Bassin arachidier (Bassène, 2014) aussi bien au niveau des espèces des genres que des familles. En effet, la flore adventice des cultures vivrières regroupe 125 espèces, 81 genres et 31 familles, celle des cultures d'oignons est constituée de 131 espèces réparties en 88 genres et 34 familles et la flore du maïs est composée de 128 espèces, 65 genres et 25 familles. La richesse de la flore adventice du sorgho pourrait s'expliquer par les conditions agroécologiques du milieu. En effet, la Haute Casamance fait partie de la zone subhumide du Sénégal, caractérisée par un climat soudano-guinéen et un régime de pluies relativement abondantes (Koïta & Bodian, 2000 ; Kanfany, 2008). C'est ainsi qu'on retrouve dans cette zone un certain nombre d'espèces caractéristiques des zones humides telles que *Curculigo pilosa*, *Mariscus cylindristachyus*, *Tacca leontopetaloides*, *Ludwigia hyssopifolia*... (Le Bourgeois & Merlier, 1995). Cette forte diversité végétale observée s'explique aussi par le fait que la culture du sorgho en Haute Casamance est souvent pratiquée sur de nouvelles défriches dont les sols sont argileux. Or, si la diversité végétale s'appauvrit sur sol sableux, elle a tendance à augmenter sur sols argileux (Donfack *et al.*, 2000).

Cette flore est dominée par les dicotylédones qui représentent la majorité des familles (81,4%), des genres (73,9%) et des espèces (72,7%). Cette dominance des dicotylédones sur les monocotylédones est aussi observée au niveau de la flore adventice des cultures pluviales dans le Sud du Bassin Arachidier (Noba *et al.*, 2004 ; Mbaye, 2013 ; Bassène, 2014) et de la flore adventice de la zone des Niayes (Sarr *et al.* 2007) cependant à des proportions moindres. En outre, la flore adventice du sorgho en Haute Casamance est dominée par la famille des Fabaceae suivie de celle des Poaceae qui occupent respectivement 24,2% et 15,6% des espèces répertoriées. Le succès des Fabaceae dans cette flore est à relier à la longévité de leurs graines qui peuvent rester viable très longtemps dans le sol tandis que l'importance des Poaceae est surtout due à leur forte capacité de production de graines même en conditions défavorables (Baskin, 1998 ; Costa & Mesquita, 2015). En effet, ces Poaceae sont constituées essentiellement de thérophytes qui représentent le stade ultime de l'adaptation aux perturbations de l'agrosystème (Fenni, 2003).

Contrairement au Sud du Bassin Arachidier et dans les Niayes, il ressort de l'analyse de cette flore que les Fabaceae dominent les Poaceae dans cette zone. Et selon Traoré (1991) l'augmentation de la pluviométrie du Nord au Sud de même que l'amélioration de la richesse chimique des sols favorise les dicotylédones au détriment des monocotylédones. La situation de cette zone entre les isohyètes 800-1200 mm serait donc à l'origine de la prédominance des Fabaceae sur les Poaceae. *C'est d'ailleurs dans cette famille qu'on retrouve le *Cassia rotundifolia*, une espèce qui n'a pas encore été décrite dans la flore du Sénégal.* De plus, la richesse spécifique de cette flore adventice est plus élevée que celle des cultures vivrières dans le Sud du Bassin arachidier (Noba *et al.*, 2004 ; Mbaye, 2013 ; Bassène, 2014) au niveau de l'ensemble des familles dominantes.

En outre, l'utilisation de la classification APGIII a renforcé la diversité de certaines familles comme les Malvaceae avec le reversement des *Tiliaceae* et des *Sterculiaceae* mais aussi appauvrit certaines familles comme les Euphorbiaceae avec la création de la famille des Phyllanthaceae.

Il ressort de l'analyse du spectre biologique que la plupart des espèces sont des thérophytes (69,8%) qui avec les deux espèces parasites (*Striga hermonthica* et *Striga aspera*) représentent les plantes annuelles. La dominance des thérophytes s'explique par leur adaptation aux écosystèmes agraires (Loudya *et al.*, 1995). Elles ont un cycle de vie très court, parfois de quelques semaines comme chez les espèces du genre *Corchorus* (Mbaye *et al.*, 2001) et *Eragrostis* (Sambou, 2000). Ce cycle de vie est synchrone avec celui des cultures pluviales annuelles de la zone avec lesquelles elles forment la même cohorte (Traoré, 1991 ; Noba *et al.*, 2004). Cependant, cette proportion des thérophytes est plus faible que celle observée dans la flore adventice des cultures vivrières dans le Sud du Bassin arachidier et dans la flore adventice du maïs où les thérophytes représentent respectivement 85,6% et 89,1% des espèces recensées. Ceci s'explique par le fait que la proportion des thérophytes est d'autant plus faible qu'on va des zones plus sèches vers les zones plus humides (Négre, 1966 ; Traoré 1991). Les phanérophytes aussi occupent une place relativement importante dans la flore adventice en Haute Casamance. D'ailleurs, certaines familles comme celle des Combretaceae et la sous-famille des *Mimosoideae* sont exclusivement constituées de Phanérophytes qui sont devenues des adventices et seraient probablement des reliques de la végétation secondaire (Trochain, 1940 ; Noba, 2004). Cette situation suggérerait une savanisation progressive de la végétation due aux effets conjugués des facteurs climatiques et anthropiques et qui se traduit par la disparition des arbres et la formation d'un tapis discontinu

d'espèces herbacées parsemées de quelques arbustes (Trochain, 1940 ; Noba, 2004). L'importance des géophytes est due à la fois à la multiplicité de leur mode de reproduction et aux pratiques culturales. Ces géophytes ont des modes de reproduction végétative sous forme de tubercule (*Ipomoea pes-caprae*) ou de bulbe (*Ledebouria sudanica*) qui leur permet de se maintenir dans les champs même après les opérations culturales (Traoré, 1991). Chez *Cyperus rotundus*, chaque fragment de rhizomes ou de stolons, multipliés par sectionnement, donne une nouvelle plante, de même que chaque tubercule isolé de ses voisins (Le Bourgeois et Marnotte, 2002).

Au plan biogéographique, les espèces africaines (44%) sont les plus importantes dans les cultures de Sorgho et forment avec les espèces pantropicales 69% de la flore. La dominance des espèces africaines par rapport à la flore adventice des cultures vivrières dans le Sud du Bassin Arachidier (Noba *et al.*, 2004), la flore adventice de l'oignon dans les Niayes (Sarr *et al.*, 2007) et de la flore adventice du maïs (Bassène, 2014) semble être liée à la continentalité du milieu qui est tropical et semi-aride donc favorable au développement des espèces strictement africaines. L'importance des espèces pantropicales s'explique par la position géographique du Sénégal et à l'introduction croissante de culture comme l'arachide, le coton, le sésame... jadis absente. Le reste de la flore est essentiellement constitué par des espèces afro-asiatiques, des espèces afro-asiatiques et australiennes et des espèces cosmopolites. La présence de ces groupes serait le résultat de l'uniformisation de l'espace cultural avec les échanges de matériels entre continents (Traoré, 1991).

Les résultats de l'analyse factorielle des correspondances nous ont conduits à dégager trois groupements distincts de la flore adventice du sorgho. Les facteurs déterminants cette hétérogénéité relèvent d'une part, de facteurs abiotiques, essentiellement l'eau, la nature des sols et d'autre part, de facteurs anthropiques liés surtout aux conditions de l'agrosystème (parcage d'animaux, nouvelles défriches, travail du sol...). Ainsi, le Groupe à *Physalis angulata* et *Amaranthus spinosus* caractérise les champs de case et est constitué en majorité d'espèces très nitrophiles. Cette situation est due au fait que les champs de case sont les zones de rejet des ordures ménagères et de parcage du bétail en saison sèche. D'ailleurs, parmi ces espèces figure, le *Amaranthus spinosus* qui n'est abondante que dans les champs de case à forte fumure organique, malgré qu'elle soit maintenue dans les parcelles, car ses feuilles sont très utilisées dans l'alimentation humaine (Le Bourgeois & Merlier, 1995). Dans le groupe à *Hackelochloa granularis* et *Tacca leontopetaloides*, on retrouve des espèces inféodées aux champs nouvellement défrichés comme *Euphorbia convolvuloides* ou récemment remises en

culture après une jachère (*Digitaria argillacea*). Les moyens rudimentaires des paysans expliquent l'abondance des grands arbres parsemés de reliques surtout de Combretaceae dans les champs de brousse. Ainsi, les espèces qui sont inféodés à ces grands arbres soit comme support (*Dioscorea lecardii*) où ombrophiles (*Tacca leontopetaloides*, *Triumfetta pentandra*, ...) se maintiennent dans le paysage agricole. Dans le groupe à *Sida linifolia* et *Bulbostylis barbata*, on rencontre essentiellement des espèces caractéristiques de sols dégradés. En effet, parmi les espèces répertoriées dans les relevés de stations, on retrouve *Bulbostylis barbata* et *Cyperus esculentus* qui se développent généralement dans des sols dégradés, pauvres en matières organiques et au pH acide (Le Bourgeois & Merlier, 1995). Or, ces stations subissent aujourd'hui une surexploitation aussi bien du milieu de la Recherche que des populations autochtones du fait de leur proximité des grandes agglomérations. Dès lors, l'apport intensif de l'engrais chimique au détriment d'un temps de repos (jachère) tend à acidifier les sols et à favoriser l'installation d'une flore caractéristique des milieux fortement dégradés.

3.5. Conclusion

Ce travail avait pour objectif de caractériser la flore adventice du sorgho en Haute Casamance en déterminant les spectres taxonomique, biologique et chorologique des espèces. Il ressort de cette étude que la flore adventice du sorgho est constituée de 232 espèces, réparties dans 138 genres et 43 familles. Dans cette flore, les dicotylédones sont majoritaires avec 72,4% des espèces recensées contre 27,6% de monocotylédones. En outre, deux (2) familles sont dominantes dans cette flore et regroupent 40% des espèces répertoriées : il s'agit des Fabaceae (24,1%), des Poaceae (15,9%). L'étude du spectre biologique a permis de révéler que les thérophytes sont largement majoritaires dans les cultures de sorgho en Haute Casamance avec 69,8% de la flore adventice. Quant aux espèces vivaces ou pluriannuelles, elles représentent 29,3% de la flore et sont réparties entre les Phanérophytes, les Hémicryptophytes, les Géophytes et les Chaméphytes. Par ailleurs, il ressort de l'analyse du spectre chorologique que les espèces africaines et pantropicales sont majoritaires avec respectivement 44% et 25% des espèces recensées.

Il ressort de l'analyse factorielle des correspondances l'existence de trois groupes d'espèces caractéristiques des zones de culture (bordure des villages, champs de brousse et champs de stations). Certaines espèces hautement nitrophiles (*Amaranthus spinosus*, *Portulaca oleracea*, *Boerhavia diffusa*, *Echinochloa colona*...) sont essentiellement localisées dans les champs de case tandis que les espèces caractéristiques des milieux dégradés sont abondamment retrouvées en milieu semi-contrôlé (*Bulbostylis barbata*, *Cyperus iria*, *Chrozophora senegalensis*...). Les champs de brousse sont caractérisés par la présence des espèces sensibles aux perturbations de leur habitat, des espèces à cycle long et des espèces ombrophiles. Les espèces telles que *Dioscorea lecardii*, *Hackelochloa granularis*, *Tacca leontopetaloides*, *Euphorbia convolvuloides*, *Schizachyrium sanguineum* sont essentiellement retrouvées dans les champs de brousse.

CHAPITRE IV: IMPORTANCE AGRONOMIQUE DES ESPECES DE LA FLORE DU SORGHO

4.1. Introduction

Le sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) est une céréale qui a été domestiquée en Afrique. Il est bien adapté aux régions tropicales semi-arides en raison de sa rusticité et de ses besoins modérés en eau. Cependant, les contraintes biotiques comme les adventices sont un frein à l'augmentation de la production du sorgho. Des études récentes ont montré qu'elles peuvent occasionner entre 15 et 97% de chute de rendement (Arslan *et al.*, 2016). Cependant, ces pertes de production dépendent de la variété, du cortège floristique, de l'infestation, de la durée de l'enherbement et des conditions écologiques (Tamado *et al.*, 2002). Néanmoins, il est admis que chaque semaine d'infestation se traduit par 3,6% de perte de rendement (Smith *et al.*, 1990).

Les dépenses dues à la lutte contre les mauvaises herbes sont estimées à plus de 35% des dépenses agricoles (Kumar *et al.*, 2013) et l'usage d'herbicides restent relativement faibles à cause de leurs coûts souvent élevés dans des zones où près de 70% de la population vivent en dessous du seuil de pauvreté (ANSD, 2014). De plus, la gamme d'herbicide est restreinte chez le sorgho surtout en post-levée. La plupart des herbicides sont efficaces contre les adventices à feuilles larges alors que leur action est très limitée sur les graminées. Or, l'essentielle des études menée dans les zones soudano sahélienne d'Afrique (Le Bourgeois, 1993 ; Takim & Amodu, 2013 ; Osawaru *et al.*, 2014 ; Ahonon *et al.*, 2018 ; Amegnaglo *et al.*, 2018) et au Sénégal (Noba *et al.*, 2004 ; Sarr *et al.*, 2007 ; Bassène *et al.*, 2014) montre une dominance des poacées dans la composition floristique.

Au Sénégal et plus particulièrement en Haute Casamance, les méthodes de désherbage sont essentiellement manuelles. Ces stratégies s'avèrent pour la plupart inefficaces et consommatrices en main d'œuvre. Pourtant, une connaissance de la nature de la flore, de l'importance de l'infestation et de la période optimale d'intervention peuvent concourir à une augmentation de la production (Swanton & Weise, 1991 ; Zidane *et al.*, 2010). La connaissance de ces aspects permettra la mise en œuvre de stratégies de lutte efficaces et surtout accessibles aux producteurs et de mieux appréhender le fonctionnement des communautés de mauvaises herbes et de déterminer les facteurs écologiques et agricoles responsables de leur prolifération (Mangara *et al.*, 2010). Faisant suite à l'étude de la flore, ce travail se propose d'aborder l'étude de la végétation du sorgho sous son aspect agronomique à travers le degré d'infestation et l'indice partiel de nuisibilité des espèces.

4.2. Méthodologie

Des relevés phytosociologiques ont été effectués lors des saisons culturales de 2015, 2016 et 2017 en Haute Casamance. Pour chaque relevé, les espèces présentes sont répertoriées et des codes d'abondance-dominance leur sont affectées (Tableau 7) selon l'échelle modifiée de Braun-Blanquet à 7 niveaux (Le Bourgeois, 1993 ; Lebreton et Le Bourgeois, 2005).

Tableau 7: Echelle de Braun-Blanquet

Code	Signification
5	Recouvrement de plus de 3/4 de la surface prospectée
4	Recouvrement entre 1/2 au 3/4 de la surface prospectée
3	Recouvrement entre 1/4 à la 1/2 de la surface prospectée
2	Recouvrement d'au moins 5% de la surface prospectée
1	Recouvrement inférieur à 5% de la surface
+	Individus très peu nombreux avec un recouvrement insignifiant
r	Individus rares ou isolés

4.2.1. Le degré d'infestation

L'étude de l'infestation est réalisée par le positionnement des espèces sur un graphique où sont portés en abscisse les fréquences relatives des espèces et en ordonnée leurs indices d'abondance/dominance moyen (Traoré & Maillet, 1992 ; Le bourgeois & Guillerm, 1995).

A partir des relevés, les éléments suivants sont calculés :

- La fréquence relative (FR) ou distribution d'une espèce dans le peuplement représente le pourcentage des relevés où l'on rencontre l'espèce (Godron, 1968) ;

$$FSC_i \% = \frac{n_i \times 100}{N}$$

- L'indice d'abondance/dominance moyen (Adm), calculé par rapport au nombre de relevés dans lesquels l'espèce est présente (Le Bourgeois, 1993).

Pour le calcul de cet indice (Adm), les codes semiquantitatifs d'abondance/dominance (AD) de l'échelle de BRAUN-BLANQUET sont rendus quantitatifs (AD num.) à l'aide d'une table de correspondance (Gillet, 2000).

Tableau 8:Correspondance entre le code d'abondance dominance (AD code), l'indice quantitatif d'abondance-dominance (AD num.) et le recouvrement moyen, minimum et maximum (Gillet, 2000).

AD code	AD num	Rec moy.	Rec min.	Rec. max
R	0,1	0,03	0	0,1
+	0,5	0,3	0,1	1
1	1	3	1	5
2	2	14	5	25
3	3	32	25	50
4	4	57	50	75
5	5	90	75	100

L'étude de l'infestation rend compte de l'importance agronomique des espèces et permet de distinguer :

- ✓ **les adventices majeures générales** qui sont à la fois fréquentes ($fr > 0,5$) et abondantes ($A/Dmoy. > 1,25$) ; ce sont les espèces les plus nuisibles de la région ;
- ✓ **les adventices potentielles générales** ; elles sont fréquentes, d'abondance moyenne ($0,75 < A/Dmoy. < 1,25$) ; ce sont des espèces très ubiquistes mais leurs infestations sont généralement moindres que celles des adventices majeures générales ;
- ✓ **les adventices générales** sont des espèces fréquentes mais jamais abondantes ($A/Dmoy. < 0,75$) ; ces espèces, ubiquistes, se rencontrent dans presque tous les milieux
- ✓ **les adventices majeures régionales** sont abondantes et moyennement fréquentes ($0,2 < fr < 0,5$), à amplitude écologique large ;
- ✓ **les adventices potentielles régionales** ont une amplitude écologique moyenne ($0,2 < Fr < 0,5$) et leur abondance peut être régulièrement moyenne ($0,75 < A/Dmoy < 1,25$) ;
- ✓ **les adventices régionales** ont une amplitude écologique moyenne ($0,2 < Fr < 0,5$) avec une abondance faible ($A/Dmoy < 0,5$) ; elles ne constituent pas, pour la plupart, une contrainte agronomique ; elles peuvent, par contre, servir d'indicatrices écologiques régionales ;

- ✓ **les adventices majeures locales** sont peu fréquentes, mais localement très abondantes, ayant une amplitude écologique étroite ;
- ✓ **les adventices potentielles locales** ; ces espèces ont une amplitude écologique très étroite (2) et présentent ponctuellement des indices d'abondance moyens ($0,75 < A/D_{moy} < 1,25$). $Fr < 0$,
- ✓ **les adventices mineures** sont peu fréquents et peu abondantes ; ce sont des espèces rares, étrangères ou pionnières.

4.2.2. L'Indice Partiel de Nuisibilité

Pour évaluer la nuisibilité des adventices, l'Indice Partiel de Nuisibilité (IPN) a été déterminé selon la formule suivante : $IPN = \text{Somme des recouvrements moyens de l'espèce} * 100 / \text{Fréquence absolue}$ (Zidane *et al.*, 2010). Dans cette étude, les espèces ayant une fréquence relative inférieure à 20% ne sont pas prises en compte.

Tableau 9: Transformation de l'abondance–dominance en pourcentage de recouvrement moyen (Gounot, 1969).

Indice d'abondance-dominance	Classe de recouvrement	Recouvrement moyen (%)
5	75-100	87,5
4	50-75	67,5
3	25-50	37,5
2	10-25	17,5
1	1-10	5,5
+	0-1	0,5

4.3. Résultats

4.3.1. Degré d'infestation des espèces

Les différentes espèces recensées dans les parcelles cultivées posent des problèmes d'enherbement dont l'ampleur est estimée par le potentiel de nuisibilité. Le diagramme d'infestation permet de classer ces espèces en fonction de leur degré de nuisibilité (Figure 7). Son analyse a mis en évidence huit groupes d'espèces. Les différents groupes représentés sont les adventices majeures générales, les adventices potentielles générales, les adventices générales, les adventices potentielles régionales, les adventices régionales, les adventices majeures locales, les adventices potentielles locales et les adventices mineures. Le Tableau 10 donne un exemple de classification de certaines espèces dans leur groupe respectif.

Les adventices majeures générales (G1) : ce sont les espèces les plus infestantes dans les cultures de sorgho. Ce groupe est représenté par quatre espèces (*Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Spermacoceae stachydea* et *Mariscus squarrosus*) rencontrées dans plus de 50% des parcelles avec des recouvrements entre 5 et 25% de la surface parcellaire. Parmi ces espèces, *Digitaria horizontalis* est l'espèce la plus infestante car répertoriée dans près de 90% des parcelles et un abondance-dominance moyen élevé ($ADm=1,73$).

Les adventices potentielles générales (G2) : Ce groupe est formé par des espèces qui se rencontrent dans la majorité des parcelles ($Fr > 50\%$) mais leur recouvrement est généralement faible où très localisé quand elle est importante. Les espèces *Mitracarpus villosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Kyllinga squamulata*, *Commelina benghalensis* et *Fimbristylis hispidula* forment ce groupe.

Les adventices générales (G3) : Ce groupe est formé d'espèces constantes mais avec recouvrement généralement faible. Ce groupe est formé de 6 espèces dont quatre malvacées (*Hibiscus cannabinus*, *Corchorus tridens*, *Sida rhombifolia* et *Urena lobata*) une fabacée (*Senna obtusifolia*) et une Convolvulaceae (*Ipomoea eriocarpa*).

Les adventices potentielles régionales (G5) : Ce groupe est constitué à amplitude écologique moyenne et un recouvrement moyen. Dans la flore du sorgho en Haute Casamance, cinq espèces (*Pennisetum pedicellatum*, *Cyperus amabilis*, *Cyperus cuspidatus*, *Acanthospermum hispidium* et *Oldenlandia corymbosa*) appartiennent à ce groupe.

Les adventices régionales (G6) : Ce groupe renferme des espèces à amplitude écologique moyenne ($25\% < Fr < 50\%$) et dont le recouvrement est relativement faible ($Admoy < 0,75$).

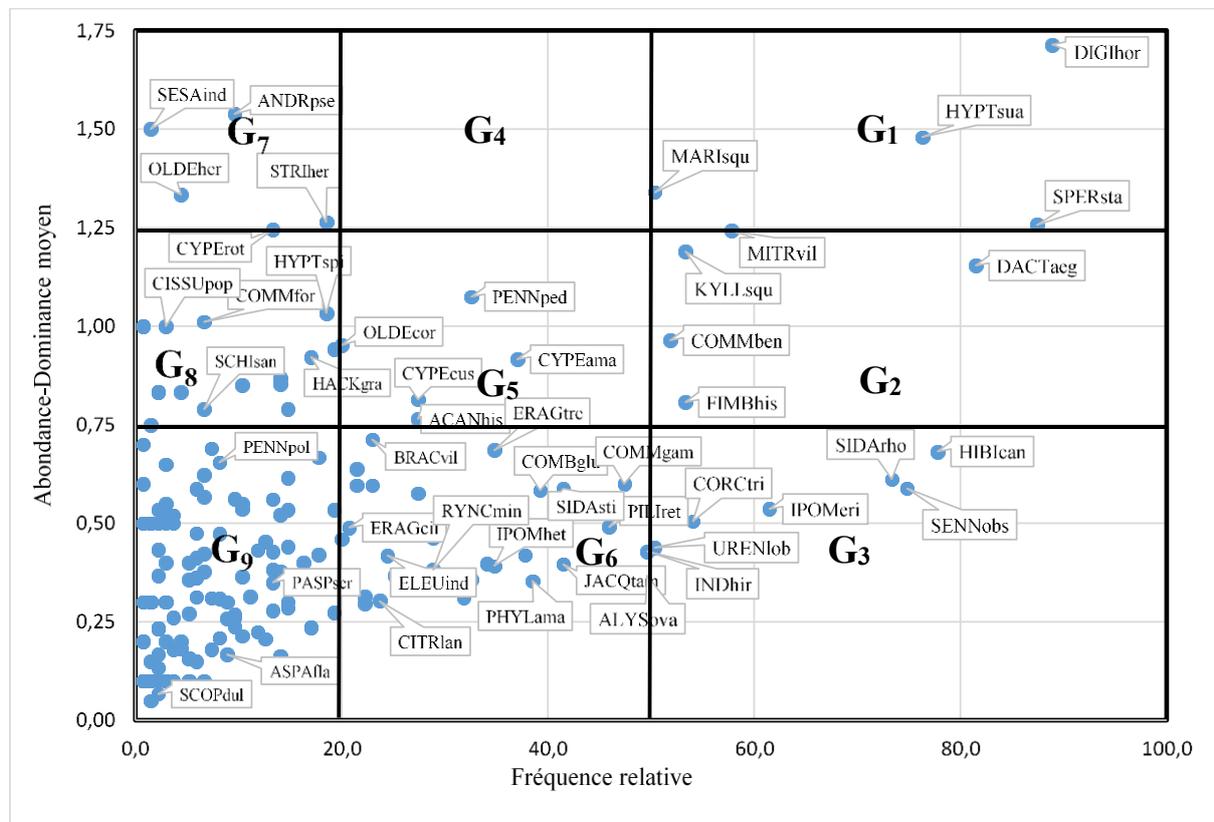
Ce groupe est composé de 28 espèces dont : *Brachiaria villosa*, *Phyllanthus amarus*, *Acanthospermum hispidium*, *Commelina gambiae*...

Les adventices majeures locales (G7) : Ce sont des espèces peu fréquentes mais leur recouvrement est très élevé (Admoy>0,75). Ce groupe est formé de quatre espèces (*Andropogon pseudapricus*, *Sesamum indicum*, *Oldenlandia herbacea* et *Striga hermonthica*).

Les adventices potentielles locales (G8) : Ce groupe renferme vingt-huit espèces dont *Cyperus rotundus*, *Hyptis spicigera*, *Cissus populnea* et *Hackelochloa granularis*. Ces espèces n'ont été rencontrées que dans de rares parcelles mais où elles se révèlent très abondantes.

Les adventices mineures (G9) : Ce groupe renferme des espèces à fréquence et à recouvrement faibles. Leur nombre (162 espèces, soit 69,5% de la flore) ne nous permet pas de les détailler ici.

Le groupe **G4** qui correspond aux **adventices majeurs régionales** ne compte aucun représentant dans cette flore.



Les lettres représentent les noms des espèces (en majuscule, les 4 premières lettres des genres et en minuscule, les trois premières lettres des épithètes d'espèces).

Figure 7: Degré d'infestation des espèces de la flore

Tableau 10: Répartition des adventices du sorgho en fonction de leur potentiel d'infestation

GROUPE	ESPECE ADVENTICE
Groupe 1 majeure générale (4 espèces)	<i>Digitaria horizontalis</i> <i>Hyptis suaveolens</i> <i>Mariscus squarrosus</i> <i>Spermacoce stachydea</i>
Groupe 2 potentielles générales (5 espèces)	<i>Mitracarpus villosus</i> <i>Dactyloctenium aegyptium</i> <i>Kyllinga squamulata</i> <i>Commelina benghalensis</i> <i>Fimbristylis hispidula</i>
Groupe 3 générales (6 espèces)	<i>Hibiscus cannabinus</i> <i>Sida rhombifolia</i> <i>Senna obtusifolia</i> <i>Corchorus tridens</i> <i>Ipomoea eriocarpa</i> <i>Urena lobata</i>
Groupe 5 potentielles générales (5 espèces)	<i>Pennisetum pedicellatum</i> <i>Cyperus amabilis</i> <i>Cyperus cuspidatus</i> <i>Acanthospermum hispidium</i> <i>Oldenlandia corymbosa</i>
Groupe 6 régionales (28 espèces ; 5 exemples)	<i>Brachiaria villosa</i> <i>Sida stipulata</i> <i>Commelina gambiae</i> <i>Ipomoea heterotricha</i> <i>Phyllanthus amarus</i>
Groupe 7 majeures locales (4 espèces)	<i>Andropogon pseudapricus</i> <i>Sesamum indicum</i> <i>Striga hermonthica</i> <i>Oldenlandia herbacea</i>
Groupe 8 potentielles locales (19 espèces ; 4 exemples)	<i>Cyperus rotundus</i> <i>Hyptis spicigera</i> <i>Cissus populnea</i> <i>Hackelochloa granularis</i>
Groupe 9 mineures (162 espèces ; 4 exemples)	<i>Bulbostylis barbata</i> <i>Leucas martinicensis</i> <i>Synedrella nodiflora</i> <i>Asparagus flagellaris</i>

4.3.2. Nuisibilité des adventices

Le classement des adventices selon leur indice de nuisibilité a révélé l'existence de 49 espèces potentiellement nuisibles vis-à-vis du sorgho dans la zone d'étude. Ces espèces se répartissent en 3 groupes : un groupe d'espèces à IPN inférieur à 500, un groupe d'espèces à IPN compris entre 500 et 1000 et un groupe d'espèces à IPN supérieur à 1000.

L'analyse du Tableau 11 et Figure 8 montre que 8% des espèces de la flore ont un IPN supérieur à 1000 soit 4 espèces de la flore. Ces quatre espèces (*Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Mariscus squarrosus* et *Mitracarpus villosus*) sont considérées comme les plus nuisibles dans les parcelles de sorgho et appartiennent respectivement à la famille des Poaceae, des Lamiaceae, des Cyperaceae et des Rubiaceae.

Les adventices à IPN compris entre 500 et 1000 forment un groupe intermédiaire et sont au nombre de 7 espèces soit 14% de la flore. Elles se répartissent entre les Cyperaceae (*Kyllinga squamulata*, *Cyperus amabilis*), les Poaceae (*Dactyloctenium aegyptium*, *Pennisetum pedicellatum*), les Rubiaceae (*Spermacoce stachydea*, *Oldenlandia corymbosa*), et les Commelinaceae (*Commelina benghalensis*).

Le troisième groupe est formé par les adventices à IPN inférieur ou égal à 500 considérées comme les moins nuisibles. Ce groupe renferme 78% des espèces de la flore qui sont réparties dans 13 familles : les Fabaceae (11 espèces), les Malvaceae (6 espèces), les Convolvulaceae et les Poaceae avec 5 espèces chacune, les Cucurbitaceae et les Cyperaceae 2 espèces chacune et enfin les Amaranthaceae, les Araceae, les Asteraceae, les Combretaceae, les Commelinaceae, les Icacinaceae et les Phyllanthaceae sont respectivement représentées par une seule espèce.

Tableau 11: Indice partiel de nuisibilité (IPN)

Espèce	Fa	Fr	IPN
<i>Digitaria horizontalis</i>	120	88,9	1639
<i>Hyptis suaveolens</i>	103	76,3	1354
<i>Mariscus squarrosus</i>	68	50,4	1099
<i>Mitracarpus villosus</i>	78	57,8	1004
<i>Spermacoce stachydea</i>	118	87,4	965
<i>Kyllinga squamulata</i>	72	53,3	839
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	110	81,5	810

Espèce	Fa	Fr	IPN
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	44	32,6	789
<i>Commelina benghalensis</i>	70	51,9	704
<i>Oldenlandia corymbosa</i>	27	20,0	694
<i>Cyperus amabilis</i>	50	37,0	545
<i>Fimbristylis hispidula</i>	72	53,3	483
<i>Cyperus cuspidatus</i>	37	27,4	449
<i>Acanthospermum hispidium</i>	37	27,4	366
<i>Brachiaria villosa</i>	31	23,0	361
<i>Eragrostis tremula</i>	47	34,8	356
<i>Sida stipulata</i>	56	41,5	287
<i>Piliostigma reticulatum</i>	62	45,9	273
<i>Combretum collinum</i>	53	39,3	265
<i>Hibiscus cannabinus</i>	105	77,8	264
<i>Stylosanthes fruticosa</i>	29	21,5	248
<i>Setaria pumila</i>	31	23,0	239
<i>Stylochaeton hypogaeus</i>	29	21,5	233
<i>Commelina gambiae</i>	64	47,4	230
<i>Sida rhombifolia</i>	99	73,3	221
<i>Senna obtusifolia</i>	101	74,8	210
<i>Celosia trigyna</i>	37	27,4	200
<i>Corchorus tridens</i>	73	54,1	162
<i>Crotalaria retusa</i>	47	34,8	150
<i>Urena lobata</i>	68	50,4	146
<i>Merremia pinnata</i>	39	28,9	144
<i>Indigofera hirsuta</i>	67	49,6	140
<i>Sesbania pachycarpa</i>	51	37,8	140
<i>Eragrostis ciliaris</i>	28	20,7	139
<i>Ipomoea eriocarpa</i>	83	61,5	139
<i>Eleusine indica</i>	33	24,4	138
<i>Triumfetta pentandra</i>	27	20,0	126
<i>Ipomoea heterotricha</i>	46	34,1	122
<i>Phyllanthus amarus</i>	52	38,5	110

Espèce	Fa	Fr	IPN
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	67	49,6	107
<i>Citrullus lanatus</i>	32	23,7	103
<i>Jacquemonthia tamnifolia</i>	56	41,5	101
<i>Crotalaria goreensis</i>	30	22,2	87
<i>Icacina oliviformis</i>	27	20,0	82,5
<i>Cucumis melo L. var. agrestis</i>	34	25,2	79
<i>Dicrostachys cinerea</i>	43	31,9	73
<i>Ipomoea vagans</i>	30	22,2	70
<i>Rhynchosia minima</i>	39	28,9	64
<i>Tephrosia bracteolata</i>	44	32,6	52

Fa= fréquence absolue ; Fr= fréquence relative, IPN= Indice Partiel de Nuisibilité

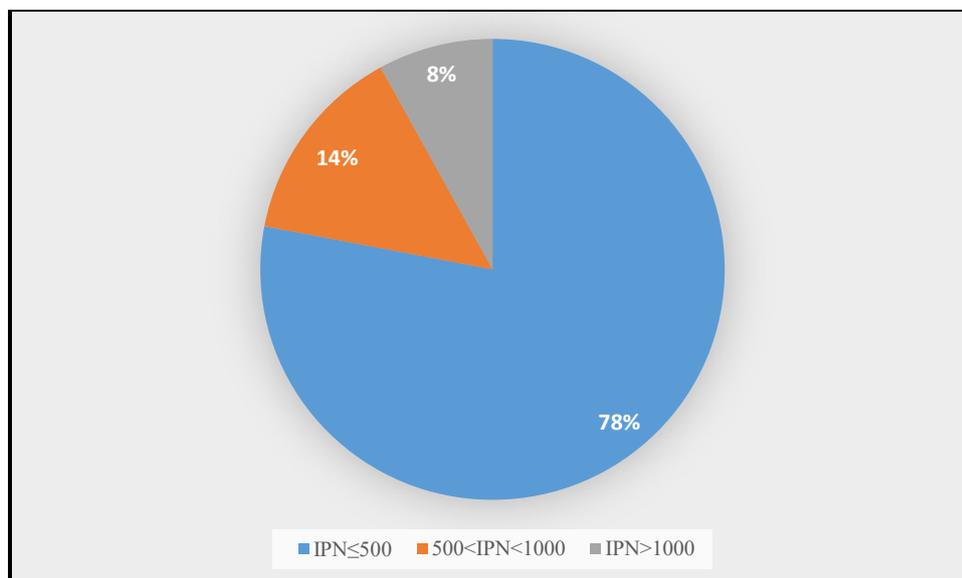


Figure 8:Proportion des groupes d'adventices selon leur IPN

4.4. Discussion

L'étude quantitative de la flore adventice du sorgho en Haute Casamance a été mise en évidence à partir de deux paramètres agronomiques que sont l'infestation et la nuisibilité potentielle. Ainsi, le diagramme d'infestation réalisé à partir de l'abondance dominante moyenne et de la fréquence a mis en évidence sept groupes d'espèces reflétant leur potentiel d'infestation donc leur importance agronomique. Il s'agit des adventices majeures générales (4 espèces), des adventices potentielles générales (5 espèces), des adventices générales (6 espèces), des adventices potentielles régionales (5 espèces), des adventices régionales (28 espèces), des adventices majeures locales (4 espèces), des adventices potentielles locales (19 espèces) et des adventices mineures (161 espèces). Le groupe des adventices majeures générales renferme les espèces les plus infestantes dans les cultures de sorgho. *Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Spermacocea stachydea* et *Mariscus squarrosus* sont les espèces présentes dans ce groupe. Ce sont des espèces ubiquistes qui se rencontrent dans presque toutes les parcelles. L'importance de *Digitaria horizontalis* est due à la précocité de sa levée, à sa forte production de graines (Merlier & Montégut, 1982 ; Le Bourgeois & Marnotte, 2002) et à son adaptation au cycle culturale. Pendant la saison des pluies, l'espèce peut se multiplier par bouturage à partir des fragments des tiges qui s'enracinent au niveau des nœuds (Le Bourgeois & Merlier, 1995). En outre, ces quatre espèces appartiennent aux herbacées annuelles qui sont caractéristiques des milieux perturbés par les interventions agronomiques (Fenni, 2003). Les thérophytes d'après Godron (1974) représente le stade ultime de l'adaptation des végétales aux milieux fortement artificialisés. Les adventices potentielles générales renferment cinq espèces que sont *Mitracarpus villosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Kyllinga squamulata*, *Commelina benghalensis* et *Fimbristylis hispidula*. Dans ce groupe des adventices potentielles générales on peut distinguer *Commelina benghalensis* qui non maîtrisé au début peuvent devenir une contrainte majeure d'enherbement. *Dactyloctenium aegyptium* est caractérisé par sa capacité à lever tout le cycle culturale pourvu que le sol soit suffisamment humide (Noba, 2002). Le *Striga hermonthica* fait partie des adventices majeures locales et se caractérise par un recouvrement très élevé (1,25) cependant sa fréquence est très faible. Cet état est dû au fait que l'espèce n'est pas visible en début de cycle bien que ces dégâts interviennent dès la phase de fixation sur les racines de l'hôte et la phase souterraine de son développement (Ramaiah *et al.*, 1983 ; Dembélé *et al.*, 1989 ; Le Bourgeois, 1993). Cette fixation sur la plante hôte se fait au niveau du xylème racinaire. Elle se fait grâce au contact de la racine du *striga* et sa transformation en haustorium via la sécrétion par la plante parasitée d'un médiateur chimique connue sous le nom de 'facteur d'initiation haustorial'.

Dès lors, la nutrition carbohydatées du *striga* dépend entièrement de l'hôte jusqu'à deux à quatre mois plus tard, temps nécessaire à l'émergence du parasite et de la fabrication de ses propres photosynthéats (Ramaiah *et al.*, 1983).

Les adventices potentielles locales, régionales et mineures renferment la majorité des espèces de la flore et ne posent pas de problèmes particuliers, sauf qu'elles occupent l'espace cultivé. La présence de certaines d'entre elles est dues à la difficulté à les éliminées. Il s'agit des plantes à bulbe (*Icacina oliviformis*, *Ledebouria sudanica...*), des géophytes (*Stylochaeton hypogaeus*, *Asparagus flagellaris...*) et de certaines Cyperaceae.

Le classement des adventices selon leur indice de nuisibilité a révélé l'existence de 49 espèces potentiellement nuisibles vis-à-vis du sorgho dans la zone de l'étude. La présence des petites Cyperaceae (*Cyperus amabilis*, *Mariscus squarrosus*, *Kyllinga squamulata*, *Fimbristylis hispidula*) dans le groupe des adventices potentiellement nuisibles est une caractéristique de la dégradation des sols (Le Bourgeois, 1993). En effet, dans les systèmes de cultures traditionnels tropicaux, la culture de sorgho ne reçoit pas d'engrais ou, au plus, bénéficie du reliquat de la fertilisation appliquée sur les cultures de rente qui le précèdent dans la rotation (Chantereau *et al.*, 2013). Cette situation explique d'ailleurs l'importance de l'infestation du *Striga* dans les parcelles de sorgho, dont la présence est un indicateur de baisse de la fertilité (Dembélé, 1988 ; Ndoye, 1989 ; Chantereau *et al.*, 2013). L'importance de *Mitracarpus villosus* et de *Kyllinga squamulata* pourrait s'expliquer par leur chronologie de levée qui se déroule en deux temps tandis que le succès de *Dactyloctenium aegyptium* est due à la précocité de sa levée et une production importante de graines qui peut atteindre 66000 par individus (Le Bourgeois, 1993 ; Le Bourgeois & Merlier, 1995). Les espèces *Cyperus rotundus* et *Commelina benghalensis* demeurent une préoccupation majeure des agriculteurs de la zone à cause de leur adaptation aux pratiques culturales. En effet, *Cyperus rotundus* cumule les modes de reproduction à partir de graines, de rhizomes et d'autres propagules végétatives, favorisée par le travail du sol (Le Bourgeois & Marnotte, 2002). L'infestation de *Commelina benghalensis* s'explique par sa résistance aux herbicides, ses nombreuses modes de multiplication (graines et boutures), le polymorphisme des graines et des besoins germinatifs, et une forte production de graines (40000 à 100000), qui restent viables pendant plus de 20 ans (Merlier & Montégut, 1982 ; Le Bourgeois & Marnotte, 2002 ; Noba, 2002). Outre ces deux espèces, *Hyptis suaveolens* est devenu la principale adventice des parcelles paysannes en Haute Casamance. Elle colonise tous les types de cultures et est retrouvée aussi bien dans les champs de case que dans les champs de brousse. C'est une espèce qui s'adapte

bien au système agraire de la zone dont le caractère rudimentaire explique la quasi-absence de l'utilisation d'herbicides et de labour en profondeur. Cette étude a permis aussi de noter que 13 des 15 espèces identifiées par Noba (2002), Mbaye (2013) et Bassène (2014) comme les principales adventices dans le Sud du Bassin Arachidier sont présentes dans le groupe des adventices les plus nuisibles dans les cultures de sorgho en Haute Casamance. L'étude du degré d'infestation et de l'indice partiel de nuisibilité a aussi révélé la contrainte que constituent les Fabaceae dans les cultures de sorgho en zone soudanienne du Sénégal. Le succès des Fabaceae s'expliquerait par la longévité de leurs semences qui peuvent rester très longtemps enfouies dans le sol (Baskin, 1998). Parmi ces Fabaceae on retrouve *Senna obtusifolia* et *Indigofera hirsuta* qui lèvent tout au long du cycle et peuvent constituer un sérieux problème d'enherbement (Mbaye, 2013). Le groupe des adventices à IPN inférieur à 500 renferme 78% des espèces de la flore. Ces espèces sont considérées comme les moins nuisibles de la zone. Mais, les adventices sont connues comme des espèces qui évoluent rapidement dans le temps et dans l'espace (Touré *et al.*, 2008). C'est pourquoi certaines de ces espèces doivent faire l'objet, d'une attention particulière pour leur contrôle car leur développement est inféodé à de nombreux facteurs d'ordre climatiques, humains et édaphiques. On retrouve dans ce groupe des espèces très difficile à éliminer (*Ipocina oliviformis*) ou maintenu à un faible niveau de nuisibilité par l'absence d'apport de matières organiques (*Ipomoea eriocarpa*). Ce groupe renferme aussi des souches d'espèces ligneuses de la végétation originelle qui n'ont pu être arrachées par les paysans au cours des défrichements et du travail du sol à cause de leur enracinement profond (*Combretum apiculatum*, *Piliostigma reticulatum*...) (Trochain, 1940 ; Noba, 2004 ; Bassène, 2014).

4.5. Conclusion

Ce travail avait pour objectifs de caractériser la flore adventice du sorgho en Haute Casamance et d'apprécier la nuisibilité des espèces à travers le degré d'infestation et l'indice partiel de nuisibilité.

L'étude du degré d'infestation a montré que la flore du sorgho est dominée par 4 groupes d'espèces à savoir les adventices majeures générales, les adventices potentielles générales, les adventices générales et les adventices potentielles régionales. Ainsi, 16 espèces forment le pool des espèces adventices les plus infestantes dans les cultures de sorgho en Haute Casamance. Ce sont : *Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Mariscus squarrosus*, *Spermacoce stachydea*, *Mitracarpus villosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Kyllinga squamulata*, *Commelina benghalensis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hibiscus cannabinus*, *Sida rhombifolia*, *Senna obtusifolia*, *Corchorus tridens*, *Ipomoea eriocarpa*, *Urena lobata* et *Striga hermonthica*. Parmi ces espèces, *Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Mariscus squarrosus* et *Spermacoce stachydea* sont incontestablement les espèces dominantes de la flore adventice.

Par ailleurs, l'étude de l'indice partiel de nuisibilité a révélé l'existence de 49 espèces potentiellement nuisibles vis-à-vis du sorgho dont 4 ont un IPN supérieur à 1000 donc potentiellement les plus nuisibles. Il s'agit de: *Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Mariscus squarrosus* et *Mitracarpus villosus*.

Enfin, le croisement des résultats du degré d'infestation et de l'indice partiel de nuisibilité a permis de ressortir un pool d'espèces qui constituent un réel problème d'enherbement en Haute Casamance. Ce sont *Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Mariscus squarrosus*, *Spermacoce stachydea*, *Mitracarpus villosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Kyllinga squamulata*, *Commelina benghalensis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hibiscus cannabinus*, *Sida rhombifolia*, *Senna obtusifolia*, *Corchorus tridens*, *Ipomoea eriocarpa*, *Urena lobata* et *Striga hermonthica*. Toute stratégie d'amélioration de la production et de la productivité agricole dans cette zone devra prendre en compte la gestion de ces espèces dont la maîtrise participera à une augmentation substantielle des rendements tant en quantité qu'en qualité.

CHAPITRE V: DYNAMIQUE DES LEVEES DES ADVENTICE DU SORGHO

5.1. Introduction

De tout temps, les mauvaises herbes ont été une gêne importante pour l'agriculture des pays tropicaux. Chaleur et abondance des pluies pendant la saison de culture favorisent en effet, le développement de ces adventices (Merlier & Montégut, 1982). Dans les conditions actuelles de l'agriculture sahélienne, les mauvaises herbes constituent l'une des principales contraintes au niveau de l'exploitation. Cette contrainte se manifeste par :

- une demande importante en travail à une période d'activités intenses entraînant ainsi un « goulot d'étranglement » en début d'hivernage. Ce qui limite les possibilités d'extension des surfaces cultivables ;
- des effets concurrentiels pouvant entraver, voir annuler, les résultats qu'on peut attendre de l'application des thèmes intensifs (Ndoye *et al.*, 1989).

Ainsi, les mauvaises herbes sont responsables entre 10 et 56% de pertes de récolte dans les pays tropicaux (Cramer, 1966 ; Koch *et al.*, 1982) et absorbent l'essentiel du temps de travail des paysans (Ndoye *et al.* 1989; Le Bourgeois & Merlier, 1995). Elles sont les concurrentes directes des plantes cultivées pour l'eau, les engrais, le soleil. Dès lors, leur gestion devient un impératif pour une amélioration de la production et de la productivité agricole. Cependant, pour lutter efficacement contre un ennemi, il faut bien le connaître. Cela paraît une évidence (Merlier & Montégut, 1982).

Au Sénégal, plusieurs travaux ont été entrepris pour étudier la végétation adventice et ont concernés surtout le Bassin Arachidier ((Merlier, 1972a, b ; Fontanel, 1987a, b et 1988 a et b; Deuse et Hernandez, 1978 ; Hernandez, 1978 ; Diallo, 1981 ; Ba, 1983 ; Samb & Chamel, 1992 ; Noba & Ba ; 1998 ; Wade *et al.*, 1999 ; Noba, 2002 ; Noba *et al.*, 2004 ; Noba, 2008 ; Mbaye, 2013 ; Bassène, 2014) et plus rarement la Vallée du fleuve Sénégal (FAO, 1978) ; la Basse Casamance (Diallo *et al.*, 1984) et la zone des Niayes (Sarr *et al.*, 2007). Ces études se sont focalisées pour l'essentiel sur les aspects de caractérisation. Pourtant, pour permettre un positionnement précis des sarclages dans le calendrier cultural, il est de plus en plus nécessaire de comprendre la biologie des adventices dominantes et en particulier leur dynamique saisonnière (Noba 2002). Il existe quelques travaux menés par Noba (2002) et Mbaye (2013) sur la dynamique des levées à travers la densité réelle des levées des différentes espèces dans les agrosystèmes, leur installation progressive au cours du cycle cultural et leur évolution à long terme.

Ces études ont eu pour cadre le sud du Bassin arachidier et ont concerné les cultures du mil, de l'arachide (Noba, 2002) et de l'association mil/niébé (Mbaye, 2013). Cependant, aucune

étude, n'a encore été menée sur la dynamique de la flore adventice du sorgho notamment en Haute Casamance. Pourtant, cette culture est l'une des plus importantes au Sénégal (ANSD, 2014) et joue un rôle stratégique dans la réponse aux défis posés par les fluctuations pluviométriques et la baisse de la fertilité des sols (Chantereau *et al.*, 2013). Et, il est établi, que la connaissance de la dynamique des levées en rapport avec le stock semencier, les pratiques culturales, le comportement germinatif des semences et les conditions d'humidité, constitue un outil essentiel pour prévoir les infestations dans des champs (Noba, 2002). L'estimation spécifique et quantitative de ce potentiel semencier peut permettre de prévoir les risques de salissement des cultures dont la végétation adventice au cours du cycle cultural ne représente qu'une faible proportion de la flore potentielle. En zone tempérée, la plupart des auteurs considèrent le taux de levée au champ comme globalement inférieur à 10 % (Barralis & Salin, 1973 ; Roberts et Ricketts, 1979 ; Roberts, 1981 ; Beuret, 1984 ; Roberts, 1984 ; Lambelet-Haueter, 1986 ; Barralis & Chadoeuf, 1988 ; Debaeke, 1988 ; Ball & Miller, 1989 ; Wilson & Lawson, 1992 ; Wilson & Aebischer, 1995), ce taux ayant tendance à être plus élevé chez les graminées que chez les dicotylédones (Forcella *et al.*, 1992). Or, tous les travaux menés en zone tropicale en générale (Akobundu, 1989 ; Le Bourgeois, 1993 ; Marnotte, 1984 ; Traoré & Mangara, 2009) et au Sénégal en particuliers (Merlier, 1972a et b ; Noba, 2002 ; Ba & Noba, 2004 ; Sarr *et al.*, 2017 ; Bassène, 2014) montrent une dominance des graminées dans le cortège des espèces les plus problématiques dans l'espace cultural. En effet, ces graminées sont essentiellement constituées de thérophytes qui se caractérisent par un cycle de vie très court et une forte production de graines (Le Bourgeois & Marnotte, 2002 ; Fenni, 2003 ; Hannachi, 2010). Dès lors, le stock semencier est régulièrement réalimenté par l'apport des graines de la nouvelle génération compensant ainsi les pertes par germination et mortalité (Harper, 1977). La prévision des levées de mauvaises herbes est donc un outil indispensable pour évaluer les risques d'infestation dans les champs et peut fournir un ensemble d'informations qui peuvent préciser les niveaux et dates d'interventions (Noba, 2002).

La présente étude a été entreprise en Haute Casamance dans la zone subhumide du Sénégal durant les saisons culturales 2016 et 2017. Il a pour objectif de contribuer à une meilleure connaissance de la dynamique des levées en culture du sorgho. Plus spécifiquement, il s'agit d'établir et de comparer la composition spécifique et la densité de levées des différentes espèces en station dans des conditions de fertilisation différentes pour identifier les adventices

les plus dominantes et de mettre en évidence la chronologie des levées de ces espèces dans les différentes conditions au cours de plusieurs cycles culturaux.

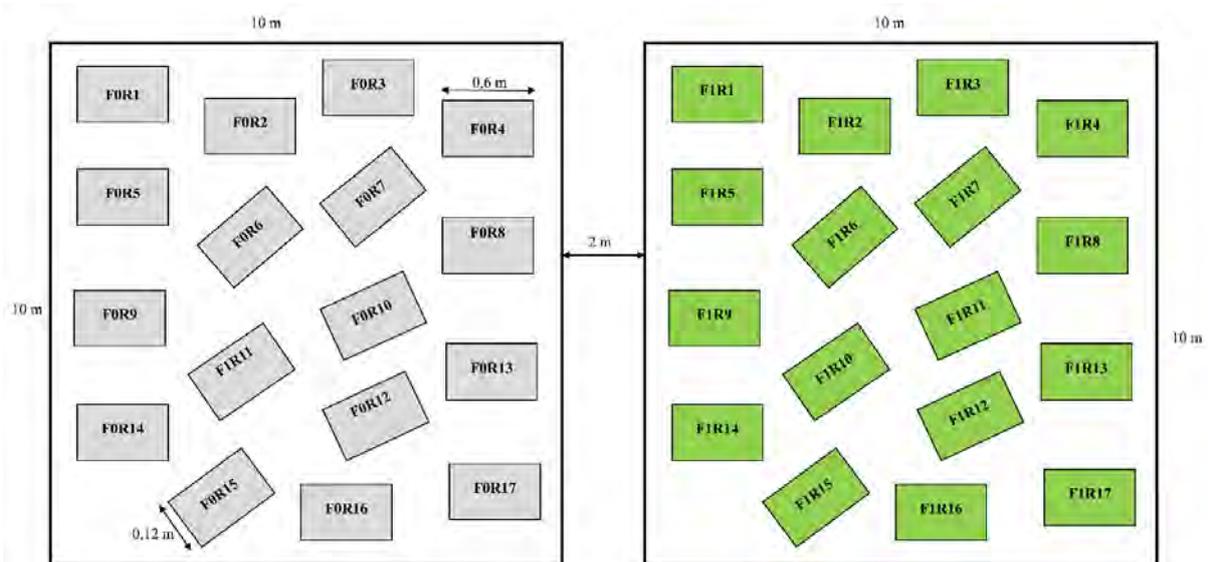
5.2. Méthodologie

5.2.1. Dispositif expérimental

La dynamique des levées a été étudiée dans 2 traitements en condition non azotée (F0) et en condition azotée (F1) en milieu semi-controlé au Centre de Recherches Zootechniques de Kolda en zone soudanienne du Sénégal. Le semis manuel en raison de 4 à 6 grains est effectué dans des rectangles permanents et est précédé par un labour croisé et un nivellement. Pour le bloc fertilisé, un apport d'engrais de fond de type NPK (15-15-15) est effectué au moment du semis en raison de 150 kg.hectare⁻¹, puis de l'urée 46% (100 kg.hectare⁻¹) est apporté en 2 fractions dont 50% de la dose recommandée au 15^e jour après semis et l'autre moitié à l'initiation paniculaire.

Dès la levée de la plante cultivée, les jeunes plants d'adventices sont identifiés périodiquement, dénombrés et éliminés successivement dans un échantillon de 17 rectangles permanents de 60 x 12 cm de côtés implantées au hasard dans chaque condition étudiée (Barralis & Chadoeuf, 1980). Ainsi 17 x 2 (F0 et F1) soit 34 rectangles permanents implantés chaque année dans 2 parcelles de 100 m² de chacune (Figure 9). La détermination des plantules a été faite grâce aux flores de Merlier & Montégut (1982), Le Bourgeois & Merlier (1995).

Ces conditions ne subissent aucun binage mais subissent par contre le démariage à 2 pieds autour du 15^e jour après semis. Les dénombrements ont lieu tous les 15 jours après la levée du sorgho jusqu'à la récolte. Le nombre de relevé a été fonction de l'étalement de la saison pluvieuse.



R1 : Rectangle N°1
F0 : Sans apport de fertilisants
F1 : Fertilisation au NPK et à l'urée granulée

Figure 9: Dispositif d'étude de la dynamique des levées

5.2.2. Traitement des données

L'étude de la dynamique de levées des adventices en zone soudanienne du Sénégal a été évaluée à partir d'un ensemble d'indices de diversité actuellement vulgarisée. La diversité prend en compte non seulement le nombre d'espèces, mais également la distribution des individus au sein de ces espèces. Ils permettent rapidement d'évaluer la biodiversité du peuplement même si selon Grall & Hily (2003), leur caractère synthétique peut s'avérer être un handicap dans la mesure où il manque une grande partie de l'information. C'est pourquoi aucun de ses indices pris individuellement ne permet d'évaluer la structure globale d'un peuplement en tenant compte de l'abondance et de la richesse spécifique. Ainsi, dans cette présente étude, la richesse spécifique, l'abondance, les indices de Shannon et de Simpson, le coefficient de similitude, l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis ont été utilisées pour évaluer la dynamique du peuplement adventice en Haute Casamance sa variabilité en fonction des facteurs anthropiques et édapho-climatiques.

5.2.2.1. La Richesse spécifique (S)

La richesse spécifique S, est le nombre total d'espèces que comporte le peuplement considéré effectivement présentes sur un site d'étude et d'un moment donné (Boulinier *et al.*, 1998).

5.2.2.2. L'abondance

L'abondance, est le nombre d'individus d'une population donnée présent par unité de surface ou de volume (Ramade, 2003).

5.2.2.3. Indice de Shannon

L'indice de Shannon permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont codominantes. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominant très largement toutes les autres) à $\log S$ (lorsque toutes les espèces ont même abondance).

$$H' = -\sum (p_i \ln p_i) \quad \text{où } p_i = \text{proportion d'individus dans la } i^{\text{e}} \text{ espèce}$$

ln indique le logarithme naturel.

5.2.2.4. Indice de Simpson

L'indice de Simpson D, est essentiellement lié aux variations d'abondance entre espèces dominantes. Il mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce. La formule de cet indice est la suivante :

$D = \frac{\sum Ni (Ni - 1)}{N (N - 1)}$ où Ni : nombre d'individus de l'espèce donnée. N : nombre total d'individus. Cet indice tend vers une valeur de **0** pour indiquer le maximum de diversité, et une valeur de **1** pour indiquer le minimum de diversité.

5.2.2.5. Coefficient de Bray-Curtis (indice de dissimilarité)

Développé en l'écologie végétale terrestre et emprunté par l'écologie marine, ce coefficient n'est pas affecté par les doubles-absences. Cependant, on lui reproche de donner plus de poids aux espèces abondantes qu'aux espèces rares. L'indice de dissimilarité de Bray-Curtis varie entre 0 (valeurs identiques pour toutes les espèces) et 1 (aucune espèce en commun).

L'indice de Bray-Curtis se calcule selon l'équation :

$$BC_{jk} = 1 - \frac{2 \sum_{i=1}^p \min(N_{ij}, N_{ik})}{\sum_{i=1}^p (N_{ij} + N_{ik})}$$

Où N_{ij} est l'abondance d'une espèce i dans l'échantillon j et N_{ik} est l'abondance de la même espèce i dans l'échantillon k . Le terme \min correspond au minimum obtenu pour deux comptes sur les mêmes échantillons. Les sommes situés au numérateur et dénominateur sont réalisées sur l'ensemble des espèces présentes dans les échantillons (Bray & Curtis, 1957).

5.2.2.6. L'indice β de Sørensen

L'indice mesure la similitude en espèce entre deux habitats. L'indice varie de 0 quand il n'existe aucune espèce commune entre les deux habitats, à 1 quand toutes les espèces rencontrées dans le site 1 sont aussi présentes dans le site 2.

Sa formule est : $\beta = \frac{2c}{S1 + S2}$

où c : représente le nombre d'espèces communes entre deux habitats. $S1$: représente le nombre d'espèces pour l'habitat 1. $S2$: représente le nombre d'espèces pour l'habitat 2.

5.3. Résultats

5.3.1. Structure de la flore levée

L'étude de la dynamique des levées dans la station expérimentale du Centre de Recherches Zootechnique de Kolda sur deux années successives a permis de répertorier 33 espèces réparties dans 28 genres et 9 familles (Tableau 12). Cette flore est essentiellement composée de thérophytes (91%) suivit de loin par les géophytes et les phanérophytes qui font respectivement 6 et 3% de la flore. En 2016, la flore était composée de 23 espèces dont 14 en condition fertilisée et 20 espèces en conditions non fertilisées. En 2017, la flore était composée de 25 espèces dont 20 en conditions non fertilisée et 19 en condition fertilisée. Indépendamment de l'année et de la fertilisation, la flore est largement dominée par les Cyperaceae (28%), les Fabaceae (21%) et les Poaceae (21%) qui contribuent pour 70% de la flore globale (Figure 10).

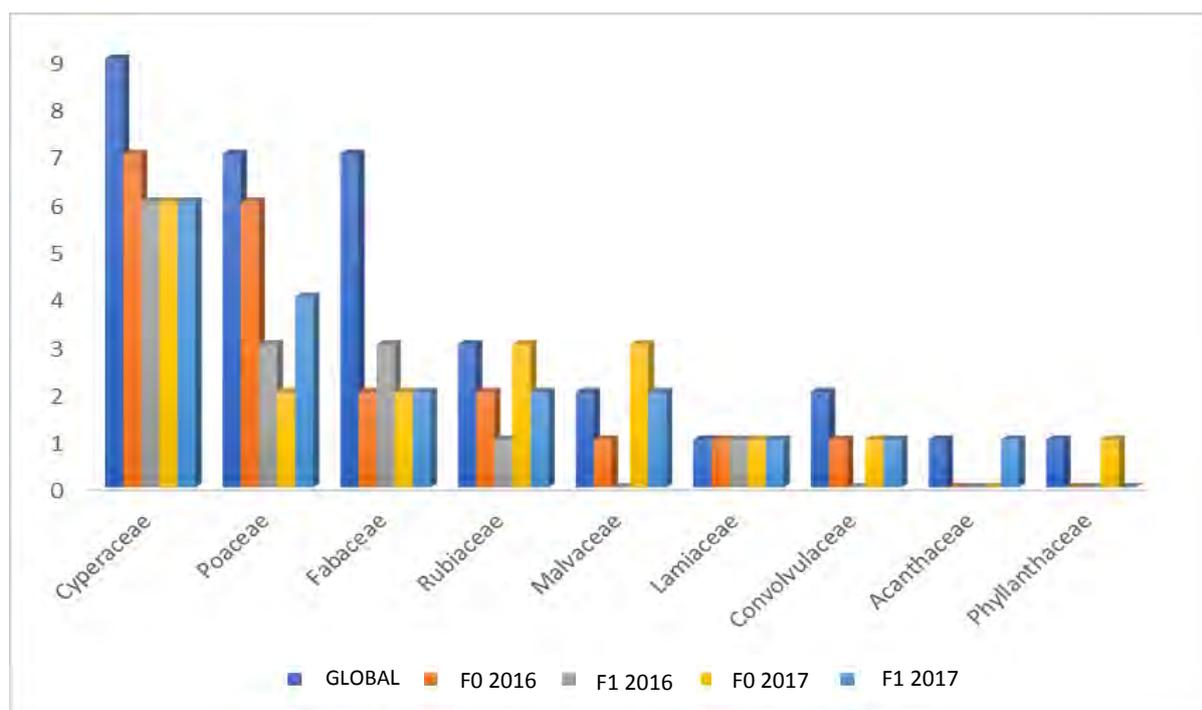
Tableau 12: Liste des espèces recensées, leur famille, genre et type biologique

Famille	Genre	Espèce	T.B.
Acanthaceae (D)	<i>Monechma</i>	<i>Monechma ciliatum</i>	T
Convolvulaceae (D)	<i>Ipomoea</i>	<i>Ipomoea eriocarpa</i>	T
	<i>Merremia</i>	<i>Merremia pinnata</i>	T
Cyperaceae (M)	<i>Bulbostylis</i>	<i>Bulbostylis barbata</i>	T
	<i>Cyperus</i>	<i>Cyperus amabilis</i>	T
		<i>Cyperus cuspidatus</i>	T
		<i>Cyperus esculentus</i>	G
		<i>Cyperus rotundus</i>	G
	<i>Fimbristylis</i>	<i>Fimbristylis hispidula</i>	T
	<i>Kyllinga</i>	<i>Kyllinga squamulata</i>	T
	<i>Mariscus</i>	<i>Mariscus hamulosus</i>	T
		<i>Mariscus squarrosus</i>	T
	Fabaceae (D)	<i>Alysicarpus</i>	<i>Alysicarpus ovalifolius</i>
<i>Cassia</i>		<i>Cassia absus</i>	T
<i>Crotalaria</i>		<i>Crotalaria retusa</i>	T
<i>Dicrostachys</i>		<i>Dicrostachys cinerea</i>	P
<i>Indigofera</i>		<i>Indigofera hirsuta</i>	T
Lamiaceae (D)	<i>Senna</i>	<i>Senna obtusifolia</i>	T
	<i>Stylosanthes</i>	<i>Stylosanthes fruticosa</i>	T
	<i>Hyptis</i>	<i>Hyptis suaveolens</i>	T
Malvaceae (D)	<i>Hibiscus</i>	<i>Hibiscus cannabinus</i>	T
	<i>Sida</i>	<i>Sida rhombifolia</i>	T
Poaceae (M)	<i>Brachiaria</i>	<i>Brachiaria lata</i>	T
	<i>Cynodon</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	T
	<i>Dactyloctenium</i>	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	T
	<i>Digitaria</i>	<i>Digitaria exilis</i>	T
		<i>Digitaria horizontalis</i>	T
<i>Eragrostis</i>	<i>Eragrostis tremula</i>	T	

Famille	Genre	Espèce	T.B.
	<i>Pennisetum</i>	<i>Pennisetum pedicellatum</i>	T
Phyllanthaceae (D)	<i>Phyllanthus</i>	<i>Phyllanthus amarus</i>	T
	<i>Mitracarpus</i>	<i>Mitracarpus villosus</i>	T
Rubiaceae (D)	<i>Oldenlandia</i>	<i>Oldenlandia corymbosa</i>	T
	<i>Spermacoce</i>	<i>Spermacoce stachydea</i>	T

G= géophyte ; T.B.= type biologique ; T= thérophyte.

Importance relative des familles en fonction des conditions culturales et de l'année



F0= absence de fertilisation ; F1= fertilisation minérale

Figure 10: Importance relative des familles en fonction des conditions culturales et de l'année

5.3.2. Fréquence d'occurrence des espèces

Tableau 13: Fréquence d'apparition des espèces en fonction de l'année et des conditions de fertilisation dans les relevés.

Espèce	2016		2017	
	F0	F1	F0	F1
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	100	100	100	100
<i>Digitaria horizontalis</i>	75	100	57,1	85,7
<i>Fimbristylis hispidula</i>	75	100	71,4	71,4
<i>Hyptis suaveolens</i>	25	25	85,7	100
<i>Cyperus amabilis</i>	50	50	28,6	28,6
<i>Kyllinga squamulata</i>	50	75	57,1	57,1
<i>Mariscus squarrosus</i>	50	50	57,1	71,4
<i>Mitracarpus villosus</i>	75	25	85,7	71,4
<i>Spermacoce stachydea</i>	50	25	28,6	14,3
<i>Senna obtusifolia</i>	-	75	42,9	14,3
<i>Ipomoea eriocarpa</i>	25	-	71,4	14,3
<i>Hibiscus cannabinus</i>	25	-	28,6	28,6

Espèce	2016		2017	
	F0	F1	F0	F1
<i>Digitaria exilis</i>	25	50	-	-
<i>Mariscus hamulosus</i>	25	25	-	-
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	25	-	-	14,3
<i>Cyperus cuspidatus</i>	50	-	-	-
<i>Cyperus rotundus</i>	25	-	-	14,3
<i>Cynodon dactylon</i>	25	-	-	-
<i>Dicrostachys cinerea</i>	25	-	-	-
<i>Eragrostis tremula</i>	50	-	-	-
<i>Indigofera hirsuta</i>	25	-	-	-
<i>Bulbostylis barbata</i>	-	25	14,3	-
<i>Cassia absus</i>	-	-	14,3	-
<i>Crotalaria retusa</i>	-	25	-	-
<i>Cyperus esculentus</i>	-	-	14,3	14,3
<i>Merremia pinnata</i>	-	-	14,3	-
<i>Sida rhombifolia</i>	-	-	14,3	57,1
<i>Monechma ciliatum</i>	-	-	-	14,3
<i>Oldenlandia corymbosa</i>	-	-	14,3	-
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	-	-	-	14,3
<i>Phyllanthus amarus</i>	-	-	14,3	-
<i>Stylosanthes fruticosa</i>	-	-	28,6	-
<i>Brachiaria lata</i>	-	-	-	14,3
Total espèces/traitement	20	14	20	19
Espèces cumulées			33	

F0= absence de fertilisation ; F1= fertilisation minérale

Le Tableau 13 représente la fréquence relative des espèces en fonction de l'année et des conditions de fertilisation. L'analyse de l'occurrence des espèces au cours des différentes années d'expérimentation a montré une variation des espèces en termes de nombre et de diversité aussi bien selon les années que les conditions de fertilisations. Le nombre total d'espèces recensées est passé de 23 en 2016 à 25 en 2017. Il existe une plus grande diversité en condition non fertilisée comparée à la condition fertilisée. Ainsi, le nombre d'espèces répertoriées en conditions non fertilisées est respectivement de 20 en 2016 et 20 en 2017. En conditions fertilisées (F1), la flore était composée de 14 espèces en 2016 et 19 espèces en 2017. Parmi les 33 espèces répertoriées, 9 ont été rencontrés dans l'ensemble des relevés. Ces espèces forment le pool des adventices les plus communes des cultures du sorgho en Haute Casamance. Il s'agit de *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hyptis suaveolens*, *Cyperus amabilis*, *Kyllinga squamulata*, *Mariscus squarrosus*, *Mitracarpus villosus* et *Spermacoce stachydea*. Ce pool est suivi par un groupe d'espèces secondaires qui sont rencontrées dans 75% des situations. Ce groupe est formé par *Senna obtusifolia*, *Ipomoea eriocarpa* et *Hibiscus cannabinus*. A côté de ces groupes, il existe d'autres espèces dont la présence est fonction de l'année. Ainsi, les espèces telles que :

Digitaria exilis, *Mariscus hamulosus*, *Cyperus cuspidatus*, *Cynodon dactylon*, *Dicrostachys cinerea*, *Eragrostis tremula* et *Indigofera hirsuta*, ne sont rencontrées que durant la première année d'expérimentation. La présence de *Cassia absus*, *Cyperus esculentus*, *Merremia pinnata*, *Sida rhombifolia*, *Monechma ciliatum*, *Oldenlandia corymbosa*, *Pennisetum pedicellatum*, *Phyllanthus amarus*, *Stylosanthes fruticosa* et *Brachiaria lata* n'a été noté qu'à la deuxième année d'expérimentation. Aussi, la fertilisation a un effet disparate sur la distribution des espèces. Ainsi, *Cyperus cuspidatus*, *Cynodon dactylon*, *Dicrostachys cinerea*, *Eragrostis tremula*, *Indigofera hirsuta*, *Cassia absus*, *Oldenlandia corymbosa*, *Phyllanthus amarus* et *Stylosanthes fruticosa* n'ont été répertoriées que dans les parcelles non fertilisées. Tandis que, la présence de *Crotalaria retusa*, *Monechma ciliatum*, *Pennisetum pedicellatum* et *Brachiaria lata* a été exclusivement notée dans des parcelles ayant reçues un apport d'engrais azotée.

Par ailleurs, la fréquence des espèces est très variable d'une année à l'autre et d'un traitement à un autre. Toutefois, il existe des espèces, qui indépendamment de l'année ou du traitement ont des fréquences très élevées. Ces espèces sont par ordre d'importance *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Fimbristylis hispidula*, *Mitracarpus villosus*, *Mariscus squarrosus*, *Kyllinga squamulata* et *Hyptis suaveolens*. D'ailleurs, La présence de *Dactyloctenium aegyptium* est enregistrée sur l'ensemble des relevés le long des deux années d'expérimentation

5.3.3. Importance relative des levées en fonction des conditions de fertilisation et de l'année

Tableau 14: Fréquence d'apparition des espèces en fonction de l'année et des conditions de fertilisation

Espèce	2016				2017				Total	
	F0		F1		F0		F1		Levée	Taux
	Levée	Taux	Levée	Taux	Levée	Taux	Levée	Taux		
<i>Hyptis suaveolens</i>	1	0,1	1	0,1	590	26,5	747	37,9	1339	22,9
<i>Kyllinga squamulata</i>	272	30,0	220	30,7	314	14,1	466	23,6	1273	21,7
<i>Mariscus squarrosus</i>	302	33,3	251	35,1	328	14,7	253	12,8	1134	19,4
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	115	12,7	126	17,6	464	20,8	284	14,4	989	16,9
<i>Digitaria horizontalis</i>	47	5,2	58	8,1	350	15,7	120	6,1	575	9,8
<i>Fimbristylis hispidula</i>	40	4,4	42	5,9	60	2,7	36	1,8	178	3,0
<i>Mitracarpus villosus</i>	18	2,0	1	0,1	74	3,3	35	1,8	127	2,2
<i>Cyperus amabilis</i>	28	3,1	7	1,0	11	0,5	6	0,3	52	0,9
<i>Spermacoce stachydea</i>	15	1,7	4	0,6	3	0,1	1	0,1	23	0,4
<i>Digitaria exilis</i>	35	3,9	2	0,3	-	-	-	-	37	0,6
<i>Cynodon dactylon</i>	34	3,8	-	-	-	-	-	-	34	0,6
<i>Cyperus cuspidatus</i>	23	2,5	-	-	-	-	-	-	23	0,4
<i>Ipomoea eriocarpa</i>	1	0,1	-	-	14	0,6	1	0,1	16	0,3
<i>Hibiscus cannabinus</i>	1	0,1	-	-	5	0,2	6	0,3	12	0,2
<i>Senna obtusifolia</i>	-	-	1	0,1	3	0,1	6	0,3	10	0,2
<i>Sida rhombifolia</i>	-	-	-	-	1	0,0	4	0,2	5	0,1
<i>Mariscus hamulosus</i>	3	0,3	1	0,1	-	-	-	-	4	0,1
<i>Cyperus esculentus</i>	-	-	-	-	1	0,0	2	0,1	3	0,1
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	1	0,1	-	-	-	-	1	0,1	2	0,0
<i>Bulbostylis barbata</i>	-	-	1	0,1	1	0,0	-	-	2	0,0
<i>Cyperus rotundus</i>	1	0,1	-	-	-	-	1	0,1	2	0,0
<i>Eragrostis tremula</i>	2	0,2	-	-	-	-	-	-	2	0,0
<i>Merremia pinnata</i>	-	-	-	-	2	0,1	-	-	2	0,0
<i>Monechma ciliatum</i>	-	-	-	-	-	-	2	0,1	2	0,0
<i>Stylosanthes fruticosa</i>	-	-	-	-	2	0,1	-	-	2	0,0
<i>Brachiaria lata</i>	-	-	-	-	-	-	1	0,1	1	0,0
<i>Cassia absus</i>	-	-	-	-	1	0,0	-	-	1	0,0
<i>Crotalaria retusa</i>	-	-	1	0,1	-	-	-	-	1	0,0
<i>Dicrostachys cinerea</i>	1	0,1	-	-	-	-	-	-	1	0,0
<i>Indigofera hirsuta</i>	1	0,1	-	-	-	-	-	-	1	0,0
<i>Oldenlandia corymbosa</i>	-	-	-	-	1	0,0	1	0,1	1	0,0
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,0
<i>Phyllanthus amarus</i>	-	-	-	-	1	0,0	-	-	1	0,0
Total levée	941		716		2226		1973		5856	

F0= absence de fertilisation ; F1= fertilisation minérale

L'évolution des taux de levées en fonction de l'année et des conditions de fertilisation est présentée dans le Tableau 14. Les résultats montrent que les levées sont plus importantes en 2017 (4199) année particulièrement humide comparée à 2016 (1657). En valeur absolue, il y a plus de levées dans les parcelles non fertilisées que dans les parcelles fertilisées indépendamment de l'année. Ainsi, 941 et 2226 levées ont été enregistrées en conditions non fertilisées respectivement en 2016 et 2017 contre 716 et 1973 levées en condition fertilisées à la même période. La flore de la dynamique est caractérisée par la dominance de cinq (5) espèces qui cumulent 91% des levées. Il s'agit de *Hyptis suaveolens* (22,8%), *Kyllinga squamulata* (21,7%), *Mariscus squarrosus* (19,4%), *Dactyloctenium aegyptium* (16,9%) et *Digitaria horizontalis* (9,8%). Viennent ensuite *Fimbristylis hispidula* (3%), *Mitracarpus villosus* (2,2%) et *Cyperus amabilis* (0,9%) qui forment un groupe d'espèces secondaires. Le reste de la flore (25 espèces) est caractérisé par des levées faibles et irrégulières.

5.3.4. Importance et chronologie des levées au cours du cycle cultural

Le tableau 16 présente les résultats de la variation de la densité des levées en fonction du cycle cultural. L'évolution du nombre d'espèces dans le cycle cultural dépend de l'année. En effet, en 2016, le nombre de levée des espèces atteint le pic à la troisième date de lecture correspondant à la fin de la montaison et au début de l'initiation paniculaire. Ce nombre diminue en fin de cycle correspondant à la quatrième date de lecture marquée par un arrêt brusque des pluies en début de la troisième décennie du mois de septembre. Cependant, le plus faible nombre de levées a été observé au début de l'installation de la culture correspondant au stade 1-3 feuilles des plantules de sorgho. La pause pluviométrique de deux semaines intervenue juste après l'installation de la culture pourrait expliquer les faibles levées notées. En 2017, les pics de levée ont été observés à la première et à la deuxième date de lecture correspondant respectivement à la levée des plantules de sorgho et au début de la montaison. Cependant, après ces relevés, le nombre d'individus répertoriés ne cessent de décroître pour atteindre un minima de quatre (4) individus à la phase remplissage-maturation des grains de sorgho.

L'analyse des résultats montre aussi que selon les dates de relevé, plusieurs catégories d'espèces peuvent être distinguées. Certaines espèces se caractérisent par leur régularité avec des levées étalées durant tout le cycle cultural et d'une année à l'autre. C'est le cas de *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hyptis suaveolens* et *Mitracarpus villosus*. D'autres espèces présentent un comportement irrégulier qui se caractérise par des levées variables selon la date de relevé, les conditions culturales et l'année. Il s'agit de *Kyllinga squamulata*, *Mariscus hamulosus*, *Sida rhombifolia* et *Spermacoce*

stachydea. Dans cette flore, certaines espèces lèvent essentiellement en début de cycle avant de s'estomper en fin de cycle cultural. Il s'agit de *Ipomoea eriocarpa*, *Hibiscus cannabinus*, *Cyperus rotundus* et *Senna obtusifolia*. Cette flore renferme aussi des espèces dont les pics de levées sont surtout observés en fin de cycle. Ce sont *Cyperus amabilis*, *Cyperus cuspidatus*, *Digitaria exilis*, et *Mariscus hamulosus*.

Tableau 15: Importance et chronologie des levées au cours du cycle cultural

Espèce	2016				2017						
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0
<i>Brachiaria lata</i>	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
<i>Bulbostylis barbata</i>	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0	0
<i>Cassia absus</i>	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
<i>Crotalaria retusa</i>	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cynodon dactylon</i>	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cyperus amabilis</i>	0	0	74,3	25,7	0	0	0	5,9	88,2	5,9	0
<i>Cyperus cuspidatus</i>	0	0	95,7	4,3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cyperus esculentus</i>	0	0	0	0	33,3	0	66,7	0	0	0	0
<i>Cyperus rotundus</i>	0	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	42,4	32,6	8,9	16,1	27,6	31,6	21,8	5,7	9,6	3,7	0
<i>Dicrostachys cinerea</i>	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Digitaria exilis</i>	0	0	66,7	33,3	0	0	0	0	0	0	0
<i>Digitaria horizontalis</i>	25,6	23,3	19,8	31,4	0	15,6	50,2	22,7	8,8	0,9	1,8
<i>Eragrostis tremula</i>	0	0	50	50	0	0	0	0	0	0	0
<i>Fimbristylis hispidula</i>	9,9	56,8	16	17,3	14,7	7,4	38,9	20	12,6	6,3	0
<i>Hibiscus cannabinus</i>	100	0	0	0	83,3	0	0	14,3	0	0	0
<i>Hyptis suaveolens</i>	50	0	50	0	36,5	19,6	20,2	18,2	4,5	0,5	0,4
<i>Indigofera hirsuta</i>	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ipomoea eriocarpa</i>	100	0	0	0	58,3	0	8,3	16,7	0	0	16,7
<i>Kyllinga squamulata</i>	0	48,3	47,6	4,2	0	50,4	39,4	9,5	0,4	0,3	0
<i>Mariscus hamulosus</i>	0	0	75	25	0	0	0	0	0	0	0
<i>Mariscus squarrosus</i>	0	0	48,1	51,9	0	1,2	0	50,1	38,2	10,2	0,3
<i>Mitracarpus villosus</i>	0	33,3	16,7	50	0	14,7	30,3	28,4	15,6	9,2	1,8
<i>Monechma ciliatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
<i>Phyllanthus amarus</i>	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
<i>Oldenlandia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
<i>Senna obtusifolia</i>	0	100	0	0	77,8	14,3	14,3	0	0	0	0
<i>Sida rhombifolia</i>	0	0	0	0	20	0	40	20	0	0	20
<i>Spermacoce stachydea</i>	0	57,9	21,1	21,1	0	0	25	0	25	50	0
Nombre de levées	86	222	253	152	414	609	319	360	207	61	4

D= date de relevé

5.3.5. Variation de la diversité en fonction des conditions culturales et de l'année

Variation de la diversité en fonction de l'année et de la fertilisation

L'indice de Shannon-Wiener H' varie entre 1,55 et 1,93 bit. L'indice de diversité H' le plus élevé est enregistré dans les conditions non fertilisées à la première année d'expérimentation. Cette situation dénote de l'importance de la diversité des espèces dans cette condition mais aussi de la répartition plus équitable des individus comparés aux autres groupes d'espèces. Le faible indice de diversité (H') rencontré en condition fertilisée coïncide d'une part avec une faible richesse spécifique (14 espèces) et d'autre part, par la dominance de trois espèces *Mariscus squarrosus*, *Kyllinga squamulata* et *Dactyloctenium aegyptium* qui représentent 83% des individus levées. Donc l'apport de fertilisants chimique a tendance à réduire la diversité certainement en stimulant la levée des espèces les plus nitrophiles dont le développement étouffe la levée des espèces oligotrophes tendant à uniformiser le milieu cultural par la présence d'un faible nombre d'espèces mais à abondance élevée.

Variation de la distribution des individus en fonction de l'année et de la fertilisation

L'analyse du Tableau 16 indique une diversité assez faible dans l'ensemble des sites. Cependant, l'indice de Simpson le plus élevé est enregistré dans la condition non fertilisée de 2017 et présente le peuplement le moins régulier. Il est suivi par la condition non fertilisée de 2016 et des conditions fertilisées de 2016 et 2017. La régularité augmente avec l'apport de fertilisants chimiques, avec une équitabilité qui décroît.

Tableau 16: Variation de la diversité en fonction des conditions culturelles

Source de variance	Indice de diversité	
	Shannon-Weaver (H')	Simpson index
F0_16	1,93	0,79
F0_17	1,86	0,82
F1_17	1,67	0,76
F1_16	1,55	0,74

F0= absence de fertilisation ; F1= fertilisation

Influence de l'année et de la fertilisation sur la composition floristique

L'indice β de Sørensen calculé entre le peuplement global pour l'ensemble des conditions et des années ont mis en exerce l'importance relative de la diversité en condition non fertilisée en 2016 et en 2017 dans la composition du peuplement global avec 75%, suivi par les conditions fertilisées en 2016 et 2017 dont la contribution relative est respectivement de 73 et 59%. Le coefficient de similarité le plus élevé est enregistré entre les conditions fertilisées de 2016 et celles non fertilisées de 2017. *A contrario*, la similarité la plus faible dans la composition floristique est notée entre les conditions non fertilisées de 2016 et celles de 2017 ainsi que les conditions fertilisées de 2016 et de 2017 (Tableau 17).

Tableau 17: Influence de l'année et de la fertilisation sur la composition floristique

CS	F0_16	F1_16	F0_17	F1_17	Global
F0_16	1,00	0,59	0,55	0,67	0,75
F1_16		1,00	0,72	0,55	0,59
F0_17			1,00	0,66	0,75
F1_17				1,00	0,73
Global					1,00

CS= coefficient de similitude ; F0= absence de fertilisation ; F1= fertilisation

Variation de la composition floristique en fonction des conditions culturelles

Le calcul de l'indice de Bray-Curtis (indice de dissimilitude) entre les différentes conditions, issus du travail de classification (Tableau 18), permet de distinguer des groupes dont la valeur est supérieure à 0,5 et s'approche de 1. Ainsi, les indices de dissimilitude les plus élevés sont notés entre la condition fertilisée de 2016 et celle fertilisée de 2017, suivi de la condition

fertilisée de 2016 et celle non fertilisée de la même année, ensuite entre la condition non fertilisée de 2016 et celle non fertilisée de 2017 et enfin entre la flore en condition fertilisée en 2016 et la flore en condition fertilisée de 2017.

Ces chiffres dénotent de la forte variabilité de la flore et des levées d'une condition culturale à une autre et d'une année à l'autre. La plus grande diversité est observée dans ces groupes. Cependant, certains groupes ont un indice de dissimilarité en dessous de 0,5. Il s'agit de la condition non fertilisé de 2017 et de la condition fertilisée de 2017 puis de la condition non fertilisée de 2017 et celle fertilisée de la même année. Ceci témoigne d'une similitude dans la composition floristique de ces différents groupes.

Tableau 18: Variation de la composition floristique en fonction des conditions culturales

ID	F0_16	F1_16	F0_17	F1_17
F0_16	0,00			
F1_16	0,70	0,00		
F0_17	0,63	0,26	0,00	
F1_17	0,86	0,61	0,49	0,00

ID= indice de dissimilarité, F0= absence de fertilisation ; F1= fertilisation minérale

Influence de la fertilisation sur la variabilité spatiale des abondances

Le traitement des données par l'analyse en composante principale est réalisé à partir d'un tableau de 4 variables et 33 individus. Les axes 1 et 2 concentrent le maximum d'information et portent respectivement 76,91 et 20,61% de la variabilité soit une inertie totale de 97,52% (Figure 11). Sur l'axe 1 se matérialise un gradient d'effectifs, qui ségrège les individus en deux groupes. Le premier groupe situé du côté positif, se singularisent les espèces à très fortes abondances qui contribuent à la construction de cet axe. Il s'agit de *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Kyllinga squamulata* et *Mariscus squarrosus*. A elles seules, ces 5 espèces représentent 90,7% des levées indépendamment des conditions culturales et de la variabilité des facteurs annuels. Le côté négatif concentre la majorité des individus qui se distinguent par des effectifs faibles et des fréquences variables.

L'analyse des résultats de l'ACP des variables a ressortie une ségrégation en fonction de l'année. Ainsi, indépendamment de l'apport ou non d'engrais azoté, les résultats montrent de très fortes corrélations entre les variables appartenant à la même année.

Il ressort de cette analyse que le peuplement adventice est dominé par une minorité d'espèces à effectifs et à fréquences élevés. Cette situation résulterait d'une baisse de la diversité par la

disparition des espèces oligotrophes et de l'installation d'une flore spécialisée des milieux fortement anthropisés.

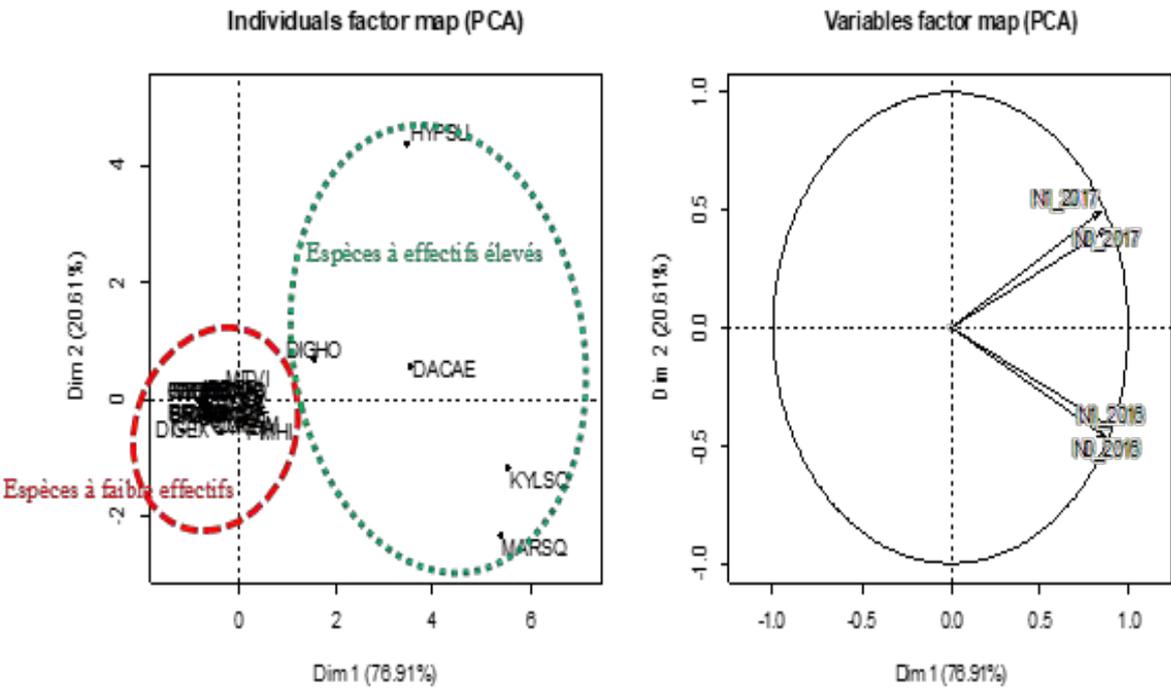


Figure 11: Matrice de répartition spatiale des abondances

5.4. Discussion

5.4.1. Diversité de la flore

Richesse spécifique

La flore est composée de 33 espèces, 28 genres et 9 familles. Cette flore présente des proportions comparables en termes de nombre avec l'étude réalisée par Noba (2002) dans le Sud du Bassin Arachidier qui a enregistré 31 espèces en trois années d'expérimentations. Cependant, elle est moins diversifiée que la flore de Mbaye (2013) qui a répertoriés 41 espèces au cours de 5 années d'expérimentation allant de 2002 à 2006 dans la même zone que Noba (2002). La richesse de la flore adventice du sorgho en Haute Casamance pourrait s'expliquer par les conditions agroécologiques du milieu et les techniques culturales. En effet, la Haute Casamance fait partie de la zone Subhumide du Sénégal caractérisée par un régime de pluie relativement abondant (Koita & Bodian, 2000). Or, beaucoup d'auteurs (Roberts, 1984 ; Prohmchum, 1993) soulignent l'importance que peuvent représenter les levées dans les zones tropicales où l'eau ne représente pas un facteur limitant. En outre, dans ces cultures fortement artificialisées, le travail du sol est le deuxième facteur le plus discriminant dans l'implantation, le développement et le maintien des mauvaises herbes (Loudyi, 1995). Cette flore est largement dominée par les thérophytes dont le cycle est synchrone à celui de la culture. Cette dominance des thérophytes a été notée dans plusieurs études sur la flore adventices des zones tropicales et intertropicales notamment au Burkina Faso (Traoré, 1992), au Cameroun (Le Bourgeois, 1993,) en Côte d'Ivoire (Mangara, 2010 ; Kouakou *et al.*, 2016), au Maroc (Loudye, 2006) et en Algérie (Hannachi, 2010 ; Hanitet, 2012 ; Karkour, 2012). Ce succès des thérophytes est due à leurs adaptations aux variations de condition climatiques et aux perturbations culturales (Grime, 1973) contrairement aux vivaces dont les travaux agricoles réalisés manuellement et par la traction animale laissent peu de chance (Maillet, 1981; Soufi, 1988; Traoré, 1991). D'ailleurs selon Longchamp et Barralis (1988), l'importance des mauvaises herbes vivaces est fonction de l'évolution des techniques culturales, des soins d'entretien et de la lutte chimique. Cependant, certains de ces vivaces comme les géophytes et plus particulièrement de *Cyperus rotundus* méritent une attention particulière. Considérée comme la pire des mauvaises herbes (Holm *et al*, 1977), le mode de reproduction privilégié de cette espèce est le mode végétatif sous forme de bulbes (Traoré, 1992) ou par des éclats lors du sarclage en conditions de forte humidité (Le Bourgeois & Marnotte, 2002). Cette espèce produit de surcroît des graines.

Composition spécifique :

L'analyse de l'occurrence des espèces a montré une forte variation d'une année à l'autre. Toutefois, il existe un pool d'espèces caractérisé par sa fréquence d'occurrence élevée (*Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hyptis suaveolens*, *Cyperus amabilis*, *Kyllinga squamulata*, *Mariscus squarrosus*, *Mitracarpus villosus* et *Spermacoce stachydea*). Cette variabilité est la conjonction de facteurs cultureux, des facteurs spécifiques intrinsèques, de la topographie dans la sélection et l'établissement des espèces les plus fréquentes et probablement les plus nuisibles (Fontanel, 1987a, 1988a, 1988b ; Grouzis, 1992, Loudyi, 1995). Selon Barralis et Chadoeuf, 1980, les variations de la flore dans les champs cultivés sont pour l'essentiel déterminées par la croissance de la culture et les pratiques culturales associées. En effet, la culture semble jouer un rôle primordial dans les processus de sélection d'une flore suivi du précédent cultural. Les autres facteurs intervenant dans la variabilité de la flore adventice sont ensuite par ordre d'importance décroissant : le pH du sol, le niveau de précipitation, la texture du sol, la latitude et l'altitude (Fried *et al.*, 2007, Gardarin, 2007). Mais, si les perturbations détruisent la végétation au moment de la moisson ou du labour suivant, tous les « compteurs » ne sont pas pour autant remis à zéro : les semences produites par les plantes non détruites au cours de la saison dans la culture ou l'interculture vont réalimenter le stock de semences du sol. La répétition des mêmes phénomènes de sélection d'année en année peut alors rapidement amplifier les différences entre espèces enrichissant ou épuisant leur stock et, ainsi, modifier au cours du temps la composition de la communauté (Fried *et al.*, 2007).

5.4.2. Densité des levées

L'analyse de nos résultats montre une grande variabilité des levées d'une année à l'autre et au sein de la même année en fonction des conditions culturales. Ainsi, nos résultats indiquent que dans des conditions expérimentales comparables, il y a plus de levées (4199) en 2017 qu'en 2016 (1657). Cette explosion des levées de l'année 2017 pourrait être liée à l'humidité due aux records de précipitations enregistrées au cours de cette année. En effet, 1336 mm de pluie ont été enregistré en 2017 au cours de 56 jours pluvieux de fin mai à mi-octobre alors que l'année précédente avait enregistré 1186,3 mm de pluie et que la normale climatique des 30 dernières années est de 959,3 mm de pluies. La plupart des inhibitions à la germination sont probablement supprimées lorsque le sol est suffisamment humide et les graines bien imbibées, contrairement aux conditions de stress hydrique (Noba, 2002). Les levées au champ

sont aussi en fonction du stock semencier. Or, la relation entre le stock semencier et les levées au champ peut varier en fonction des conditions climatiques (en particulier de la température et de l'humidité du sol), mais elle varie aussi en fonction des caractéristiques physiques du sol (finesse et tassement) qui modifient le comportement des semences et la levée au champ (Roberts & Hewson, 1971), et surtout en fonction des caractéristiques culturales (Barralis *et al.*, 1996).

L'azote a aussi un effet sur la densité des levées. En effet, et indépendamment de l'année, les plus grandes levées sont observées dans les conditions n'ayant pas reçus d'apport d'azote. De surcroît, les espèces nitrophiles ont un fort développement foliaire et donc une compétition plus efficace pour la lumière entraînant l'étouffement des autres espèces dont la biomasse et la densité baissent (Valantin-Morison, 2008).

5.4.3. Importance et chronologie des levées au cours du cycle cultural

Plus que les conditions de fertilisation, l'année semble avoir un effet plus significatif sur la variabilité des levées. D'ailleurs, plusieurs auteurs (Robert, 1984 ; Noba, 2002, Loudy, 1995 ; Mbaye, 2013) ont relevé la primauté de l'humidité et du travail du sol sur la germination des adventices comparé à la fertilisation. Si une forte humidité, permet de levée la dormance des graines en zone tropicales (Roberts, 1984 ; Prohmchum 1993), les opérations culturales tel que le labour pratiquée dans notre étude permet de diviser par 10 les levées des adventices au champ (Valantin-Morison, 2008). Cependant, l'efficacité du labour dépend fortement du cortège floristique puisqu'il est prouvé que le travail du sol peut stimuler de plus de 20% la levée des espèces les plus adaptées aux agrosystèmes comme notamment le *Commelina benghalensis* (Le Bourgeois & Marnotte, 2002). En résumé et à part quelques exceptions, presque toutes les espèces adventices des champs cultivés présentent des périodes préférentielles de levée marquées, déterminées par la saisonnalité de l'évolution des taux de dormance des semences, et par les gammes de température favorables à la germination (Valantin-Morison, 2008).

5.4.4. Variation de la diversité en fonction des conditions culturales et de l'année

Les indices de Shannon et Simpson ont ressortit une abondance et une diversité plus élevé dans les traitements n'ayant pas reçu d'engrais. Des auteurs (Fried *et al.*, 2008 ; Mbaye, 2013) ont relevé l'importance de la richesse floristique sur des sols pauvres tandis que l'augmentation d'usage d'engrais azotés a eu pour conséquence la disparition marquée des espèces caractéristiques des milieux pauvres (espèces oligotrophes) au profit d'espèces nitrophiles compétitives adaptées à des milieux plus riches en ressources (Fried *et al.*, 2008).

Cependant, même si la flore est plus diversifiée dans les traitements non azotés, la diversité globale reste généralement faible. En effet, les indices de Shannon en dessous de 2,5 caractérisent des milieux peu diversifiés où l'on note généralement la dominance d'une seule espèce ou d'un petit nombre d'espèces sur l'ensemble des espèces de la communauté (Blondel, 1995 ; Boukli Hacene, 2012). Dans cette étude, le cortège floristique est dominé par un groupe de 5 espèces qui cumulent 91% des levées. Il s'agit de *Hyptis suaveolens* (22,8%), *Kyllinga squamulata* (21,7%), *Mariscus squarrosus* (19,4%), *Dactyloctenium aegyptium* (16,9%) et *Digitaria horizontalis* (9,8%). L'indice de Sørensen et le coefficient de Bray-Curtis ont montré de forte similarité dans la composition floristique même si des disparités peuvent apparaître en fonction de la pratique culturale et/ou de l'année. Ces variations sont dues à de nombreux facteurs et notamment la pluviométrie, la températures qui peuvent fortement influencer la structure et la variabilité des communautés adventices (Tang *et al.*, 2014).

5.5. Conclusion

Ce travail a été entrepris dans le but de mieux connaître et d'appréhender la dynamique de levée des adventices en zone subhumide du Sénégal et de comprendre l'effet de différents facteurs à la fois environnementaux et agronomiques responsables de la variabilité de cette dynamique.

Il ressort de cette étude que :

- la flore est composée de 33 espèces, essentiellement des thérophytes, pouvant varier d'une année à l'autre et au cours de la même année en fonction des conditions culturales ;
- il existe un pool d'espèces communes (*Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hyptis suaveolens*, *Cyperus amabilis*, *Kyllinga squamulata*, *Mariscus squarrosus*, *Mitracarpus villosus* et *Spermacoce stachydea*) qui lèvent indépendamment de l'année et des conditions culturales ;
- lorsque la pluviométrie est favorable, il y a une forte explosion des levées surtout en début de cycle, due certainement à une levée de l'inhibition des graines ;
- les espèces sont, en général, plus nombreuses dans les conditions non azotées ; toutefois, la majorité des espèces de la flore n'a pas une spécificité par rapport à une condition de fertilisation. Cependant, certaines espèces ne sont rencontrées qu'en conditions fertilisées (*Crotalaria retusa*, *Monechma ciliatum*, *Pennisetum pedicellatum* et *Brachiaria lata*) tandis que la présence d'autres espèces n'est notée que dans les parcelles n'ayant pas reçu un apport d'engrais azoté (*Cyperus cuspidatus*, *Cynodon dactylon*, *Dicrostachys cinerea*, *Eragrostis tremula*, *Indigofera hirsuta*, *Cassia absus*, *Oldenlandia corymbosa*, *Phyllanthus amarus* et *Stylosanthes fruticosa*);
- la fréquence des espèces est très variable d'une année à l'autre et d'un traitement à un autre. Toutefois, il existe des espèces, qui indépendamment de l'année ou du traitement ont des fréquences très élevées (*Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Fimbristylis hispidula*, *Mitracarpus villosus*, *Mariscus squarrosus*, *Kyllinga squamulata* et *Hyptis suaveolens*) ;
- cette flore est caractérisée par la dominance de cinq (5) espèces qui cumulent 91% des levées. Il s'agit de *Hyptis suaveolens* (22,8%), *Kyllinga squamulata* (21,7%), *Mariscus squarrosus* (19,4%), *Dactyloctenium aegyptium* (16,9%) et *Digitaria*

horizontalis (9,8%). Cependant, la majorité des espèces présente de faible taux de levée ;

- en situation de déficit hydrique, les espèces n'ont pas la même réponse adaptative; elles peuvent ou non lever en fonction de leurs possibilités de germination notamment la durée de leur dormance, résultat d'une hétérogénéité physiologique des semences ;
- la diversité est généralement faible et il existe une forte similarité dans la composition floristique entre les différents traitements.

CHAPITRE VI: ETUDE DE LA CONCURRENCE DES ADVENTICES VIS A VIS DU SORGHO

6.1. Introduction

Au Sénégal, la production agricole est très insuffisante pour couvrir les besoins d'une population en forte croissance à cause, entre autres, de la pauvreté des sols cumulée à une forte pression des adventices (Mbaye, 2013). Pour Caussanel (1989), la compétition par les adventices vis-à-vis des cultures se traduit toujours par une baisse de la production. Chez le sorgho, cette compétition peut aboutir à une perte totale de la récolte (Gworgwor & Weber, 1991 ; Aslan, 2016). De plus, le désherbage limite fortement l'expansion des superficies cultivables. Elle nécessite un travail soutenu de désherbage dans une zone où les niveaux de pauvreté ne permettent pas une utilisation à grande échelle des herbicides à cause de leur coût souvent élevé.

En effet, les moyens rudimentaires des producteurs font que, ce désherbage manuel absorbe 20 à 50 % du temps de travail (Scalla, 1991). Cependant, une position précises des opérations de sarclages peut permettre une augmentation des rendements et un gain de temps (Caussanel, 1989 ; Noba, 2013 ; Mbaye, 2013 ; Bassène, 2014). La détermination des relations entre perte de rendement et niveaux d'infestation, peut permettre d'améliorer les itinéraires techniques et d'optimiser les désherbages (Niéto *et al.*, 1968 ; Caussanel, 1989, Angonin, 1996).

Des lors, la connaissance de la période critique de désherbage est un outil indispensable de gestion des adventices. La période critique est défini comme l'intervalle de temps pendant lequel la culture doit être maintenu exempt de l'infestation des adventices pour éviter des pertes importantes de rendement (Mulugeta & Boerboom 2000 ; Knezevic *et al.*, 2002). De part et d'autres des seuils de nuisibilité, la présence des adventices affectent peu la production de la culture (Yadav *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2015; Tursun *et al.*, 2015). La connaissance des seuils de nuisibilité précoce et tardive permet de mieux positionner les opérations de sarclage, de raisonner l'utilisation d'herbicide et est de ce fait est une composante essentielle de la gestion intégrée des adventices dans les agrosystèmes (Mulugeta & Boerboom 2000 ; Mahmoodi & Rahimi, 2009).

Cependant de nombreuses études ont montré que la période critique est très variable et sous l'influence de plusieurs facteurs telles que la zone, les variabilités annuelles... (Evans *et al.*, 2003). Cette variabilité est attribuée aux variations dans la composition des adventices, au niveau d'infestation et aux conditions agroclimatiques. La topographie, la culture, la variété, le labour et la densité de semis sont aussi autant de facteurs qui peuvent influencer sur la nuisibilité des adventices et donc la période critique d'enherbement (Knezevic *et al.*, 2002).

Au Sénégal, les études portant sur la détermination des périodes critiques de concurrence ont été principalement menées dans le Bassin arachidier pour les cultures du mil, de l'arachide (Noba, 2002) ; de l'association mil/niébé (Mbaye, 2013) et du maïs (Bassène, 2014).

Cette étude se propose d'étudier la concurrence adventice vis-à-vis du sorgho en zone subhumide du Sénégal et plus spécifiquement de :

- déterminer la période critique de compétition des adventices ;
- étudier l'influence de la variabilité annuelle sur la période critique ;
- rechercher un mode de désherbage plus adapté aux pratiques agricoles traditionnelles ;
- déterminer l'influence de la fertilisation azotée dans le raisonnement du désherbage.

6.2. Matériel et méthode

6.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est constitué de graines de sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench var. *F2-20*). Cette variété est recommandée pour les zones centre-sud et sud-est et boucle son cycle au bout de 110 jours. Elle a un potentiel de rendement pouvant aller jusqu'à 3,5 tonnes à l'hectare.

6.2.2. Principe de l'expérimentation

La détermination de la période critique de concurrence, consiste à réaliser deux expériences complémentaires pour mesurer la concurrence précoce et tardive (Caussanel, 1989). Dans ces expérimentations il s'agit :

- ❖ d'autoriser le développement des adventices pendant des périodes de plus en plus longues avant de biner (la concurrence précoce est ainsi mesurée par périodes) ;
- ❖ de maintenir la culture propre depuis la levée jusqu'à des dates de plus en plus reculées dans le temps (la concurrence tardive est ainsi mesurée).

En reportant les deux courbes sur un même graphique, la période critique apparaît : le début et la fin de la période critique correspondent respectivement aux seuils de concurrence précoce et tardive (si la culture est maintenue propre pendant cette période, le rendement à la récolte ne sera pas diminué par la concurrence adventice). L'étude a été réalisée en 2016 et 2017 en milieu semi-contrôlé au Centre de Recherches Zootechniques CRZ/ISRA de Kolda.

6.2.3. La préparation du sol

Le travail du sol s'est fait en plusieurs étapes :

- ratissage de la surface à labourer pour dégager les repousses, les débris de tiges des herbes...;
- labour à l'aide d'un tracteur mécanique muni de disques pour retourner la terre jusqu'à une profondeur de 10-20 cm;
- hersage pour enlever les tiges des herbes et /ou celles de la précédente culture fragmentées lors du labour ;
- nivellement et rayonnage pour assurer un bon semis en ligne.

6.2.4. Traitements

Les expérimentations ont été conduites en fonction des dates de binage dans la station expérimentale du Centre de Recherches Zootechniques de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricole ISRA-CRZ de Kolda.

Traitements

Pour cette étude, les traitements sont effectués en fonction d'un facteur que représente les dates de binages.

Pour la fertilisation, 2 conditions sont réalisées :

1- F0, condition non sans apport de fertilisants.

2- F1, condition avec apport d'engrais azoté.

Trois applications sont réalisées une application avec du NPK (15-15-15) en raison de 150 kg/ha et deux applications avec l'urée granulé 100 kg/ha en 2 fractions (50 kg/ha au démarrage et 50 kg/ha à la montaison).

Pour les dates de binage, les traitements suivants sont réalisés :

4 traitements de désherbage (B1, B2, B3, B4) dans lesquels une fois que la culture est binée, elle sera maintenue propre jusqu'à la récolte.

B1 : enherbé entre le semis et le 15^e jour et maintenu propre jusqu'à la récolte.

B2 : enherbé entre le 15^e et le 30^e jour et maintenu propre jusqu'à la récolte.

B3 : enherbé entre le 15^e et le 45^e jour et maintenu propre jusqu'à la récolte.

B4 : enherbé entre le 15^e et le 60^e jour et maintenu propre jusqu'à la récolte.

4 traitements d'enherbement (H1, H2, H3, H4) où la culture est maintenue propre au début puis laissée enherbée jusqu'à la récolte.

H1 : maintenu propre pendant les 15 premiers jours puis laissé enherber jusqu'à la récolte.

H2 : maintenu propre pendant les 30 premiers jours puis laissé enherber jusqu'à la récolte.

H3 : maintenu propre pendant les 45 premiers jours puis laissé enherber jusqu'à la récolte.

H4 : maintenu propre pendant les 60 premiers jours puis laissé enherber jusqu'à la récolte.

4 traitements de pratiques agricoles (P1, P2, P3, P4) dans lesquels sont réalisés des désherbages alternatifs.

P1 : 2 désherbages au 15^e et 30^e jour.

P2 : 2 désherbages au 15^e et 45^e jour.

P3 : 2 désherbages au 15^e et 60^e jour.

P4 : 2 désherbages au 30^e et 45^e jour.

2 traitements témoins :

1 témoin propre (TP) qui est maintenu propre jusqu'à la récolte.

1 témoin enherbé (TE) qui est laissé enherbé jusqu'à la récolte.

Les traitements de désherbage (B) et d'enherbement (H) permettent de déterminer la date et la période critique de concurrence (Niéto *et al.*, 1968) et incluent les témoins (TP et TE).

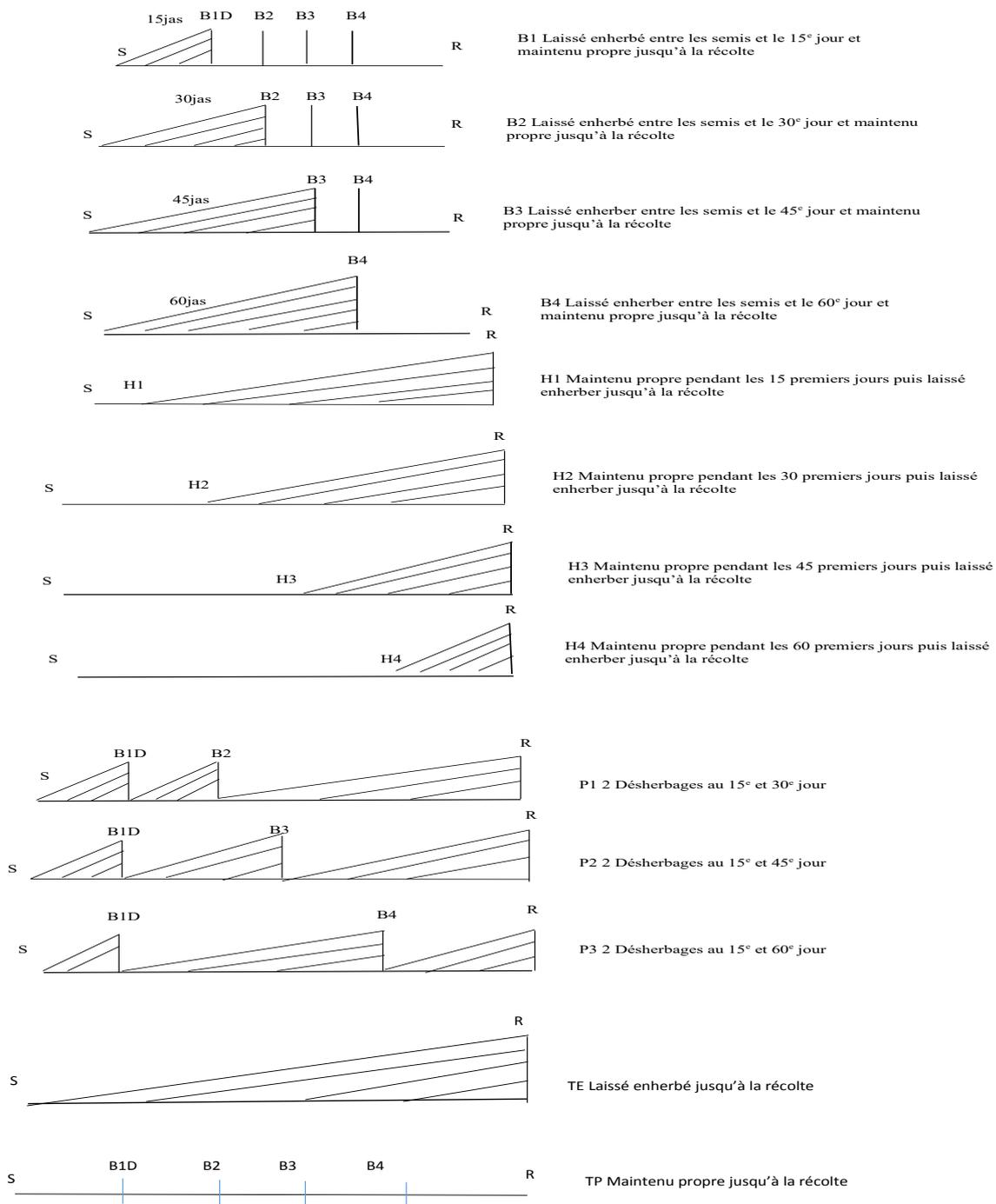
La détermination de cette période critique de concurrence répond à des préoccupations : la levée massive de l'adventice dominante où le recouvrement de la culture par une flore adventice diversifiée se produit pendant un temps variable et il est nécessaire de savoir quel est le meilleur moment pour traiter (Caussanel *et al.*, 1986).

Les résultats recueillis des traitements de désherbages (B), permettent de déterminer la concurrence précoce (Caussanel *et al.*, 1986).

Les résultats obtenus des traitements d'enherbement (H), permettent de déterminer la concurrence tardive (Caussanel *et al.*, 1986).

En reportant les deux courbes sur un même graphique, la période critique apparaît entre le seuil concurrence précoce et seuil de concurrence tardive.

Les traitements de pratiques agricoles (P), en plus de certains traitements de désherbage et d'enherbement, permettent de proposer un calendrier de désherbage adapté à la culture (Caussanel *et al.*, 1986).



S = Semis B1D = 1er binage-démariage R = Récolte

Figure 12: Traitement de désherbage et d'enherbement

6.2.5. Dispositif expérimental

Le dispositif était un bloc aléatoire complet avec 4 répétitions (Figure 13). Le plan d'expérimentation est constitué de 112 parcelles élémentaires avec une surface de 5,4 mètre carré par parcelle.

Chaque parcelle élémentaire avait 4 lignes de répétitions distantes de 75 centimètres et 6 poquets distants de 30 centimètres. La distance entre les parcelles élémentaires était de 1 mètre ; celle entre les répétitions de 1 mètre et celle entre les deux conditions (fertilisée et non fertilisée) de 2 mètres soit une superficie totale de 1093,12 m² (44,8m×24,4m). Le semis du sorgho était manuel en raison de 5 à 7 graines par poquets et s'est fait après une pluie d'au moins 15 mm en début Juillet. Le démariage à 2 pieds a été effectué au 15^{ème} jour après semis.



Figure 13: Dispositif expérimental

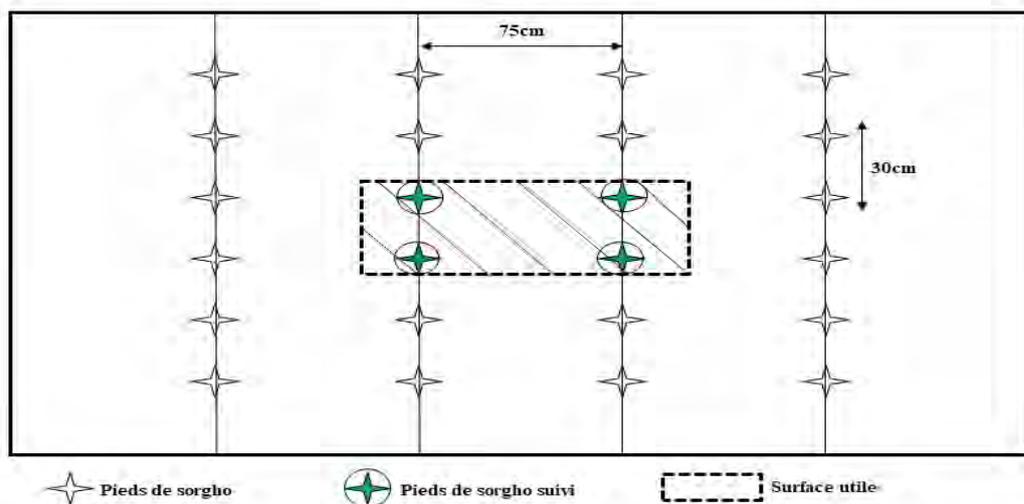


Figure 14: Illustration d'une parcelle élémentaire

6.2.6. Le calendrier culturel

L'ensemble des opérations culturales effectuées au cours des deux années d'expérimentations sont présentées dans le Tableau 19.

Tableau 19: Calendrier des opérations culturales

Nature et date des opérations	Année	
	2016	2017
Fauchage et Labour croisé	19/07	01/07
Nettoyage, nivellement et piquetage	22/07	02/07
Semis et engrais de fond	23/07	03/07
Date de 1 ^{ère} levée	26/07	07/07
1 ^{er} sarclage-démariage	09/08	18/07
1 ^{er} apport d'urée (50% DR)	10/08	18/07
2 ^e sarclage	24/08	02/08
3 ^e sarclage	10/09	17/08
2 ^e apport d'urée (50% DR)	25/09	19/08
4 ^e sarclage	10/10	02/09
5 ^e sarclage	25/10	17/09
Récolte	10/11	30/10

DR= dose recommandée

6.2.7. Observations et mesures

En plus de la mesure du rendement certains paramètres tels que la croissance et le développement ont été évalués.

Ainsi pour le sorgho il a été mesuré :

- Les paramètres de croissance : hauteur de la plante (H. P.), nombre de feuilles (N.F.), le diamètre au collet (D.C.), longueur de la feuille drapeau (L.F.D.) ;
- La biomasse a été évaluée dans les carrés utiles par la méthode des quadrats en adoptant les méthodes directes ou destructives ;
- les échantillons de chaque carré ont été pesés à l'état frais avant d'être envoyés en laboratoire où ils ont été mis dans une étuve à une température de 65°C pendant 72 heures pour déterminer le poids sec de chaque échantillon.
- les paramètres de rendement ; poids de la panicule (P.P.), le poids des grains (P.G.), poids de 1000 grains (P.M.G.) ;
- le rendement en grains du sorgho (R.D.T.) ;
- Pour la détermination des composantes du rendement et du rendement,

Pour la détermination des composantes du rendement et le rendement, huit (8) plantes par répétition ont été récoltées et mises dans des sacs. Après la récolte, les mesures portant sur les composants du rendement sur les panicules et graines sont effectuées.

Pour le rendement, au moyen d'une balance de précision au centième près, les graines des panicules des huit pieds récoltés dans chaque répétition sont pesées.

Le rendement est calculé à partir de la formule suivante : $RDT = [(PCR * 0,001 * 10000) / SCR]$

RDT = rendement, PCR = Poids moyen carré de rendement, SCR = Surface du carré de rendement avec $SCR = (L * 2 * l * 2)$

Le rendement est transformé en pourcentage par rapport au témoin maintenu propre depuis le semis jusqu'à la récolte dans chaque condition de fertilisation (Caussanel *et al.*, 1986).

La détermination de la période critique se base sur un pourcentage d'un niveau de perte de rendement acceptable.

La méthode consiste à utiliser les résultats de deux expériences complémentaires afin de tracer deux courbes de d'évolution de rendement en fonction de la durée de la concurrence.

La première expérience consiste à laisser se développer les adventices pendant des périodes de plus en plus longues avant de les éliminer mécaniquement ou chimiquement ; la

concurrence précoce est ainsi mesurée pour différentes périodes depuis la levée et un seuil de concurrence précoce (S_p) est établi.

La seconde expérience a pour objectif de maintenir propre la culture depuis la levée jusqu'à des dates de plus en plus reculées dans le temps : un seuil de concurrence tardive (S_t) est alors déterminé.

En reportant les deux courbes sur le graphique, la période critique (T_c) apparaît entre S_p et S_t (Caussanel, 1989).

Pour la réalisation des courbes, tous les résultats présentés ont été exprimés en pourcentage ($Y\%$) par rapport au rendement du témoin sans adventice qui a reçu la valeur 100 (Caussanel *et al.*, 1986).

6.2.8. Traitements statistiques

Les analyses de variance à 1 facteurs sont effectuées pour l'ensemble des paramètres de croissance et de rendement ainsi que la comparaison des moyennes à l'aide du test de Student Newman-Keuls au seuil de 5% avec le logiciel R Edition R x64 3.4.2 (Library *Agricolae*, *FactoMineR*, *Vegan*). Les lettres a, b, c, d, e, f... indiquent les ensembles de comparaison des moyennes significativement différentes.

Le test est :

- très significatif (***) si $p < 0,0001$
- significatif (**) si $0,0001 < p < 0,001$
- peu significatif (*) si $0,001 < p < 0,05$
- non significatif (NS) si $p > 0,05$

Les analyses multivariées que sont l'Analyse Factorielle des Correspondances et l'Analyse en Composante Principale (ACP) ont été réalisées avec le même logiciel R.

Analyse Factorielle des Correspondance (AFC):

Elle permet un traitement synthétique des données multivariées et a pour but la simplification, l'ordination et la coordination des données initiales, en exprimant la trame complexe dans des inter-relations entre variables par un plus petit nombre de facteurs. Ces facteurs sont représentés par des axes perpendiculaires qui délimitent les plans. Elle s'applique par excellence aux tableaux de contingence qui utilise la distance Chi-2 pour comparer les variables ou les individus entre eux (Boukli Hacène, 2012).

Analyse en Composante Principale:

L'analyse en composantes principales (ACP) fait partie des analyses descriptives dont le but est de résumer le maximum d'informations possibles en perdant le moins possibles pour faciliter l'interprétation d'un grand nombre de données initiales ou bien de donner plus de sens aux données réduites (Le Moal, 2002 ; Boukli Hacène, 2012). Cette analyse consiste à transformer les « p » variables quantitatives initiales inter-corrélées en « p » variables quantitatives corrélées ou non appelées « composantes principales » (Dervin, 1988). L'ACP met en évidence, sous forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données d'un grand nombre de descripteurs, de connaître la quantité de variance expliquée par les quelques axes principaux indépendants et de dégager les relations entre les variables et les relevés. En fait, elle permet d'obtenir une représentation du nuage de points dans un espace de dimension réduite de telle manière que l'inertie portée par cette espace soit la plus grande possible. Elle est utilisée lorsqu'il s'agit de décrire un tableau des variables numériques continues de type « variables quantitatives x individus » (Daget, 1976 ; Legendre & Legendre, 1979). L'ACP permet donc de réduire des tableaux de grandes tailles en un petit nombre de variables (2 ou 3 généralement) tout en conservant un maximum d'information.

6.3. Résultats

6.3.1. Variation de la production de feuilles en fonction de l'année, de la fertilisation et des traitements de binage

Variation de la production des feuilles en fonction de l'année et de la fertilisation

Les résultats de la variabilité du nombre de feuilles en fonction de l'année sont présentés dans le Tableau 20.

En condition non fertilisée (F0):

Les résultats de l'analyse de la variance à un facteur suivi du test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% montrent que le nombre de feuilles est significativement différent d'une année à l'autre. En effet, en 2016, chaque plant de sorgho produisait en moyenne 5,8 feuilles contre près de 8 feuilles par plant en 2017.

En condition fertilisée (F1):

Les résultats de l'analyse de la variance à un facteur suivi du test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% montrent une variabilité du nombre de feuilles d'une année à l'autre. En effet, la production de feuilles a été plus importante en 2017 avec une moyenne de 10,6 feuilles par plante contre 7,3 feuilles par plante en 2016.

Ces résultats montrent que indépendamment de la fertilisation, le nombre de feuilles est variable d'une année à l'autre.

Tableau 20: Variation du nombre de feuilles par plant en fonction de l'année et de la fertilisation

Année	Moyenne	
	F0	F1
2016	6,0 ^b	7,3 ^b
2017	7,8 ^a	10,6 ^a
Probabilité et signification	0,006**	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Variation de la production de feuilles en fonction des traitements de binage

Condition non fertilisée (F0):

Les traitements de binage ont significativement influencé la production en feuilles par plante (Tableau 21). En 2016, la production moyenne de feuilles par plante est de 5,8. L'analyse de la variance et le test de Student Newman Keuls au seuil de 5% a permis de distinguer 4

groupes. Le premier groupe est constitué du Témoin Enherbé (TE) et de P2 pour lesquels, on note le nombre de feuilles le plus faible avec en moyenne 1,5 feuille par plante. Le deuxième groupe est formé de P4 et B4 dont le nombre moyen de feuilles est respectivement de 3,8 et 3,9 par plante. Le troisième groupe rassemble le plus grand nombre de traitements. Un classement de ces traitements dans l'ordre décroissant selon la production de feuilles de sorgho obtenu est le suivant : H2, B1, B2, B3, H3, H1, P1 et P3. Enfin, le quatrième groupe est formé par les traitements H4 et TP où le plus grand nombre de feuilles est enregistré et est en moyenne de 9,3 par plante pour H4 et 8,3 par plante pour TP.

En 2017, chaque plante de sorgho a produit en moyenne 7,9 feuilles. Le plus grand nombre de feuilles a par ordre décroissant été obtenu pour les traitements TP, H4, B1 et B2. Les traitements B3, H1, B4 et P2 ont enregistré le nombre de feuilles le plus faibles. A noter que toutes les plantes du TE sont entrées en senescence bien avant la récolte.

Tableau 21: Variation de la production de feuilles en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée

Traitement	Nombre de feuilles à la maturité	
	2016	2017
H4	9,3 ^a	11,9 ^a
TP	8,3 ^a	11,7 ^a
H2	7,9 ^{ab}	9,6 ^{ab}
B1	7,2 ^{ab}	11,1 ^a
B2	6,8 ^{ab}	10,6 ^a
B3	6,7 ^{ab}	5,6 ^{bc}
H3	6,7 ^{ab}	9,2 ^{ab}
H1	6,4 ^{ab}	5,5 ^{bc}
P1	5,8 ^{ab}	9,4 ^{ab}
P3	5,2 ^{ab}	9,3 ^{ab}
B4	3,9 ^{bc}	3,4 ^c
P4	3,8 ^{bc}	9,1 ^{ab}
P2	1,5 ^c	3,7 ^c
TE	1,5 ^c	-
Moyenne	5,8	7,9
Coefficient de variation (%)	17,4	27,5
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Condition fertilisée (F1):

En 2016, les résultats de l'analyse de la variance font ressortir 7 groupes homogènes en fonction des conditions de fertilisation (Tableau 22). En effet, si la moyenne générale tourne autour de 7,3 feuilles par plante, il existe une variabilité d'un traitement à l'autre. Le meilleur

groupe est formé par le traitement propre TP qui est suivi par ordre décroissant des traitements B1, H4, H3 et B2. Le nombre de feuilles le plus faible est enregistré dans les traitements B4, P2, H1 et TE.

En 2017, la production moyenne de feuilles pour les différents traitements de binage est en moyenne de 10,6 par plante. L'analyse de la variance et le test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% a montré l'existence de deux groupes statistiquement homogènes. Le premier groupe est constitué par les traitements enregistrant le plus grands nombres de feuilles par plante et qui sont par ordre décroissant TP, H3, H4, B1, H2, P1, P3, P2, B2, H1, P4, B4 et P2. Le deuxième groupe est formé par les traitements B4 et B3. Le plus faible nombre de feuille (3 par plant) est enregistré dans le traitement TE qui constitue le deuxième groupe.

Tableau 22: Variation de la production de feuilles en fonction des traitements de binage en condition fertilisée

Traitement	Nombre de feuilles à la récolte	
	2016	2017
TP	10,5 ^a	13,6 ^a
B1	10,3 ^a	12,5 ^a
H4	10,3 ^a	12,6 ^a
H3	10,2 ^a	13,2 ^a
B2	10,2 ^a	11,3 ^a
B3	8,9 ^{ab}	8,2 ^a
H2	8,6 ^{abc}	12,1 ^a
P1	7,7 ^{abc}	12,0 ^a
P3	6,5 ^{abcd}	11,6 ^a
P4	5,4 ^{abcd}	9,3 ^a
B4	4,6 ^{bcd}	8,3 ^a
P2	4,3 ^{bcd}	11,5 ^a
H1	3,7 ^{cd}	10,2 ^a
TE	1,9 ^d	3 ^b
Moyenne	7,3	10,6
Coefficient de variation (%)	19,1	26,0
Probabilité et signification	<0,001 ***	<0,001 ***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Conclusion partielle sur la production en feuilles de la plante

La production en feuilles du sorgho varie significativement en fonction de l'année, de la fertilisation et des traitements de binage.

La production de feuilles a été plus importante à la deuxième année d'expérimentation indépendamment de l'apport ou non d'engrais.

La fertilisation azotée augmente la production en feuilles de la plante.

Un contrôle précoce des adventices (TP, B1, B2) et un enherbement tardif (H3, H4) permettent d'obtenir une production en feuilles plus importantes.

6.3.2. Variation de la hauteur des plantes en fonction de l'année, de la fertilisation et des traitements de binages

Variation de la hauteur en fonction de l'année

Les résultats de l'analyse de la variance sur la hauteur des plantes de sorgho en fonction de l'année sont consignés dans le Tableau 23.

Condition non fertilisée (F0):

En 2016, la hauteur moyenne des plantes de sorgho étaient de 48,4 cm contre 85 cm en 2017. Les résultats de l'analyse de la variance suivie du test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% ont montré une différence significative des hauteurs d'une année à l'autre. En 2017 les plants de sorgho mesuraient en moyenne 85 cm alors qu'en 2016, la hauteur des plantes étaient de 48 cm.

Condition fertilisée (F1):

L'analyse de la variance suivie du test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% a montré une différence significative de la hauteur des plants de sorgho d'une année à l'autre. Ainsi, les hauteurs les plus élevées ont été notées en 2017 avec en moyenne 1,5m/plante contre 0,8m/plante l'année précédente.

Tableau 23: Variation de la hauteur en fonction de l'année

Traitement	Moyenne	
	F0	F1
2016	48,4 ^b	79,7 ^a
2017	85,0 ^a	150,0 ^b
Probabilité	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Variation de la hauteur des plantes de sorgho en fonction des traitements de binages

En condition non fertilisée (F0):

L'analyse de la variance à un facteur et le test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% ont montré une différence significative entre les traitements de binage en 2016 et en 2017 (Tableau 24).

En 2016, la hauteur des plantes est en moyenne de 48,4 cm cependant avec une forte variabilité selon les groupes de traitements. Le premier groupe est formé par les traitements présentant les meilleures hauteurs et qui sont par ordre croissant H3, H2, B1, H4 et TP. Cependant, l'essentiel des traitements se regroupe dans un groupe intermédiaire dont les valeurs tournent autour de celui de la moyenne générale. Il s'agit des traitements, B2, B3, H1, P4, P1, P3 et B4. Le troisième groupe est formé des traitements P2 et TE qui renferment les hauteurs moyennes les plus faibles.

En 2017, les traitements ont un effet significatif sur la hauteur des plantes de sorgho qui est en moyenne de 85 cm. Cependant, les traitements ne sont pas repartis uniformément autour de la moyenne et l'analyse de la variance et le test de Student Newman Keuls au seuil de 5% ont mis en évidence 5 groupes homogènes. Le premier groupe est formé par les traitements B1, TP, B2 et H4 qui présentent les hauteurs les plus élevées de plus de 133cm en moyenne. Le cinquième groupe est formé par le témoin enherbé où les plus faibles hauteurs sont notées de l'ordre de 80 cm. Entre ces deux groupes, il existe trois groupes homogènes dont le classement des différents traitements par ordre décroissant s'établit ainsi comme suit : P3, H3, P1, P4, H2, H1, B3, B4 et P2.

Tableau 24: Variation de la hauteur des plantes de sorgho en fonction des traitements de binages en condition non fertilisée

Traitement	Hauteur des plantes à maturité (cm)	
	2016	2017
TP	81,2 ^a	133,9 ^a
H4	77,1 ^a	133,8 ^a
B1	68,9 ^a	134,5 ^a
H2	68,8 ^a	85,1 ^{ab}
H3	63,5 ^a	96,7 ^{ab}
B2	56,6 ^{ab}	133,9 ^a
B3	54,3 ^{ab}	46,6 ^{bc}
H1	53,8 ^{ab}	53,5 ^{abc}
P4	37,1 ^{ab}	88,5 ^{ab}
P1	36,3 ^{ab}	95,3 ^{ab}
P3	30,2 ^{ab}	105,1 ^{ab}
B4	29,6 ^{ab}	43,6 ^{bc}
P2	9,2 ^c	38,1 ^{bc}
TE	10,5 ^c	0,8 ^c
Moyenne	48,4	85,0
Coefficient de variation (%)	25,4	24,7
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

En condition fertilisée (F1):

L'analyse de la variance à un facteur et le test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% a montré une différence significative entre les traitements de binage en 2016 et en 2017 en condition fertilisée (Tableau 25).

En 2016, la moyenne des plantes de sorgho était de 79,7 cm cependant avec une forte variabilité selon le traitement et qui a abouti à la formation de 6 groupes homogènes. Le traitement B1 forme le premier groupe avec une moyenne de 154,3 cm de hauteur. Le deuxième groupe renferme les traitements TP, H4 et H3 dont la hauteur moyenne des plantes est respectivement de 120 ; 114 et 111 cm. Les hauteurs les plus faibles sont enregistrées dans les traitements H1 et TE qui forment respectivement les groupes 5 et 6. Le classement des autres groupes de traitements dans l'ordre décroissant selon la hauteur s'établit comme suit : B2, H4, H3, H2, B3, P1, P2, P3, P4 et B4.

En 2017, l'analyse de la variance et le test de Student Newman Keuls montre que la hauteur moyenne dans les différents traitements de binage est de 150 cm réparties dans trois groupes statistiquement homogènes. Le premier groupe rassemble les traitements ayant les hauteurs les plus élevées. Il s'agit par ordre croissant de H2, B1, H3, H4 et TP avec des hauteurs respectives de 196, 199, 200, 201 et 217 cm. Le groupe intermédiaire est par ordre décroissant composé des traitements P1, B2, P3, H1, P4, P2, B4 et B3. Le dernier groupe renferme le traitement TE dont les plantes ayant des hauteurs les plus faibles (44,5 cm/plante) sont enregistrées.

Tableau 25: Variation de la hauteur des plantes de sorgho en fonction des traitements de binages en condition fertilisée

Traitement	Hauteur des plantes à maturité (cm)	
	2016	2017
B1	154,3 ^a	198,6 ^a
TP	119,9 ^{ab}	216,7 ^a
H4	114,3 ^{ab}	201,2 ^a
H3	111,2 ^{ab}	200,3 ^a
H2	88,8 ^{bc}	196,2 ^a
P1	77,5 ^{bcd}	164,7 ^{ab}
B2	118,9 ^{ab}	162,1 ^{ab}
P3	52,0 ^{bcd}	137,7 ^{ab}
H1	31,3 ^{cd}	134,9 ^{ab}
P4	43,3 ^{cd}	131,1 ^{ab}
P2	60,6 ^{bcd}	130,0 ^{ab}
B4	38,6 ^{cd}	97,6 ^{ab}
B3	88,7 ^{bc}	84,9 ^{ab}
TE	16,4 ^d	44,5 ^b
Moyenne	79,7	150
Coefficient de variation (%)	23,1	21,9
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Conclusion partielle sur la croissance en hauteur de la plante

La croissance en hauteur des plantes est un caractère agromorphologique qui est dépendant de l'année de la fertilisation azotée et des traitements de binage.

La croissance en hauteur des plantes varie significativement d'une année à l'autre.

La fertilisation azotée augmente la croissance en hauteur du sorgho.

Les hauteurs sont plus élevées dans les traitements de binage précoce (TP, B1) et d'enherbement tardif (H4).

6.3.3. Variation du diamètre au collet en fonction de l'année et de la fertilisation

Variation du diamètre au collet en fonction de l'année

En condition non fertilisée (F0):

En absence d'engrais azoté, l'analyse de la variance et le test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% n'ont pas montré une différence significative du diamètre au collet (Tableau 26). Toutefois, en valeur absolue, les diamètres au collet les plus élevés sont notés à la première année d'expérimentation de 0,83 cm contre 0,71cm à la deuxième année d'expérimentation.

En condition fertilisée (F1):

Le diamètre au collet des tiges de sorgho varie significativement en fonction de l'année. En moyenne, chaque tige de sorgho avait 1,3 cm de diamètre en 2017 contre 0,99 cm de diamètre en 2016.

Tableau 26: Variation du diamètre au collet en fonction de l'année et de la fertilisation

Traitement	Moyenne	
	F0	F1
2016	0,83 ^a	0,99 ^b
2017	0,71 ^a	1,30 ^a
Probabilité	0,133 ^{ns}	0,004 ^{**}

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Variation du diamètre au collet en fonction des traitements de binage

En condition non fertilisée (F0):

Le diamètre au collet des plantes de sorgho varie significativement en fonction des différents traitements de binage au cours des deux années d'expérimentation (Tableau 27).

En 2016, l'analyse de la variance suivie du test de Student Newman Keuls au seuil de 5% sur le diamètre au collet des plantes a fait ressortir 7 groupes de traitements homogènes. Le premier groupe avec les diamètres les plus importants (en moyenne de 1,2 cm) est formé par le témoin propre. Le deuxième groupe renferme le traitement H4 avec un diamètre moyen de 1,1 cm. Les autres traitements sont répartis dans les trois autres groupes et renferment par ordre décroissant les traitements B1, H3, B2 B3, P1, P4, P3 et B4. Les traitements P2 et TE possèdent les plantes de sorgho au diamètre au collet les plus faibles avec respectivement 0,2 et 0,1 cm.

En 2017 l'analyse de la variance à un facteur suivie du test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% a révélé l'existence de 8 groupes statistiquement homogènes. Le groupe 1 est formé par les traitements TP, B1, H3, et B2 où les diamètres au collet les plus élevés sont enregistrés. Il est suivi du groupe 2 qui renferme le traitement H4 et H2. Le troisième groupe renferme le traitement B3 dont le diamètre au collet est en moyenne de 1,0 cm par plante. Les diamètres les plus faibles sont enregistrés dans le groupe 8 formé par le témoin enherbé qui n'a connu aucun binage de la levée à la récolte. Les autres traitements sont dispersés dans les groupes intermédiaires et sont par ordre décroissant P1, P3, P4, H1, B4 et P2.

Tableau 27: Variation du diamètre au collet en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée

Traitement	Diamètre au collet des plantes à maturité (cm)	
	2016	2017
TP	1,2 ^a	1,3 ^a
H4	1,1 ^{ab}	1,1 ^{ab}
H2	1,0 ^{abc}	1,1 ^{ab}
B1	1,0 ^{abc}	1,2 ^a
H3	0,9 ^{abc}	1,2 ^a
B2	0,8 ^{abc}	1,2 ^a
H1	0,8 ^{abc}	0,6 ^{cd}
B3	0,7 ^{abc}	1,0 ^{abc}
P1	0,6 ^{abcd}	0,8 ^{abcd}
P4	0,6 ^{abcd}	0,6 ^{cd}
P3	0,5 ^{bcd}	0,7 ^{bcd}
B4	0,5 ^{cd}	0,5 ^{de}
P2	0,2 ^d	0,4 ^{de}
TE	0,1 ^d	-
Moyenne	0,7	0,83
Coefficient de variation (%)	27,4	21,2
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

En condition fertilisée (F1):

Les différents traitements de binage ont un effet significatif sur le diamètre au collet des plantes de sorgho (Tableau 28).

En 2016, le diamètre au collet des tiges étaient en moyenne de 1,0 cm cependant avec des disparités qui ont abouti à la formation de 6 groupes statistiquement homogènes. Les diamètres les plus élevés sont retrouvés dans le groupe 1 formé par les traitements TP, B2, H3 et B1. Les traitements B3, H2 et H4 forment le deuxième groupe avec respectivement des moyennes de 1,3; 1,2 et 1,2 cm par traitement. Le troisième groupe rassemble les traitements P1 et P3. Les diamètres au collet les plus faibles sont enregistrés dans les traitements P2, H1, B4 et TE.

En 2017, les plantes de sorgho ont en moyenne 1,3 cm de diamètre répartis dans 5 groupes statistiquement homogènes. Les diamètres au collet les plus faibles sont notés dans le traitement TE et en moyenne de 0,3 cm par plants de sorgho. Il est suivi par les traitements B4 et B3 où le diamètre est en moyen de 0,7 cm. Les diamètres au collet les plus élevés sont enregistrés dans le groupe du TP et H4 suivi du groupe formé par les traitements B1 et H3. Le

reste des traitements tourne autour de la moyenne générale et par ordre décroissant s'agence ainsi que suit : P1, H2, P2, B2, H1 et P4.

Tableau 28: Variation du diamètre au collet en fonction des traitements de binage en condition fertilisée

Traitement	Diamètre au collet des plantes à maturité (cm)	
	2016	2017
TP	1,5 ^a	2,0 ^a
B2	1,5 ^a	1,3 ^{abc}
H3	1,5 ^a	1,6 ^{ab}
B1	1,4 ^a	1,7 ^{ab}
B3	1,3 ^{ab}	0,7 ^{bc}
H2	1,2 ^{ab}	1,4 ^{abc}
H4	1,2 ^{ab}	1,8 ^a
P1	1,0 ^{abc}	1,4 ^{abc}
P3	0,9 ^{abc}	1,4 ^{abc}
P4	0,7 ^{bcd}	1,0 ^{abc}
P2	0,5 ^{cd}	1,4 ^{abc}
H1	0,5 ^{cd}	1,36 ^{abc}
B4	0,5 ^{cd}	0,7 ^{bc}
TE	0,2 ^d	0,3 ^c
Moyenne	1,0	1,3
Coefficient de variation (%)	22,8	20,1
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Conclusion partielle sur le diamètre au collet

L'année, la fertilisation et les traitements de binage ont un effet significatif sur la variation du diamètre au collet.

L'année a une influence significative sur la circonférence des tiges de sorgho.

La fertilisation azotée augmente la circonférence des tiges de sorgho.

Les circonférences les plus élevées sont obtenues dans les traitements de binage précoce (TP, B1) et d'enherbement tardif (H4).

6.3.4. Variation de la feuille drapeau en fonction de l'année, de la fertilisation et des traitements de binages

Variation de la longueur de la feuille drapeau en fonction de l'année et de la fertilisation

Les résultats de l'effet de l'année sur l'élongation de la feuille drapeau sont consignés dans le Tableau 29. Ces résultats indiquent que, indépendamment de la fertilisation, l'année a un effet significatif sur la longueur de la feuille drapeau.

En condition non fertilisée (F0):

L'analyse de la variance suivie du test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls montre que la feuille drapeau mesurait en moyenne 18,2 cm en 2017 contre 12,4 cm en 2016.

En condition fertilisée (F1):

En présence d'engrais azoté, une feuille drapeau mesurait en moyenne 17,7 cm et 21,9 cm respectivement en 2016 et en 2017.

Tableau 29: Variation de la longueur de la feuille drapeau en fonction de l'année

Traitement	Moyenne	
	F0	F1
2016	12,4 ^b	17,7 ^b
2017	18,2 ^a	21,9 ^a
Probabilité	0,001 **	0,0347 *

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Variation de la longueur de la feuille drapeau en fonction des traitements de binage

Le Tableau 30 présente les résultats de l'analyse de la variance à un facteur et le test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5%. Les traitements de binage ont significativement influencé la longueur des feuilles aussi bien en 2016 qu'en 2017.

En effet, en 2016, la feuille drapeau mesurait en moyenne 12,4 cm cependant avec des variabilités de part et d'autres de la moyenne. Ainsi, le test de Student Newman Keuls a révélé l'existence de trois groupes statistiquement homogènes. Le premier groupe est constitué par les traitements H4, TP, B1 H2 et B3 dont la moyenne des feuilles drapeau est la plus élevée. Le deuxième groupe renferme l'essentiel des traitements qui sont par ordre croissant P3, B4, H1, P1, P4, B2 et H3. Les moyennes les plus faibles sont répertoriées dans les groupes formés par les traitements TE et P2 qui sont respectivement de 1,6 cm et 0,4 cm.

En 2017, la longueur moyenne d'une feuille drapeau est de 18,2 cm, toutefois avec des variabilités selon les niveaux de traitement qui ont abouti à la création de deux groupes homogènes. Les moyennes les plus élevées sont notées dans le premier groupe constitué par les traitements TP, B2, P3, H4, H3 et B1. Le deuxième groupe renferme par ordre décroissant les traitements P1, P4, B4, B2, H2, B3 et H1.

Tableau 30: Variation de la longueur de la feuille drapeau en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée

Traitement	Longueur feuille drapeau (cm)	
	2016	2017
H4	20,1 ^a	23,8 ^a
TP	18,9 ^a	28,0 ^a
B1	17,9 ^a	21,8 ^a
H2	17,8 ^a	16,3 ^a
B3	17,0 ^a	11,0 ^{ab}
H3	15,3 ^{ab}	23,0 ^a
B2	14,0 ^{ab}	26,0 ^a
P4	11,2 ^{ab}	18,8 ^a
P1	10,7 ^{ab}	18,9 ^a
H1	10,4 ^{ab}	9,0 ^{ab}
B4	9,4 ^{ab}	17,8 ^a
P3	9,0 ^{ab}	24,2 ^a
TE	1,6 ^b	-
P2	0,4 ^b	16,5 ^a
Moyenne	12,4	18,2
Coefficient de variation (%)	21,4	20,6
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

En conditions fertilisée (F1) :

Le Tableau 31 présente les résultats de l'analyse de la variance à un facteur et le test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5%. Les différentes modalités de binage ont significativement influencé la longueur des feuilles drapeau aussi bien en 2016 qu'en 2017.

Les résultats de l'année 2016 indiquent que les feuilles drapeau mesuraient en moyenne 17,7 cm cependant avec une forte hétérogénéité selon les différents traitements. Cette hétérogénéité se caractérise par la formation de six groupes statistiquement homogènes. Le premier groupe rassemble les traitements B1, B2 et TP dans lesquels la longueur des feuilles drapeaux est la plus élevée. Ils sont suivis par ordre décroissant du groupe 2 (H3 et H4), 3 (H2), 4(B3, P3, P1, et P2), 5(P3 et 7 (B4, P4 et H1). Les longueurs des feuilles drapeaux les

plus faibles sont enregistrées dans les groupes 5 (B4, P4, H1) et 6 (TE) où ils sont en moyenne respectivement de 9,1 cm ; 7,3 cm, 4,4 cm et 2,65 cm.

Les résultats de l'année 2017 indiquent qu'en moyenne les feuilles drapeaux mesuraient 21,9 cm et font ressortir deux groupes statistiquement homogènes. Le premier groupe rassemble la quasi-totalité des traitements et dont les longueurs de la feuille drapeau sont les plus élevées. Il s'agit par ordre décroissant des traitements TP, B1, B2, H4, P1, H2, P3, H3, B3, P2, B4, P4 et H1. Les longueurs de la feuille drapeau les plus faibles sont enregistrées dans le troisième groupe constitué par le témoin enherbé de l'ordre de 4,4 cm par plante.

Tableau 31: Variation de la longueur de la feuille drapeau en fonction des traitements de binage en condition fertilisée

Traitement	Longueur de la feuille drapeau (cm)	
	2016	2017
B1	32,6 ^a	26,5 ^a
B2	31,8 ^a	26,5 ^a
TP	31,5 ^a	29,9 ^a
H3	26,7 ^{ab}	23,2 ^a
H4	24,5 ^{ab}	25,5 ^a
H2	19,6 ^{abc}	24,3 ^a
B3	16,3 ^{bcd}	21,7 ^a
P3	14,8 ^{bcd}	23,5 ^a
P1	14,1 ^{bcd}	25,1 ^a
P2	12,6 ^{bcd}	20,2 ^a
B4	9,1 ^{cd}	19,6 ^a
P4	7,3 ^{cd}	18,9 ^a
H1	4,4 ^{cd}	16,8 ^a
TE	2,6 ^d	4,4 ^b
Moyenne	17,7	21,9
Coefficient de variation (%)	23,2	16,4
Probabilité et signification	<0,001 ***	0,007 **

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Conclusion partielle sur la longueur de la feuille drapeau du sorgho

L'année, la fertilisation et les traitements de binage influent significativement sur la croissance de la feuille drapeau.

La longueur de la feuille drapeau varie d'une année à l'autre.

La fertilisation par l'engrais azoté augmente l'allongement des feuilles drapeaux.

Les traitements de binage en début de cycle (TP, H4, B1) permettent d'obtenir des longueurs en feuilles drapeaux élevées.

Conclusion partielle sur les paramètres de croissance

L'année, la fertilisation et les traitements de binages ont significativement influencé l'ensemble des paramètres de croissance.

Le nombre de feuilles, la hauteur et la longueur de la feuille drapeau varie d'une année à l'autre.

La fertilisation a positivement influencé la production de feuilles par plante, la hauteur des plantes et la circonférence au collet des plantes de sorgho.

Un contrôle précoce et étalé dans le temps des adventices agit positivement sur l'ensemble des paramètres de croissance.

6.3.5. Variation de la production en biomasse du sorgho en fonction de l'année et de la fertilisation et des traitements de binage

Les résultats de la variation de la production en biomasse en fonction de l'année et de la fertilisation sont présentés dans le Tableau 32.

En condition non fertilisée (F0):

L'analyse de variance suivie du test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% montrent une différence significative de la production de biomasse selon les années. Ainsi, la production moyenne de biomasse de sorgho à l'hectare était de 1,5 tonne en 2016 contre 2,6 tonnes en 2017.

En condition fertilisée (F1):

L'année a un effet significatif sur la production en biomasse. Les meilleurs résultats (3,2 tonnes/hectare) ont été enregistrés en 2017 contre moitié moins en 2016.

Tableau 32: Variation de la production en biomasse en fonction de l'année

Traitement	Moyenne	
	F0	F1
2016	1497 ^b	3129 ^b
2017	2602 ^a	6241 ^a
Probabilité	0,001 **	<0,001 ***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Variation de la production en biomasse du sorgho en fonction des traitements de binage

L'effet des différents traitements de binage sur la production en biomasse aérienne sèche du sorgho est présenté dans le Tableau 33.

En 2016, la production moyenne de biomasse sèche par hectare s'élevait à 1,5 tonne. L'analyse de la variance à 1 facteur suivie du test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% a permis de distinguer sept groupes homogènes. Le premier groupe est constitué des traitements TP, H4 et B1 où les rendements en biomasse sèche les plus élevées sont enregistrés et sont respectivement de 2,6; 2,7 et 2,8 tonne/hectare. Les autres traitements (H2, B2, H3, P1 H1, B3) ont des rendements dépassant 1 tonne à l'hectare. Les rendements les plus faibles sont notés dans les traitements P3, B4, P2 et TE de respectivement 642 ; 492 ; 261 et 42 kilogramme/hectare.

Les résultats de l'analyse de la variance en 2017 ont montré un effet significatif des traitements de binage sur le rendement en biomasse du sorgho. La variabilité entre les différents groupes de traitement a fait ressortir cinq groupes homogènes. Le groupe 1 est constitué par le traitement TP dont le rendement de 5,5 tonne à l'hectare est le plus élevé. Le deuxième groupe est formé par les traitements B1 et H4 dont les rendements sont respectivement de 5,0 et 4,8 tonnes à l'hectare. Les troisième et quatrième groupes sont constitués par les traitements B2, P3, P1, H3, H2, P4, P2 dont les rendements sont supérieurs à 1,5 tonne à l'hectare. Le dernier groupe recense les traitements H1, B3 et B4 caractérisés par des rendements très faibles dépassant péniblement 500 kilogrammes à l'hectare. Notons que, pour le témoin enherbé, toutes les plantes sont entrées en sénescence bien avant la récolte.

Tableau 33: Variation de la production en biomasse du sorgho en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée

Traitement	Poids biomasse (kg/ha)	
	2016	2017
TP	2819 ^a	5556 ^a
H4	2783 ^a	4889 ^{ab}
B1	2583 ^a	5056 ^{ab}
H2	2136 ^{ab}	2111 ^{abc}
B2	1956 ^{abc}	3389 ^{abc}
H3	1744 ^{abcd}	2361 ^{abc}
P1	1653 ^{abcd}	2639 ^{abc}
H1	1406 ^{abcd}	611 ^c
B3	1319 ^{abcd}	583 ^c
P4	1125 ^{abcd}	1736 ^{bc}
P3	642 ^{bcd}	2782 ^{abc}
B4	492 ^{bcd}	556 ^c
P2	261 ^{cd}	1556 ^{bc}
TE	44 ^d	-
Moyenne	1497	2601
Coefficient de variation (%)	25,9	27,1
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

En condition fertilisée (F1)

L'effet des différents traitements de binage en condition fertilisée sur la production de biomasse est présenté dans le Tableau 34 pour les années 2016 et 2017.

En 2016, la production moyenne en biomasse sèche du sorgho est de 3,1 tonnes à l'hectare. L'analyse de la variance et le test de Student Newman Keuls au seuil de 5% ont permis de ressortir dix groupes homogènes selon les différents traitements de binages. Les rendements en biomasse les plus faibles ont été obtenus dans le groupe constitué par le témoin enherbé (0,5 tonne/hectare). *A contrario*, les rendements les plus élevés ont été obtenus avec le traitement témoin propre (TP) de 6,7 tonnes par hectare. Entre ces deux extrêmes, il existe sept groupements homogènes intermédiaires qui se classent par ordre décroissant d'importance ainsi qu'il suit : B2, B1, H4, H3, B3, P3, P1, P2, P4, H1 et B4.

Les résultats de l'analyse de la variance à un facteur et du test de Student Newman Keuls au seuil de 5% en 2017 ont fait ressortir cinq groupements homogènes en fonction des différents traitements de binage. Le premier groupe est formé par les traitements témoin propre (TP) et binage au 15^e jour (B1) dont le rendement est très élevé et est de 12 tonnes à l'hectare. Le deuxième et le troisième groupe renferment la majorité des traitements avec un rendement qui

varie de 3,3 à 9,6 tonnes à l'hectare. Il s'agit par ordre croissant de P3, P4, P2, B2, H1, H2, H3, P1 et H4. Les traitements B3, B4 et TE forment les quatrième et cinquième groupes au sein desquels les rendements en biomasse sèche les plus faibles sont notés.

Tableau 34: Variation de la production en biomasse du sorgho en fonction des traitements de binage en condition fertilisée

Traitement	Poids biomasse sèche (kg/ha)	
	2016	2017
TP	6728 ^a	12056 ^a
B1	5128 ^{abc}	11972 ^a
B2	5806 ^{ab}	5222 ^{abc}
H4	5111 ^{abc}	9667 ^{ab}
H3	4006 ^{abcd}	8722 ^{abc}
H2	3753 ^{bcd}	7556 ^{abc}
B3	3108 ^{bcdef}	2167 ^{bc}
P3	2361 ^{cdef}	3333 ^{abc}
P1	2261 ^{cdef}	8764 ^{abc}
P2	1933 ^{def}	4444 ^{abc}
P4	1214 ^{def}	4083 ^{abc}
H1	1078 ^{def}	6444 ^{abc}
B4	806 ^{ef}	2556 ^{bc}
TE	519 ^f	381 ^c
Moyenne	3129	6240
Coefficient de variation (%)	25,7	22,9
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Conclusion partielle sur la biomasse

L'année a une influence significative sur le rendement en biomasse du sorgho.

La fertilisation par l'engrais azoté augmente significativement la production en biomasse du sorgho.

Le désherbage précoce et l'enherbement tardif permettent d'obtenir des rendements importants en biomasse.

6.3.6. Variation du rendement en panicules en fonction de l'année et de la fertilisation

Les résultats de l'analyse de la variation du rendement en panicules du sorgho en fonction de l'année sont présentés dans le Tableau 35.

Ces résultats révèlent que indépendamment de l'apport d'engrais le poids des panicules du sorgho varie significativement en fonction de l'année.

En condition non fertilisée (F0):

Les rendements en panicules les plus élevés sont obtenues à la deuxième année d'expérimentation de l'ordre de 1,5 tonne à l'hectare contre 1,1 tonne à l'hectare en 2016.

En condition fertilisée (F1):

La production de panicules s'élevait en moyenne à 3 tonnes à l'hectare contre 1,8 tonne à l'hectare en 2016.

Tableau 35: Variation du rendement en panicules en fonction de l'année

Traitement	Moyenne	
	F0	F1
2016	1091 ^b	1839 ^b
2017	1550 ^a	3060 ^a
Probabilité	0,021*	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Variation du rendement paniculaire du sorgho en fonction des différents traitements de binage

En condition non fertilisée (F0):

L'analyse de la variance à 1 facteur et le test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% ont ressorti une différence significative entre les traitements de binage sur le rendement en panicule du sorgho en 2016 et en 2017 (Tableau 36).

En 2016, le rendement en panicule du sorgho était de 1,1 tonne à l'hectare cependant avec une variabilité selon les différents traitements de binage ce qui a abouti à la formation de cinq groupes statistiquement homogènes. Les rendements, les plus élevés, sont obtenus dans le traitement enherbement tardif (H4) qui constitue le groupe 1. Le deuxième groupe aussi ne renferme que le traitement le témoin propre (TP) dont le rendement moyen s'élève à 1,9 tonne à l'hectare. Les rendements les plus faibles en poids panicule sont notés dans les groupes 4 (B4 et P4) et 5 (TE). L'essentiel des traitements appartiennent au groupe 3 dont le rendement en panicules oscille entre 0,6 et 1,8 tonne à l'hectare. Ce sont par ordre croissant les traitements P3, B3, P2, P1, H1, H2, H3 et B1.

En 2017, la production moyenne en panicule du sorgho était de 1,5 tonne/hectare réparties de façon hétérogène entre les différents traitements de binage. Les rendements les plus élevés ont

été enregistrés dans le traitement enherbement tardif (H4) suivi du traitement témoin propre (TP) et du traitement maintenu propre depuis le 15^e jour après semis (B1). Les rendements les plus faibles sont notés dans les traitements H1, B3 et B4 de moins de 0,5 tonne/hectare. A noté qu'aucun plant de sorgho n'a épié dans le traitement témoin enherbé (TE).

Tableau 36: Rendement paniculaire du sorgho en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée.

Traitement	Poids panicules (kg/ha)	
	2016	2017
H4	2149 ^a	3128 ^a
TP	1935 ^{ab}	2958 ^{ab}
B1	1826 ^{abc}	2821 ^{abc}
H3	1541 ^{abc}	1877 ^{abcd}
H2	1263 ^{abc}	1098 ^{cde}
B2	1262 ^{abc}	2144 ^{abcd}
H1	1005 ^{abc}	410 ^{de}
P1	959 ^{abc}	1846 ^{abcd}
P2	959 ^{abc}	1313 ^{bcde}
B3	897 ^{abc}	410 ^{de}
P3	579 ^{abc}	2154 ^{abcd}
B4	355 ^{bc}	462 ^{de}
P4	315 ^c	1077 ^{cde}
TE	226 ^c	-
Moyenne	1091	1550
Coefficient de variation	22,6	20,9
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

En condition fertilisée (F1):

Le Tableau 37 représente le rendement en panicule des différents traitements de binage durant les saisons culturales 2016 et 2017.

L'analyse de la variance à 1 facteur suivie du test de Student Newman Keuls au seuil de 5% a montré un effet significatif du binage sur le rendement en panicule du sorgho avec la formation de quatre groupes statistiquement homogènes. Les rendements les plus faibles sont enregistrés dans les groupes 4 qui renferme les traitements P1, P3, P4, B4, TE et H1. *A contrario*, les rendements les plus élevés sont notés dans le groupe 1 dont les traitements par ordre décroissant sont classés ainsi que suit : B2, TP et B1. Le deuxième groupe renferme les traitements H3 et H4 qui ont respectivement des rendements de 3,1 et 3,0 tonne à l'hectare. Le troisième groupe est constitué par les traitements H2, B3 et P2.

En 2017, les résultats de l'analyse de la variance et le test de Student Newman Keuls au seuil de 5% ont permis de classer les différents traitements de binage en cinq groupes

statistiquement homogènes. Le meilleur rendement est obtenu dans le témoin propre et avoisine les six tonnes à l’hectare. Les traitements B1 et H4 se caractérisent aussi par des rendements élevés respectivement de 5,1 et 4,5 tonnes à l’hectare. Le rendement le plus faible est enregistré dans le témoin enherbé et est de 0,3 tonne à l’hectare. Le classement des autres traitements par ordre décroissant de rendement donne : B2, P1, H3, H2, H1, P2, B3, P4, B4 et P3.

Tableau 37: Rendement paniculaire du sorgho en fonction des traitements de binage en condition fertilisée.

Traitement	Poids panicules (kg/ha)	
	2016	2017
B2	4164 ^a	3741 ^{abc}
TP	3965 ^a	5897 ^a
B1	3632 ^a	5117 ^{ab}
H3	3164 ^{ab}	3693 ^{abc}
H4	3021 ^{ab}	4533 ^{ab}
H2	1647 ^{bc}	3487 ^{abc}
B3	1616 ^{bc}	2256 ^{abc}
P2	1462 ^{bc}	2342 ^{abc}
P1	1041 ^c	3705 ^{abc}
P3	667 ^c	1538 ^{bc}
P4	518 ^c	2000 ^{bc}
B4	441 ^c	1692 ^{bc}
TE	221 ^c	308 ^c
H1	184 ^c	2528 ^{abc}
Moyenne	1839	3060
Coefficient de variation	23,6	22,2
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Conclusion partielle sur le rendement en panicules du sorgho

L’année, la fertilisation minérale et les traitements de binage influent significativement sur le rendement paniculaire du sorgho.

Le rendement en panicules du sorgho est variable d’une année à l’autre.

La fertilisation augmente significativement le rendement en panicules du sorgho.

Le désherbage précoce et l’enherbement tardif permettent d’obtenir des rendements élevés en panicules.

6.3.7. Variation du rendement en grains du sorgho en fonction de l'année et des traitements de binage

Variation du rendement en grains du sorgho en fonction de l'année

Le Tableau 38 présente les résultats de l'analyse de la variance et le test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% sur le rendement en grains du sorgho en fonction de l'année.

En condition non fertilisée (F0):

Les résultats indiquent que le rendement grains du sorgho à l'hectare ne varie pas significativement d'une année à l'autre. Cependant, le rendement le plus élevé a été noté en 2016 et est de 740 kg à l'hectare contre 642 kg à l'hectare en 2017.

En condition non fertilisée (F1):

Le rendement en grains est significativement influencé par l'année. En effet, l'analyse de la variance suivie du test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5 % ont montré une différence significative du rendement en grains en fonction de l'année. En 2017, le rendement grain du sorgho avoisinait les 2 tonnes à l'hectare contre 1 tonne à l'hectare l'année précédente.

Tableau 38: Variation du rendement en grains du sorgho en fonction de l'année

Traitement	Moyenne	
	F0	F1
2016	740 ^a	1069 ^b
2017	642 ^a	1814 ^a
Probabilité	0,449 ^{ns}	0,0015 ^{**}

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Variation du rendement en grains du sorgho en fonction des traitements de binage

En condition non fertilisée (F0):

Le Tableau 39 représente les rendements en grains du sorgho en condition non fertilisée durant les saisons culturales 2016 et 2017.

En 2016, le rendement en grains du sorgho était de 740 kilogrammes à l'hectare. L'analyse de la variance et les tests statistiques ont mis en évidence une forte disparité de rendement entre les différents traitements. Les rendements les plus élevés ont été obtenus dans les traitements enherbement tardif (H4) et témoin propre (TP) qui forment les deux premiers groupes. Le troisième et le quatrième groupe renferment le plus grand nombre de traitements. Il s'agit par

ordre décroissant de H3, B1, H2, P1, H1, B2, P4, P2, B3, P3 et B4. Avec 42 kg/ha, le traitement témoin enherbé (TE) enregistre le plus faible rendement.

En 2017, l'analyse de la variance et le test de Student Newman Keuls au seuil de 5% a mis en évidence l'effet des traitements de binage sur le rendement en grains du sorgho. Ainsi, cinq groupes homogènes peuvent être distingués. Le premier groupe est formé par le témoin propre dont le rendement en grains a été le plus élevé. Les traitements H4 et B1 forment le deuxième groupe avec respectivement des rendements de 1,3 et 1,4 tonne à l'hectare. Les groupes 3 et 4 renferment les traitements P3, B2, P1, H3, H2, P2 et P4 dont les rendements gravitent de part et d'autre de la moyenne générale. Les traitements B4, H1 et B3 constituent un groupe au sein duquel les rendements les plus faibles de respectivement 86 ; 61 et 59 kg/ha sont notés.

Tableau 39: Variation du rendement en grains du sorgho en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée

Traitement	Rendement grains (kg/ha)	
	2016	2017
H4	2008 ^a	1283 ^{ab}
TP	1521 ^{ab}	1438 ^a
H3	1183 ^{abc}	663 ^{abc}
B1	1163 ^{abc}	1379 ^{ab}
H2	959 ^{abc}	546 ^{abc}
P1	678 ^{bc}	758 ^{abc}
H1	670 ^{bc}	61 ^c
B2	627 ^{bc}	856 ^{abc}
P4	522 ^{bc}	411 ^{bc}
P2	389 ^{bc}	535 ^{abc}
B3	297 ^{bc}	59 ^c
P3	170 ^{bc}	908 ^{abc}
B4	125 ^{bc}	86 ^c
TE	42 ^c	-
Moyenne	740	642
Coefficient de variation (%)	19,4	21,7
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

En condition fertilisée (F1):

Le Tableau 40 représente l'effet des traitements de binage sur le rendement en grains du sorgho en conditions fertilisées en 2016 et en 2017.

Les résultats de l'année 2016 soumis à une analyse de la variance et au test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% font ressortir une grande variabilité de l'effet des traitements de binage sur le rendement en grains du sorgho en condition

fertilisée. Les tests ont mis en évidence six groupes homogènes. Les deux témoins (TP et TE) forment les deux extrêmes avec respectivement 32 kg/ha pour le témoin maintenu enherbé et 2592 kg/ha pour le témoin maintenu propre. Entre les deux se trouvent quatre groupes dont le classement par ordre décroissant donne B1, B2, H4, H3, H2, B3, P2, P1, P3, P4, B4 et H1.

En 2017, le rendement moyen en sorgho grain est de 1,8 tonne à l'hectare cependant avec une variabilité qui a mis en exergue sept groupes statistiquement homogènes. Les rendements les plus élevés ont été obtenus dans le premier groupe constitué par le traitement propre (TP) de l'ordre de 3,9 tonne/ha. Les groupes 2 et 3 renferment respectivement les traitements B1 et H4. Les rendements les plus faibles (114kg/ha) ont été enregistrés dans le septième groupe formé par le témoin enherbé. Le rendement dans les groupes 4 (H3 et P1), 5(P2 et H1) et 6 (B3, P3, P4 et B4) varie entre 0,9 et 2,3 tonne à l'hectare.

Tableau 40: Variation du rendement en grains du sorgho en fonction des traitements de binage en condition fertilisée

Traitement	Rendement grain (kg/ha)	
	2016	2017
TP	2592 ^a	3898 ^a
B1	2326 ^a	3285 ^{ab}
B2	2192 ^{ab}	2246 ^{abcd}
H4	1902 ^{abc}	2780 ^{abc}
H3	1877 ^{abc}	2277 ^{abcd}
H2	944 ^{bcd}	2143 ^{abcd}
B3	877 ^{bcd}	893 ^{cd}
P2	798 ^{bcd}	1595 ^{bcd}
P1	613 ^{cd}	2086 ^{abcd}
P3	344 ^d	721 ^{cd}
P4	271 ^d	974 ^{cd}
B4	134 ^d	871 ^{cd}
H1	70 ^d	1514 ^{bcd}
TE	32 ^d	114 ^d
Moyenne	1069	1814
Coefficient de variation	17,6	17,7
Probabilité et signification	<0,001***	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Conclusion partielle sur le rendement en grains du sorgho

L'année a une influence variable sur le rendement en grains du sorgho.

La fertilisation en engrais azoté augmente significativement le rendement du sorgho.

Un contrôle précoce et prolongé des adventices permet d'obtenir des rendements en grains du sorgho significativement élevés et indépendamment de la fertilisation.

6.3.8. Variation du poids mille grains en fonction de l'année et de la fertilisation

Le Tableau 41 présente la variabilité du poids mille grains en fonction de l'année dans les différentes conditions de culture.

En condition non fertilisée (F0):

Les résultats de l'analyse de la variance et du test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% ont révélé une différence significative du PMG selon l'année d'expérimentation. En moyenne, le PMG est plus élevés en 2016 avec en moyenne 20,8 grammes alors que le PMG moyen en 2017 est de 17,7 grammes.

En condition fertilisée (F1):

L'année a une influence significative sur le PMG en condition fertilisée. Ainsi, les moyennes de PMG les plus élevés sont notés en 2017 avec 26,6 grammes tandis en 2016, mille grains pesaient en moyenne 19,2 grammes.

Tableau 41: Variation du poids mille grains en fonction de l'année

Traitement	Moyenne	
	F0	F1
2016	20,8 ^a	19,2 ^b
2017	17,7 ^b	26,6 ^a
Probabilité	0,0186*	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Variation du poids mille grains du sorgho en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée

En condition non fertilisée (F0):

Le Tableau 42 représente la variation du poids mille grains des années 2016 et 2017 en fonction des différents traitements de binage en condition non fertilisés.

En 2016, les résultats de l'analyse de la variance et du test de Student Newman Keuls au seuil de 5% montrent un effet binage sur le poids mille grains caractérisé par la formation de trois groupes statistiquement homogènes. Le premier groupe est constitué par les traitements enherbement tardif (H4) et désherbage précoce (B1) dans lesquels le poids mille grains est le plus élevé. Le deuxième groupe rassemble la majorité des traitements qui par ordre d'importance sont : B2, TP, P1, H1, B3, H2, P3, H3, P2 et B4. Le troisième groupe renferme

le traitement P4 dont le poids mille est grains est le plus faibles de tous les traitements à l'exception du témoin enherbé.

En 2017, l'analyse de la variance et le test de Student Newman Keuls au seuil de 5% ont montré un effet significatif de l'effet binage sur le poids mille grains du sorgho en condition non fertilisée avec la formation de six groupes statistiquement homogènes. Le groupe 1 est formé par les traitements TP, H4, P3 et P4 où les PMG les plus élevés sont notés. *A contrario*, le traitement B4 qui consiste à désherbage tardif enregistre le PMG le plus faibles de 9,2 grammes.

Tableau 42: Variation du poids mille grains du sorgho en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée

Traitement	Poids mille grains (grammes)	
	2016	2017
H4	28,1 ^a	22,0 ^a
B1	26,1 ^a	19,9 ^{ab}
B2	23,9 ^{ab}	18,1 ^{abc}
TP	22,9 ^{ab}	23,8 ^a
P1	22,6 ^{ab}	20,0 ^{ab}
H1	22,6 ^{ab}	12,4 ^{bcd}
B3	21,4 ^{ab}	11 ^{cd}
H2	20,3 ^{ab}	17,0 ^{abc}
P3	20,1 ^{ab}	20,7 ^a
H3	18,7 ^{ab}	17,7 ^{abc}
P2	17,5 ^{ab}	17,2 ^{abc}
B4	16,0 ^{ab}	9,2 ^d
P4	10,4 ^b	21,7 ^a
TE	-	-
Moyenne	20,8	26,6
Coefficient de variation (%)	24,9	18,9
Probabilité et signification	0,035**	<0,001***

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

En condition fertilisée (F1):

Le Tableau 43 représente la variation du poids mille grains du sorgho en 2016 et 2017 en fonction des différents traitements de binage en condition fertilisée.

En 2016, le binage a eu un effet significatif sur la variation du poids mille grains dont la moyenne était de 19,2. Le test de Student Newman Keuls au seuil de 5% a fait ressortir quatre groupes statistiquement identiques. Le groupe 4 renferme les traitements P4, H1 dont les moyennes de 11,2 et 11,8 grammes/1000 sont les plus faibles de tous les traitements. Les

poids mille grains les plus élevés sont notés dans les traitements B2, H3, P2 et H4 qui forment le premier groupe. Les groupes 3 et 4 renferment par ordre d'importance les traitements B1, P3, P1, B3, TP, H2 ET B4.

L'analyse de la variance à un facteur et le test de comparaison des moyennes de Student Newman Keuls au seuil de 5% n'ont pas ressorti un effet binage sur le poids mille grains. Cependant, les poids mille grains les plus élevés ont été notés dans les traitements TP, B2, B1 et H2. Le traitement P3 a enregistré le PMG le plus faible soit 21 grammes par mille grains. Le classement des autres traitements par ordre décroissant d'importance donne H3, P2, H4, H2, P1, H1, B4, P4 et B3.

Tableau 43: Variation du poids mille grains du sorgho en fonction des traitements de binage en condition non fertilisée

Traitement	Poids mille grains (grammes)	
	2016	2017
TP	19,8 ^{ab}	30,8
B2	23,7 ^a	28,5
B1	21,3 ^{ab}	28,3
H3	22,5 ^a	27,7
H4	22,1 ^a	27,3
P2	22,7 ^a	27,4
H2	18,9 ^{ab}	28,5
P1	20,9 ^{ab}	27,7
H1	11,8 ^c	27,1
B4	13,9 ^{bc}	24,1
P4	11,2 ^c	23,1
P3	21,3 ^{ab}	21,1
B3	19,9 ^{ab}	23,8
TE	-	-
Moyenne	19,2	21,2
Coefficient de variation (%)	14,8	18,9
Probabilité et signification	<0,001 ***	0,083 ^{ns}

ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Conclusion partielle sur le calibre grains

Le calibre grain varie significativement en fonction de l'année.

La fertilisation a un effet variable sur le poids mille grains.

Les traitements de binage ont un effet variable sur le calibre grain cependant les poids mille grains les plus élevés sont généralement obtenus dans les traitements de binage précoce et d'enherbement tardif.

Conclusion partielle sur les paramètres du rendement

Le rendement et les composantes du rendement (production en biomasse, rendement en panicules, le rendement en grain et le PMG) dépendent significativement de l'année, de la fertilisation et de la durée de l'enherbement.

La variabilité des facteurs annuels affectent significativement le rendement et les paramètres de rendement du sorgho.

L'apport de fertilisants entraîne une augmentation du rendement du sorgho et de ses composants.

Les traitements de binage montrent que le rendement et ses composants augmentent de manière inversement proportionnelle à la durée de compétition des adventices vis-à-vis de la culture du sorgho.

6.3.9. Relation entre paramètres de croissance, de rendement et le rendement en conditions fertilisée et non fertilisée

Caractéristique des paramètres de croissance, de rendement et le rendement sur les axes factoriels en condition non azotée (F0):

L'étude des caractéristiques des paramètres de croissance, des paramètres de rendement et des rendements en condition non fertilisée (F0), ont été réalisées dans le cercle de corrélation dans la Figure 15.

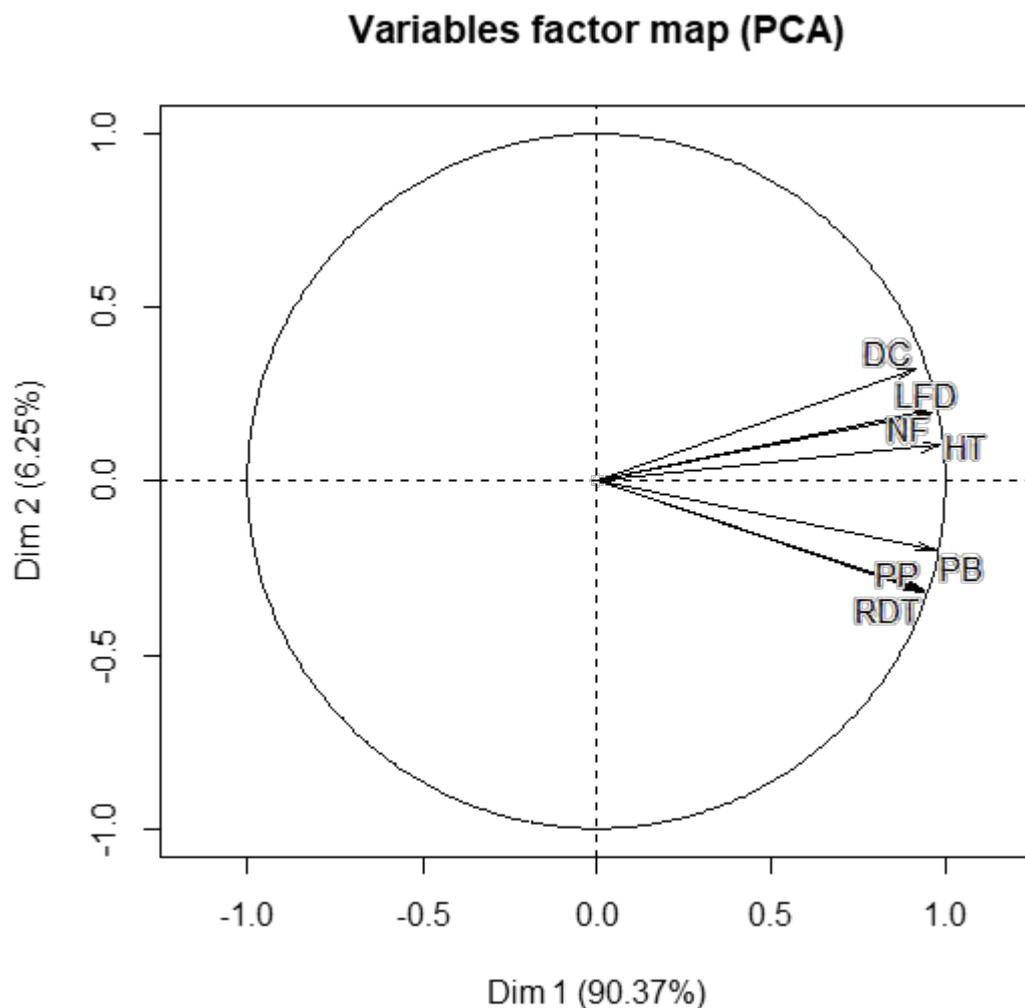


Figure 15: Cercle de corrélations des variables sur les paramètres de croissance, de rendement et le rendement en condition non azotée (F0), dans le plan des axes 1 et 2.

Les résultats indiquent que la part de l'information portée par les axes est de 96,62% avec respectivement 90,37% pour l'axe 1 et 6,25% pour l'axe 2. L'axe 1 porte donc l'essentiel de l'information. L'ensemble des variables sont positivement corrélés à cet axe. Par contre l'axe

2 oppose les variables des paramètres de croissance (corrélation positive) et les paramètres de rendement et le rendement (corrélation négative). Il ressort de cette étude que les variables appartenant au même groupe de paramètres sont fortement corrélés.

Corrélation des traitements de binage en condition non fertilisée (F0):

L'étude des relations entre les traitements de binage et la production du sorgho a été faite en condition non fertilisée (F0) pour montrer leur regroupement selon leur similitude. Les regroupements de traitements de binage par leur similitude sur la croissance et la production du sorgho en condition non fertilisée (F0) sont présentés dans la Figure 16.

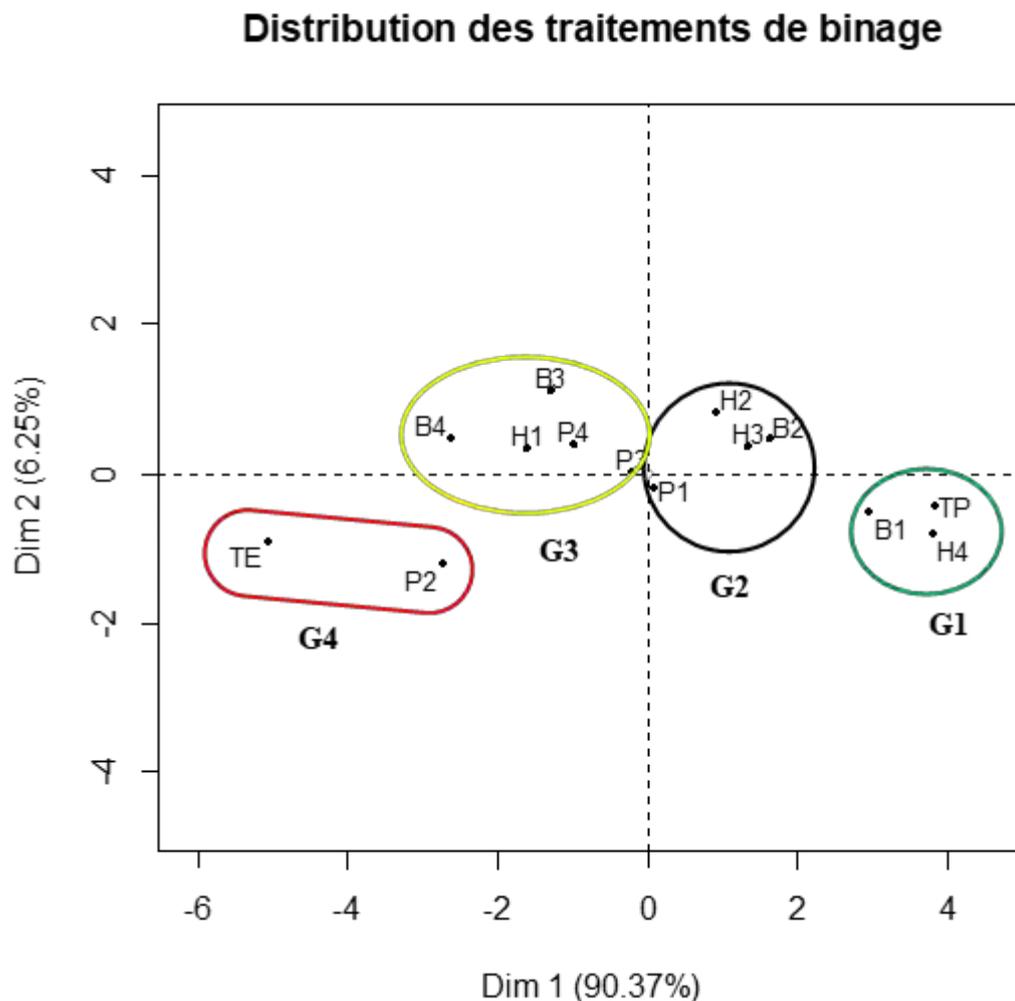


Figure 16: Distribution des traitements de binage sur les axes 1 et 2 défini par l'ACP en F0

L'information portée par chacun des axes montre que l'inertie totale représente 96,62%. Les observations indiquent que l'essentiel des informations est fourni par l'axe 1. L'analyse de ces résultats sera orientée sur cet axe. Les résultats permettent de ressortir quatre groupes de

traitements de binage. Les groupes G1 et G2 sont corrélés positivement à l'axe 1 tandis que les groupe G3 et G4 sont corrélés négativement à cet axe. Le premier groupe est constitué par les traitements TP, B1 et H4. Le TP est maintenu propre du semis à la récolte, B1 a été désherbé très tôt et H4 a été épargné des adventices jusqu'à deux mois après semis. Ces traitements sont caractérisés par une absence de pression des adventices (TP), un désherbage précoce (B1) et un enherbement tardif (H4). Le sorgho a donc eu le temps de se développer et de donner une bonne production. Le deuxième groupe renferme des traitements enherbés à partir du 30^e et du 45^e jour après semis (H2 et H3), maintenu propre depuis le 30^e jour après semis et un traitement de pratique agricole P1 qui a reçu deux désherbages, un précoce au 15^e jour et un tardif au 30^e jour. Dans ce groupe, l'influence des adventices est modérée ce qui a favorisé un développement acceptable des plants de sorgho et une production acceptable. Le troisième groupe est constitué de traitement d'enherbement précoce (H1), de désherbage tardif (B3 et B4) et des pratiques agricoles P3 et P4 (désherbage au 15^e et 60^e JAS) et P4 (désherbage au 30^e et 45^e JAS). Dans ce groupe, la faiblesse des rendements résulte d'une part de l'enherbement précoce de la culture et d'autre part d'un désherbage tardif qui a ralenti le développement de la culture. Les plus faibles rendements sont notés dans le groupe 4 formé par le témoin enherbé et un traitement de pratique agricole avec deux désherbages au 15^e et au 45^e jour après semis. La mauvaise croissance et par ricochet la production médiocre du sorgho est le résultat d'une pression permanente des adventices et d'un enherbement pendant des périodes assez sensibles du sorgho au 15^e jour pendant la formation des racines secondaires et au 45^e jour pendant la phase d'initiation paniculaire. Ces résultats indiquent que la croissance et la production du sorgho sont inversement proportionnelles à la durée d'enherbement.

Corrélation entre les variables observés chez le sorgho en condition non fertilisée

Les résultats obtenus des relations entre les paramètres de croissance, les paramètres de rendement et le rendement du sorgho en condition azotée sont consignés dans la Figure 17. Les résultats obtenus du test de coefficient de corrélation de Pearson ont montré une corrélation significative et positive entre les variables des paramètres de croissance, de rendement et le rendement du sorgho. Leurs coefficients de corrélation varient de 0,77 à 0,98 et sont significatifs au seuil de 5% (Figure 17).

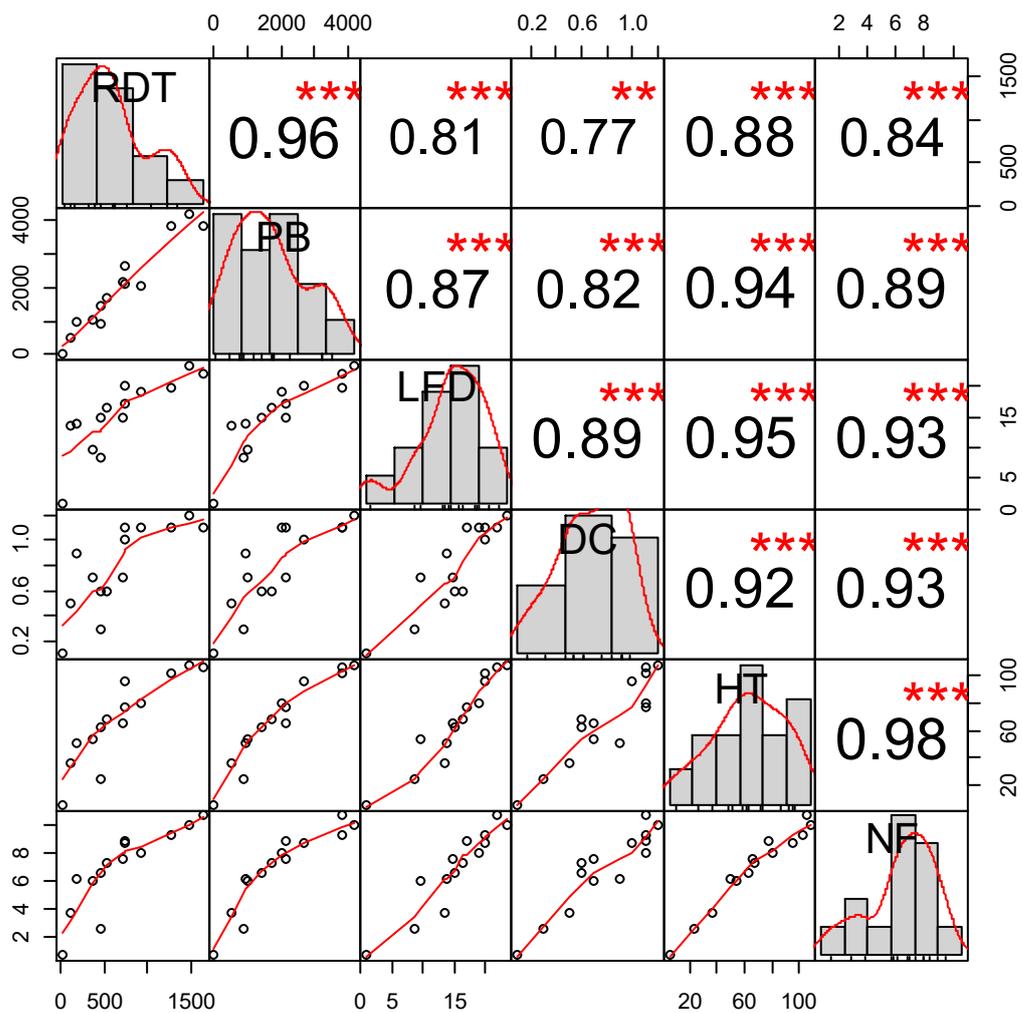


Figure 17: Corrélation entre les différentes variables mesurées sur le sorgho

Caractéristique des paramètres de croissance, de rendement et le rendement sur les axes factoriels en condition fertilisée (F1)

L'étude des caractéristiques des paramètres de croissance, des paramètres de rendement et des rendements en en condition fertilisée (F1), ont été réalisées dans le cercle de corrélation dans la Figure 18.

Variables factor map (PCA)

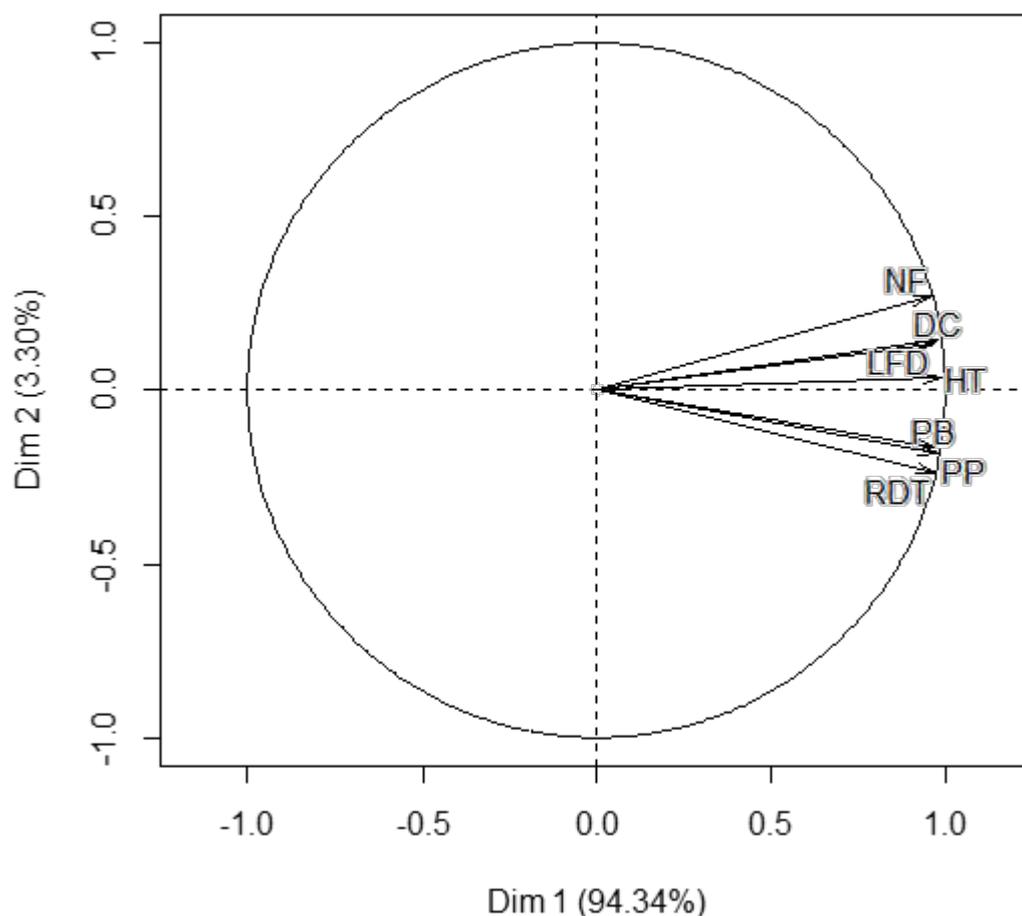


Figure 18: Cercle de corrélations des variables sur les paramètres de croissance, de rendement et le rendement en condition fertilisée (F1), dans le plan des axes 1 et 2.

Les résultats permettent de quantifier la part d'information portée par les deux premiers axes respectivement de 94,34% pour le premier axe et 3,30% pour le deuxième axe. L'inertie totale portée par ces deux axes représente 97,64% de l'inertie totale. Les paramètres de croissance sont positivement corrélés à l'axe 2 tandis que les paramètres de rendement sont négativement corrélés à cet axe. L'axe 1 fournit donc l'essentiel de l'information portée par les axes et est corrélé positivement à l'ensemble des variables. Les résultats montrent de très fortes corrélations entre les variables appartenant au même groupe de paramètres. Par contre, les deux groupes de paramètres semblent indépendants alors que le rendement est fortement tributaire de la biomasse et du poids panicule.

Corrélation des traitements de binage en condition fertilisée (F1)

L'étude des relations entre les traitements de binage et la production du sorgho a été faite en condition fertilisée (F1) pour montrer leur regroupement selon leur similitude. Les regroupements de traitements de binage par leur similitude sur la croissance et la production du sorgho en F1 sont indiqués dans la Figure 19.

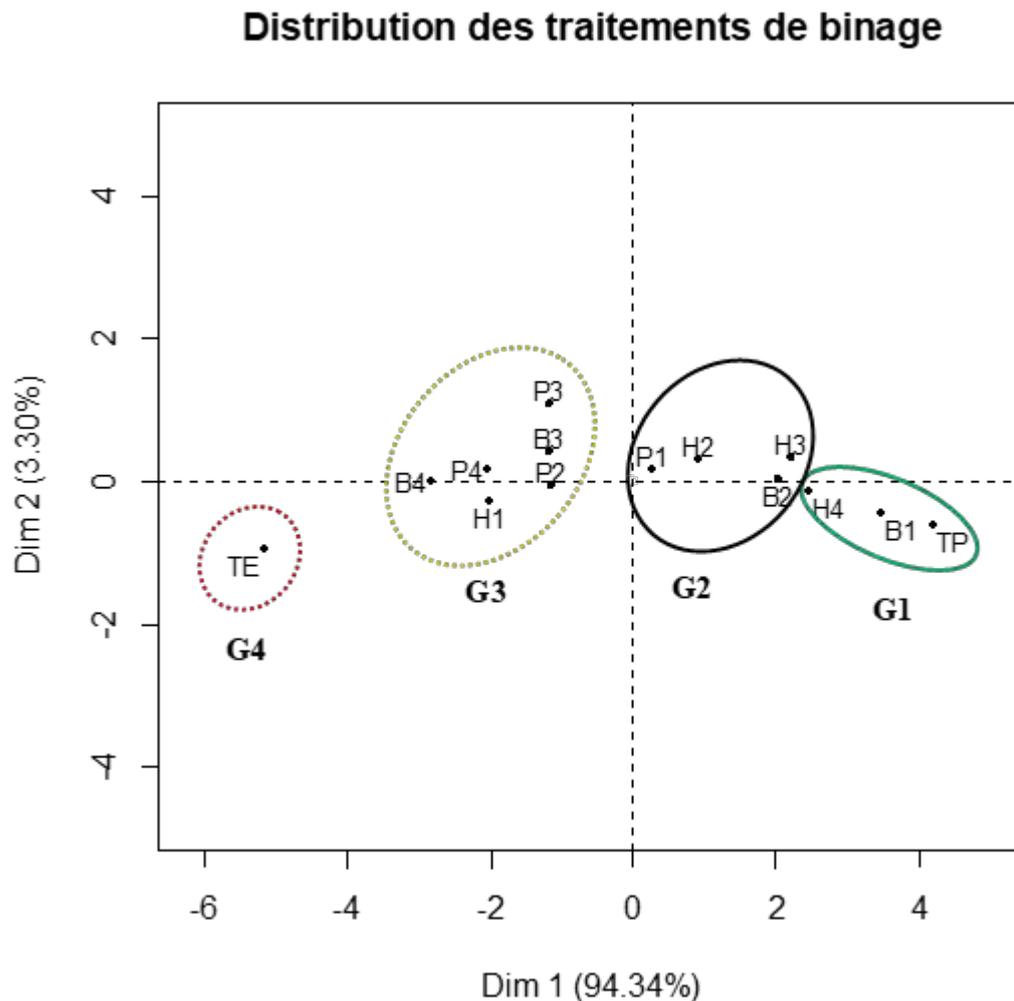


Figure 19: Distribution des traitements de binage sur les axes 1 et 2 défini par l'ACP en condition fertilisée (F1).

L'information portée par chacun des axes montre que l'inertie totale représente 97,64%. Les observations indiquent que l'essentiel des informations est fourni par l'axe 1. L'analyse de ces résultats sera orientée sur cet axe. Les résultats permettent de ressortir quatre groupes de traitements de binage. Le groupe 1 est constitué par des traitements de désherbage précoce (B1), d'enherbement tardif (H4) et d'un témoin maintenu propre tout le long du cycle cultural. Le maintien de la culture exempt des adventices a permis une bonne croissance du sorgho et

une production élevée. Le groupe 2 est aussi corrélé positivement à l'axe 1. Il est constitué par des traitements d'enherbement au 30^e et au 45^e jour, d'un traitement de binage à partir du 30^e jour et d'un traitement de désherbage successif au 15^e et au 30^e JAS. Ces traitements ont permis d'obtenir une croissance et une production du sorgho assez satisfaisantes. Le groupe 3 est négativement corrélé à l'axe 1 et est constitué par des traitements à binage tardif (B3 et B4), un enherbement précoce (H1) et des traitements de pratiques agricoles (P2, P3 et P4). Ces traitements ne permettent un bon développement du sorgho ce qui impacte négativement sur la production. Le groupe 3 est négativement corrélé aux deux axes. Seul le témoin enherbé appartient à ce groupe. Dans ce groupe, la pression permanente des adventices a gêné la croissance du sorgho et entraîné une production quasi-nulle.

Corrélation entre les variables observés chez le sorgho en condition fertilisée

Les résultats obtenus des relations entre les paramètres de croissance, les paramètres de rendement et le rendement du sorgho en condition fertilisée sont consignés dans la Figure 20. Les résultats obtenus ont montré une corrélation significative et positive entre les variables des paramètres de croissance, de rendement et le rendement du sorgho. Leurs coefficients de corrélation varient de 0,82 à 0,99 et sont significatifs au seuil de 5% (Figure 20).

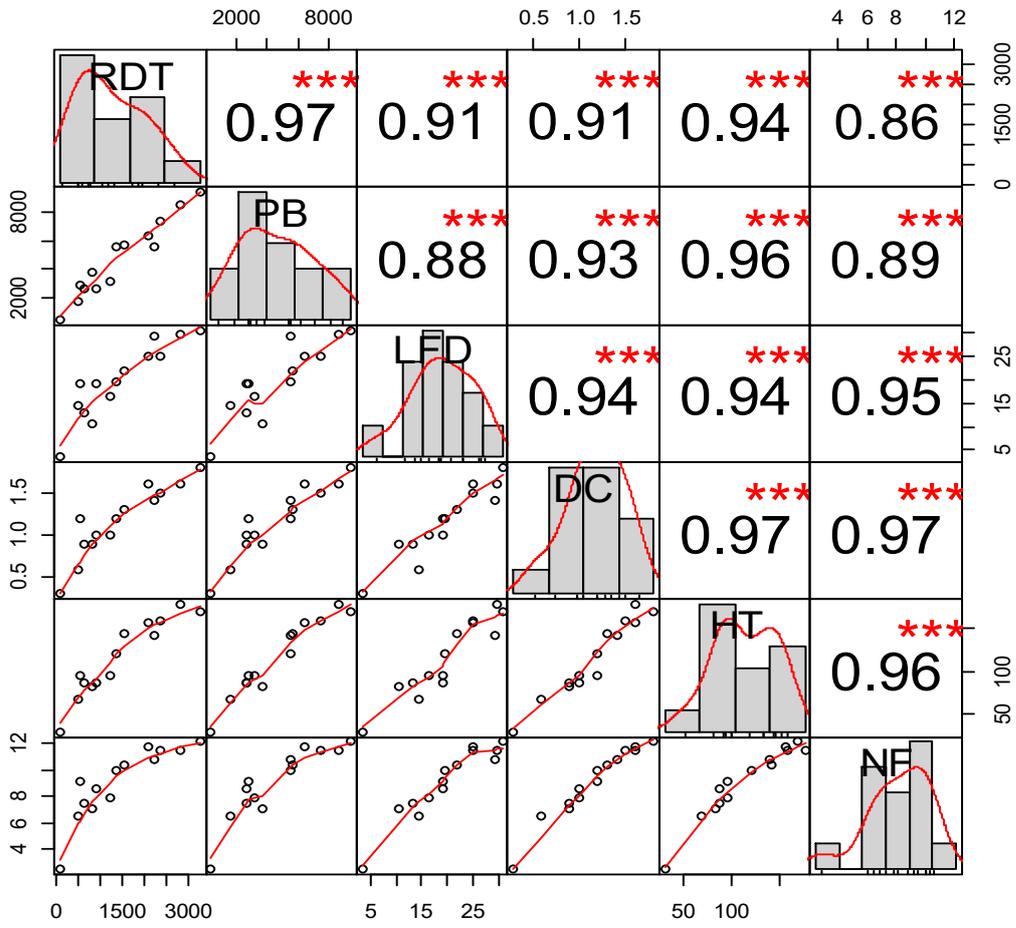
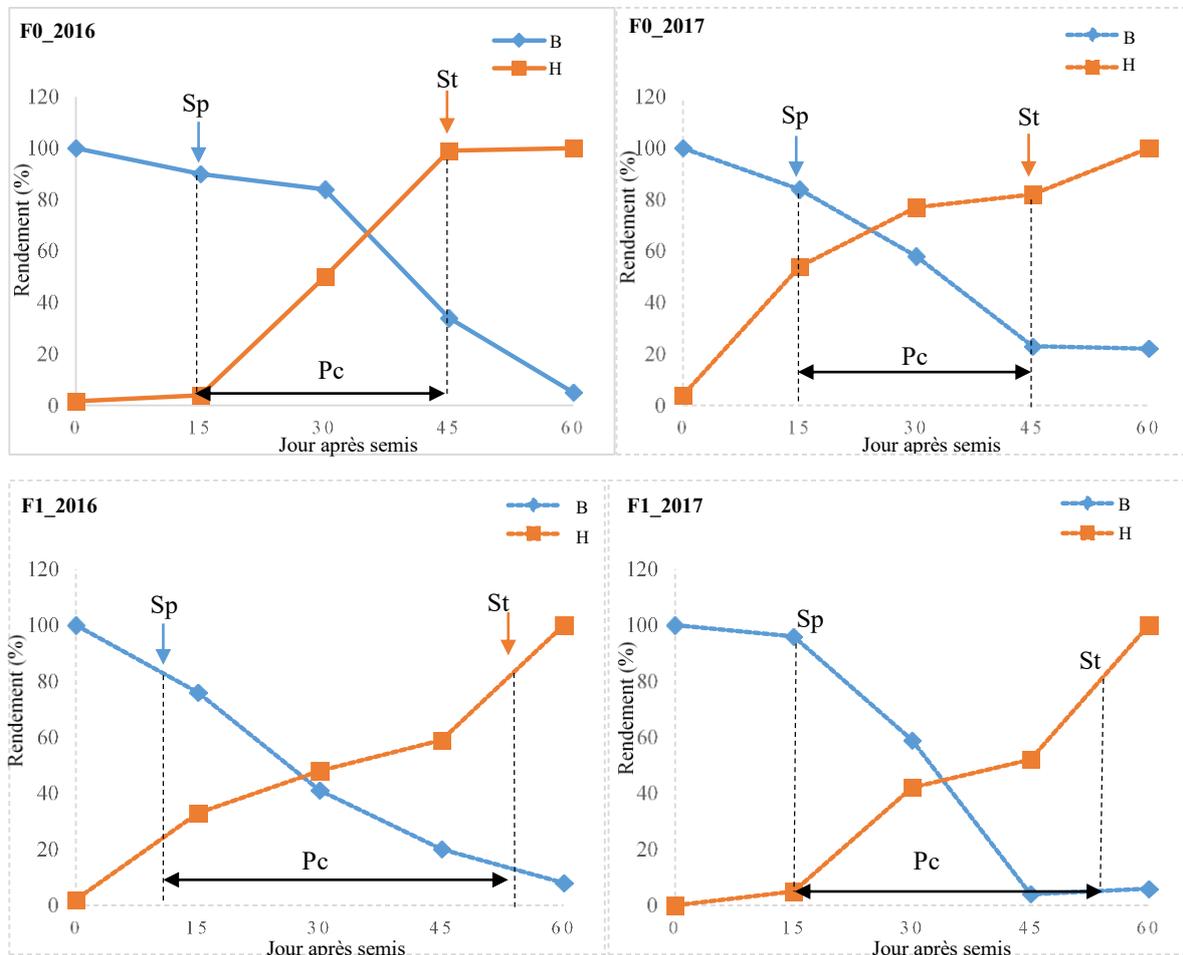


Figure 20:Corrélation entre les différentes variables mesurées sur le sorgho

6.3.10. Détermination de la période critique de concurrence des adventices vis-à-vis du sorgho

L'étude pour la détermination des périodes critiques de concurrence des adventices vis-à-vis du sorgho a donné les résultats présentés dans la Figure 21.



B= binage ; H= enherbement ; Sp= seuil précoce ; St= seuil tardif ; Période critique

Figure 21: Courbes de variation du rendement grain du sorgho en condition fertilisée (F1_2016 et F1_2017) et non fertilisée (F0_2016 et F0_2017).

Les résultats obtenus en 2016 et en 2017 montrent que les seuils de concurrence précoce (Sp) et de concurrence tardive (St) varient en fonction des conditions culturales. Les seuils de concurrence précoce et tardive se situent respectivement aux environs du 15^e jour après semis et du 45^e jour après semis en conditions non fertilisées et entre le 10^e et le 55^e jour après semis en système conventionnelle. Durant cette période, le sorgho doit être maintenu propre pour éviter des pertes pouvant varier de 10 à 96% du rendement en grains. En effet, de part et d'autre de la période critique, l'absence de désherbage n'impacte pas significativement le rendement.

6.4. Discussion

6.4.1. Variabilité de la croissance du sorgho en fonction des traitements de binage

La hauteur de la plante, le nombre de feuille, le diamètre au collet et la longueur de la feuille drapeau sont des caractères agromorphologiques qui sont variables d'une année à l'autre et selon les conditions culturales. Ces variations pourraient s'expliquer par des facteurs biotiques, abiotiques, environnementales et de leurs interactions. Les contraintes abiotiques portent essentiellement sur les facteurs édaphiques et climatiques (Traoré *et al.*, 2001 ; Kaur *et al.*, 2018). Ces facteurs sont essentiellement l'eau, la température et la lumière. Même si le sorgho est réputé pour ses besoins modérés en eau par rapport aux autres céréales, un stress hydrique affecte négativement son développement notamment au stade plantule et à l'initiation paniculaire. En effet, aux environs du 10^e jour après levée, les racines nodales prennent le relais de la racine séminale et la plantule investit plus dans ses organes souterrains que dans ses organes aériens. Cette transition est à l'origine de la sensibilité des plantules aux attaques parasitaires aériennes et à la compétition avec les mauvaises herbes (Chantereau *et al.*, 2013). Cependant, le pic de consommation en eau du sorgho est noté durant la période de floraison (House, 1987 ; Mathieu, 2005 ; Dehaynin, 2007 ; Sène, 1995). A ce stade, les stress hydriques entraînent une moindre mobilisation de l'azote pour la plante cultivée (Sène, 1999). Mathieu (2005) fait observer que la concurrence des mauvaises herbes affecte l'indice de nutrition azotée qui a tendance à diminuer avec l'augmentation du recouvrement des mauvaises herbes et ceci impacte négativement le nombre de grains et leur remplissage.

La température affecte aussi la croissance du sorgho. De surcroît, la croissance foliaire est directement dépendante de la température avec un optimum situé entre 32°C maximum et 20°C minimum (Leblanc *et al.*, 1994).

Les résultats montrent aussi que l'apport d'engrais azoté a un effet positif sur l'ensemble des paramètres de croissance évalués dans cette étude. Beaucoup d'auteurs (House, 1987 ; Chantereau & Nicou, 1991 ; Chantereau *et al.*, 2013) ont démontré les effets bénéfiques de la fertilisation minérale sur le sorgho. D'ailleurs, la fertilisation favorise plus le développement végétatif chez les variétés photosynthétique compte tenu du plafonnement de la taille de leur panicule (Chantereau *et al.*, 2013). L'engrais joue aussi un rôle majeur dans le développement racinaire ce qui permet à la plante d'explorer un plus grand volume de sol (House, 1987). Au-delà des facteurs environnementaux, la croissance du sorgho peut aussi être affectée par les facteurs biotiques tels que les insectes, les maladies cryptogamiques, les adventices *etc.* En

effet, les adventices exercent toujours un effet négatif direct de compétition avec la culture pour les éléments nécessaires à la croissance (Longchamp, 1977 ; Barralis, 1977 ; Koch *et al.*, 1982, Caussanel, 1989 ; Evans, 2003). Cette compétition est d'autant plus importante en début de culture car les adventices sont à croissance rapide (Baudry, 1989) alors que le sorgho connaît un développement lent à ce stade (Anonyme⁶, 2010). Chez le sorgho, dans les cas de forte infestation, les mauvaises herbes empêchent la floraison, ou entraînent une diminution du nombre de grains par panicule. La concurrence des adventices avec le peuplement cultivé semble s'exercer à la fois pour l'eau et l'azote, les symptômes de stress hydriques et les déficits azotés étant plus fréquents avec l'augmentation de l'enherbement (Mathieu, 2005).

6.4.2. Variabilité du rendement du sorgho en fonction des traitements de binage

L'étude a montré que les différents traitements de binage ont effet sur la production en biomasse du sorgho, le rendement en panicule, le rendement grains et le poids mille grains indifféremment de la présence ou non de l'engrais azoté et de l'année. Ainsi, les rendements les plus élevés ont été obtenus dans les traitements TP, H4, B1 et H3 tandis que les rendements les plus faibles sont notés dans les traitements TE, H1, B4 et B3. Cette variabilité dans les rendements du sorgho peut résulter à la fois de contraintes biotiques et abiotiques. La pluviométrie est l'un des facteurs déterminants dans la production du sorgho. En effet, selon (Boyard-Micheau, 2013) indépendamment de l'année et de la zone, les rendements du sorgho sont corrélés positivement et significativement à la longueur de la saison des pluies. Le sorgho est particulièrement sensible au stress hydrique durant la phase reproductive. Lorsque celui-ci intervient, on observe un avortement partiel ou total des épillets des panicules et une baisse de 35 à 45% du rendement grains (Sène, 1995). En plus des besoins hydriques, les besoins de la plante en minéraux, en énergie lumineuse croissent aussi (House, 1987 ; Denahin, 2007 ; Chantereau *et al.*, 2013). Généralement, une carence de l'une ou de l'autre des éléments, entraîne une contribution de la matière carbonée constitutive des tiges pour assurer le remplissage des grains, cela provoque bien sûr un affaiblissement de la plante, qui devient plus sensible aux maladies (Denahin, 2007 ; Chantereau *et al.*, 2013). A l'image du mil, le sorgho, tolère l'enherbement durant cette phase car il a déjà produit une importante quantité de biomasse et il tire probablement un meilleur profit que les adventices de la fertilisation azotée à cause probablement de son port dressé (Dancette, 1983) et d'un enracinement très profond. Cependant une infestation par le striga entraîne une mobilisation des ressources hydrominérales de la plante vers la plante parasite (House, 1987 ; Ndoye, 1989 ; Chantereau & Nicou, 1991; Le Bourgeois & Merlier, 1995 ; Le Bourgeois & Marnotte, 2002). La plante

parasitée flétrie et meure ce qui entraîne des pertes de rendements atteignant la totalité de la récolte dans le cas de *striga hermonthica*.

Cette étude a montré que la période critique de compétition des adventices est située entre les 15^e et 45^e jours après semis en conditions fertilisées et entre le 10^e et le 55^e jour après semis en conditions fertilisées. Des résultats similaires ont été enregistrés en conditions non fertilisées par Bassène (2014) sur le maïs, et il est admis que la nuisibilité des adventices en zone tropicales est située dans les 60 premiers jours après l'installation de la culture (Saxena *et al.*, 1976 ; Marnotte, 1984 ; Noba, 2002, Mbaye, 2013) en dépit des périodes critiques pouvant varier d'une culture à une autre et d'une zone à une autre. En effet, plusieurs études ont démontré que la période critique est très variable et dépend de plusieurs facteurs comme la densité des adventices, la nature systémique de la flore, la dynamique de levée et les pratiques culturales (Halford *et al.*, 2001 ; Evans *et al.*, 2003 ; Norsworthy & Oliveira, 2004).

Les résultats de l'étude montrent que le seuil précoce intervient plutôt avec l'apport d'engrais azoté. Ceci est dû au fait que l'ion Nitrate présent dans l'engrais azoté joue un rôle de stimulus dans la levée de la dormance de nombreuses grains d'adventices dont le résultat est une explosion des levées et un accroissement de la sévérité de l'infestation dès la première semaine d'installation de la culture (Evans *et al.*, 2003).

Dès lors, les méthodes de lutte ne peuvent pas être généralisés à toute une région mais doivent être élaborées en fonction des conditions rencontrées localement et en tenant compte de la diversité des milieux, des systèmes de culture, des flores et des stratégies d'adaptations des espèces (Le Bourgeois & Merlier, 1995 ; Tursun *et al.*, 2015). L'interférence entre la culture et les adventices en dehors de cette période a un effet négligeable sur les rendements (Tursun *et al.*, 2012 ; Kumar *et al.*, 2015 ; Yadav *et al.*, 2018).

Le seuil de concurrence précoce et le seuil de concurrence tardive trouvés dans cette étude, correspondent respectivement à la formation des racines séminales et à la mise en œuvre des mécanismes physiologiques de déclenchement de l'initiation paniculaire. Des auteurs (House, 1987 ; Chantereau & Nicou, 1991, Sène, 1995 ; Nicolas, 2007 ; Chantereau *et al.*, 2013) ont relevé la vulnérabilité du sorgho durant ces deux phases aussi bien pour les adventices, l'eau, la température, les maladies, les insectes *etc.* La détermination de cette période critique entre les adventices et la culture est un outil essentiel de gestion de l'enherbement et une des premières étapes dans la promotion des stratégies de gestion intégrées de la flore adventice des grandes cultures (Knezevic *et al.*, 2002). Elle aide à mieux positionner les opérations de sarclage, à résonner l'apport d'herbicide et permet une augmentation substantielle des rendements (Yadav *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2015).

6.5. Conclusion

L'étude de l'effet de l'enherbement sur la croissance et le rendement du sorgho a fait ressortir un certain nombre de résultats.

D'abord aussi bien l'année que l'engrais azoté ont un effet sur la croissance et le rendement du sorgho.

La fertilisation azotée a un effet positif sur les paramètres de croissance (hauteur, nombre de feuille, diamètre au collet, longueur feuille drapeau) et les paramètres de rendement (biomasse, rendement en panicules, rendement en grains, calibre mille grains).

Cependant, même en présence de l'engrais azotée, une pression importante (H1, B4, TE) des adventices entraîne une chute considérable de la production du sorgho.

En 2017, année fortement humide avec une bonne répartition de la pluviométrie (fin mai- mi-octobre), la production du sorgho a considérablement augmenté comparée à l'année 2016 où les pluies se sont estompées en fin septembre.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec les traitements TP, H4, B1, H3 caractérisés par un contrôle précoce et prolongée des adventices. *A contrario*, les résultats les plus faibles pour l'ensemble des paramètres sont obtenus dans les traitements de désherbage tardif et d'enherbement précoce (TE, H1, B4).

Ensuite, il ressort de ces résultats que la période critique de concurrence des adventices vis-à-vis du sorgho se situe au 15^e – 45^e JAS en conditions non fertilisées et au 10^e - 55^e JAS en conditions fertilisées.

DISCUSSION GENERALE

Malgré son rôle moteur, l'agriculture sénégalaise n'arrive pas à couvrir les besoins alimentaires du pays et les importations des produits agricoles continuent de peser lourdement sur la balance commerciale du pays. Cette situation résulte de la conjonction de plusieurs causes à la fois biotiques et abiotiques. Parmi ces causes biotiques, les adventices, dont la concurrence entraîne une baisse drastique des rendements en milieu paysan (Hernandez, 1972 ; Ndoye, 1989 ; Noba, 2002, Mbaye, 2013). En effet, si dans le passé, le paysan arrivait toujours à esquiver l'enherbement par le recours aux jachères et la culture sur de nouvelles défriches, la diminution des surfaces cultivables conséquences d'un quadruplement de la population entre 1960 et 2013 (Anonyme², 2014 ; ANSD, 2014) ; et des effets péjoratifs de sécheresses répétées, les temps de réactivation sont devenus courts et ne permettent plus le contrôle des adventices. Si dans les pays développés le recours aux herbicides est devenu systématique, le sarclage manuel continue de consommer plus de la moitié du temps de travail de nos agriculteurs (Le Bourgeois & Marnotte, 2002). D'ailleurs, du fait de leur coût environnemental et sanitaire et du développement de résistance de plusieurs espèces vis-à-vis des molécules chimiques, la viabilité de la solution des herbicides commencent à être remise en question. C'est donc dans ce contexte caractérisé par l'inefficacité des solutions traditionnelles et l'émergence de préoccupations économiques, environnementales et sanitaires liées aux herbicides que se situe l'emploi d'une troisième voie de méthode alternative de gestion de la pression des adventices. Cette méthode a pour but de limiter les pertes due à l'enherbement dans les grandes cultures notamment le sorgho. En effet, de par ses besoins modérés en eau, le sorgho est devenu une céréale stratégique pour couvrir les besoins alimentaires des ménages vulnérables. Bien que couvrant avec le mil 75 % des parcelles emblavées en céréales pluviales (Fofana *et al.*, 2009) au Sénégal Oriental et en Haute Casamance, les rendements du sorgho restent très faibles autour de 0,7 tonne à l'hectare (ANSD, 2015). Cette étude s'est proposé d'améliorer les rendements du sorgho par la promotion d'un nouveau système de désherbage. Basé sur la lutte sur seuil, c'est un système qui permet d'une part de maintenir les adventices à des niveaux inférieurs à leur seuil de nuisibilité et d'autre part de préserver ces espèces du fait de leur rôle primordial dans le maintien de l'équilibre de nos agroécosystèmes.

Les recherches envisagées dans le cadre de ce travail visent à fournir un package de données à même de répondre à la fois aux besoins du producteur et du décideur dans le cadre de l'amélioration de la production et de la productivité du sorgho par une meilleure gestion de

l'enherbement. Les résultats de ces recherches ont permis de : (i) connaître la flore adventice dans la culture du sorgho, (ii) de quantifier l'importance agronomique de la flore du sorgho, (iii) de connaître la dynamique de la flore adventice du sorgho, (iv) de connaître les effets de la concurrence des adventices vis-à-vis du sorgho, d'établir les relations entre les paramètres de croissance, de rendement et le rendement du sorgho, de savoir la période critique de concurrence des adventices et de dégager un calendrier de désherbage.

Flore adventice

L'étude menée à partir d'inventaire floristique dans les parcelles de sorgho entre 2015 et 2017 a mis en exergue la richesse de la flore adventice de la zone subhumide du Sénégal. Au total, 232 espèces appartenant à 138 genres et 43 familles ont été répertoriées. Cette flore est largement plus diversifiée que la flore adventice dans le Sud du Bassin Arachidier (Noba, 2002 ; Mbaye, 2013 ; Bassène, 2014), la flore des cultures d'oignons dans les Niayes (Sarr *et al.*, 2007) et la flore des systèmes agropastoraux de la Basse Casamance (Bassène *et al.*, 2014). Cependant, cette flore est nettement moins riche que la flore des périmètres rizicoles en Casamance où Diallo (1984) a recensé 300 espèces. Ailleurs, en Afrique, la flore adventice du sorgho en Haute Casamance renferme moins d'espèces que la flore des cultures céréalières du Burkina Faso (Traoré *et al.*, 1992) qui compte 272 espèces et 45 familles et la flore du Nord Cameroun qui est composée de 280 espèces réparties en 141 genres appartenant à 42 familles (Le Bourgeois, 1993).

Les 10 familles contenant le plus d'espèces considérées comme des mauvaises herbes majeures mondiales (Poaceae, Asteraceae, Cyperaceae, Polygonaceae, Amaranthaceae, Fabaceae, Convolvulaceae, Euphorbiaceae, Malvaceae, Solanaceae) (Akobundu 1987) sont présentes dans cette flore et de surcroît, renferment 68,5% des espèces recensées. D'ailleurs, les cinq premières familles les plus diversifiées dans les cultures de sorgho appartiennent à cette catégorie. La part prépondérante des Fabaceae et des Poaceae est en accord avec les observations de nombreux auteurs qui ont travaillé en région tropicale (Akobundu, 1979 ; Terry, 1981; Hoffmann, 1986 ; Traoré, 1992 ; Le Bourgeois, 1993 ; Takim et Amodu, 2013 ; Osawaru *et al.*, 2014 ; Ahonon *et al.*, 2018 ; Amegnaglo *et al.*, 2018) particulièrement au Sénégal (Merlier, 1972a, b; Noba, 2002 ; Sarr *et al.*, 2007 ; Mbaye, 2013 ; Bassène, 2014 ; Bassène *et al.*, 2014) et semble être une des spécificités de la flore adventice des milieux cultivés du Sahel (Traoré, 1992). Présent à plus de 72%, les dicotylédones renferment 169 espèces distribuées dans 35 familles tandis que les monocotylédones sont représentées par 64 espèces et 8 familles. Cette tendance 2/3 de dicotylédones contre 1/3 de monocotylédones est

similaire aux observations de Le Bourgeois (1993) au septentrion camerounais, de Traoré (1992) au Burkina Faso, de Touré (2009) en Côte d'Ivoire et de Osawaru *et al.*, (2014) au Nigéria.. Cependant cette domination des dicotylédones tend à se réduire lorsqu'on remonte dans le bassin arachidier sénégalais (Merlier, 1974 ; Noba, 2002, Mbaye, 2013 ; Bassène, 2014). Et, selon Traoré (1991), l'augmentation de la pluviométrie du Nord au Sud de même que l'amélioration de la richesse chimique des sols favorise les dicotylédones au détriment des monocotylédones. La situation de la Haute Casamance dans la zone subhumide du Sénégal et la tendance à cultiver le sol sur de nouvelles défriches expliquerait donc cette dominance des dicotylédones. Généralement retenons que le niveau de similitude de la flore adventice du centre-nord Burkina-Faso, du nord-Cameroun, de la Cote d'Ivoire (Traoré, 2009), du Nigeria (Osawaru, 2014) et du Sénégal (Akpo *et al.*, 2000 ; Noba, 2002 ; Bassène, 2014 ; Ka *et al.*, 2017a) dans la composition floristique, la hiérarchisation des familles et la répartition des monocotylédones et des dicotylédones, montrent une certaine monotonie dans la diversité floristique et la composition des communautés de mauvaises herbes des régions soudano-sahéliennes (Le Bourgeois, 1993 ; Le Bourgeois & Guillerme, 1995). Ceci indique, qu'exceptées les plantes parasites (Le Bourgeois & Marnotte, 2002), il n'existe pas de flore adventice spécifique à une culture donnée, mais plutôt à des paramètres édapho-climatiques et des facteurs agronomiques (Déat, 1976 ; Fried *et al.*, 2009).

La flore adventice du sorgho en Haute Casamance est largement dominée par les thérophytes. Cette dominance des thérophytes résulte de leur adaptation aux conditions de l'agrosystème (Grime, 1974 ; Traoré, 1992, Bourgeois *et al.*, 2018), d'un cycle de vie très court (Noba, 1992 ; Mbaye, 1999 ; Sambou, 2000), de l'élimination progressive des espèces pérennes (Maillet 1981, 1992) et d'une forte production de graines. Les graines se disséminent alors par les semences contaminées, les outils, les animaux, l'eau d'irrigation, le vent... Les pratiques culturales, en fonction de leur degré d'intensification, influent sur la rapidité d'évolution de la flore et de sélection des espèces les plus adaptées au contexte (Le Bourgeois & Marnotte, 2002). Malgré leur faible proportion comparées aux thérophytes, les vivaces constituent un problème majeur d'enherbement dans les parcelles agricoles. Par exemple, chez les géophytes comme le *Cyperus rotundus*, le sarclage en conditions de forte humidité multiplie l'infestation par reproduction végétative alors que le bulbe reste toujours viable dans le sol. Les plantes parasites constituent le type biologique le moins représenté mais certainement le plus problématique surtout avec la présence du *Striga hermonthica*. Le *Striga* est un problème majeur pour le développement du sorgho. Son infestation est favorisée par l'épuisement des sols lié à la longue période culturale de la même parcelle sans apport suffisant de fumure, par

l'inexistence de variétés résistantes de sorgho et par la grande fréquence de cultures sensibles au *Striga* (Ndoye, 1989). De plus, *Striga hermonthica* produit de nombreuses graines qui restent viables très longtemps dans le sol, favorisant l'infestation des parcelles durant les années sèches sur les sols pauvres (Dembélé, 1988).

L'étude de la distribution géographique des espèces a révélé une nette dominance des espèces africaines suivies par les espèces pantropicales. Cependant, mise à part les espèces d'origine tempérée tous les types biogéographiques sont présents dans la flore du sorgho en Haute Casamance. La dominance des espèces africaines et pantropicales est liée à leur adaptation aux conditions bioclimatiques du milieu tandis que la présence des autres types chorologiques est surtout liée aux échanges de matériel génétique entre continents. En effet, le biotope culturel est un milieu très ouvert, régulièrement perturbé, accueillant pour de nombreuses espèces introduites accidentellement lors d'échanges commerciaux (Baker, 1986; Orrians, 1986; Groves, 1991) et de l'introduction de nouvelles cultures comme le maïs, le coton, le sésame jadis absentes (Traoré, 1992).

Importance agronomiques des espèces

La nuisibilité des espèces de la flore adventice du sorgho a été appréciée à l'aide du degré d'infestation et de l'indice partiel de nuisibilité. L'étude de l'infestation a permis de ressortir un pool d'espèces potentiellement nuisible vis-à-vis du sorgho au vue de leur recouvrement de leur fréquence d'occurrence et de la valeur de leur IPN. Il s'agit de : *Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Mariscus squarrosus*, *Spermacoce stachydea*, *Mitracarpus villosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Kyllinga squamulata*, *Commelina benghalensis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hibiscus cannabinus*, *Sida rhombifolia*, *Senna obtusifolia*, *Corchorus tridens*, *Ipomoea eriocarpa*, *Urena lobata* et *Striga hermonthica*. Exceptée, *Urena lobata* qui peut avoir un comportement d'hémicryptophyte et la plante parasite *Striga hermonthica*, toutes ces espèces sont des thérophytes. Au fil des années, ces espèces ont développés trois principaux caractères d'adaptations. D'abord des caractères d'adaptation aux pratiques culturales par la ressemblance morphologique et physiologique avec les plantes cultivées, une longévité des semences dans le sol, le polymorphisme des graines et des besoins germinatifs (*Commelina benghalensis* produits quatre types de graines ayant des niveaux de dormance différents), germination discontinue pendant de longues périodes comme *Ipomoea eriocarpa* qui germe tout au long de la saison des pluies (Le Bourgeois & Marnotte, 2002). Ensuite, des caractères d'adaptation liés à la phase reproductive par des systèmes de fécondations auto-compatible (*Commelina benghalensis* possède des fleurs aériennes auto ou allogames et des fleurs

souterraines cleistogames), une production importante de graines en situation favorable ou de stress (*Digitaria horizontalis*) et un cumul de plusieurs modes de reproduction. Enfin certaines espèces se singularisent par des adaptations liées à la physiologie, la croissance et la compétition. Ces adaptations se manifestent par une croissance rapide au stade plantule, un développement rapide du système racinaire, un port couvrant (*Commelina benghalensis*)...(Merlier & Montégut, 1982 ; Le Bourgeois & Merlier, 1995 ; Le Bourgeois & Marnotte, 2002). En Haute Casamance, deux plantes parasites *Striga hermonthica* et *Striga aspera* sont répertoriées dans les parcelles de sorgho, cependant avec une infestation à la fois plus large et plus importante par le *Striga hermonthica*. Elle n'est pas très visible aux voisinages immédiats des concessions à cause certainement du rejet des déchets organiques et du parcage d'animaux mais devient vite importante dans les champs intermédiaires et les champs de brousses cultivés depuis de longues années. En début de cycle elle n'est pas généralement visible et est sous sa forme émergée demeure mineure jusqu'en milieu de saison et devient majeur en fin de cycle, ceci ne fait que refléter a posteriori l'importance de la nuisibilité de l'espèce durant sa phase souterraine depuis le mois de juin (Le Bourgeois, 1993 ; Dembélé *et al.*, 1994). Certaines espèces de la flore se caractérisent par leur dominance en début de cycle particulièrement les poacées (*Digitaria horizontalis*, *Dactyloctenium aegyptium*...) tandis que d'autres (*Leucas martinicensis*, *Mitracarpus villosus*, *Oldenlandia corymbosa*) sont plus abondantes en fin de cycle.

Dynamique de levées des adventices

Les résultats de l'étude de la dynamique des levées ont révélé que les levées sont dominées par un pool d'espèces (*Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hyptis suaveolens*, *Cyperus amabilis*, *Kyllinga squamulata*, *Mariscus squarrosus*, *Mitracarpus villosus* et *Spermacoce stachydea*) qui germent indépendamment de l'année et des conditions culturales. Toutefois, des changements quantitatifs sont notés en fonction de l'année. Ainsi en 2017, année la plus humide depuis 2006, il y a eu un triplement des levées comparé à l'année précédente. Cette situation résulte selon plusieurs auteurs (Merlier, 1972 ; Roberts, 1984 ; Noba, 2002) d'une imbibition suffisante des graines qui a pour effet la germination et la levée de la plupart des espèces qui forment alors un seul cortège en début de cycle. En outre, il y a plus de levées en absence de fertilisation qu'en présence de fertilisants chimiques. Cette tendance a déjà été observée par Mbaye (2013) dans le Bassin arachidier. De plus, les espèces sont moins nombreuses dans les conditions fertilisées. Ainsi, les indices de diversité et d'abondance les plus élevés (Shannon-Weaver et Simpson) sont notés dans les

conditions non fertilisées indépendamment de l'année. Probablement, l'engrais azoté a sélectionné les espèces les plus nitrophiles au dépend des espèces oligotrophes (Fried *et al.*, 2008). Cette flore est caractérisée par la dominance de cinq (5) espèces qui cumulent 91% des levées. Il s'agit de *Hyptis suaveolens* (22,8%), *Kyllinga squamulata* (21,7%), *Mariscus squarrosus* (19,4%), *Dactyloctenium aegyptium* (16,9%) et *Digitaria horizontalis* (9,8%). La même tendance est observée dans le Bassin arachidier sénégalais (Noba, 2002 ; Mbaye, 2013). Toutefois, ni la présence, ni la dominance de *Hyptis suaveolens* n'ont été relevées par les auteurs précédents. En Haute Casamance, l'espèce est devenue l'une des plus grandes contrainte culturelle et au-delà même à la disponibilité du pâturage du fait de la pression qu'elle exerce sur les graminées fourragères dans une zone à vocation agropastorale.

Concurrence adventice

L'étude de la concurrence des adventices vis-à-vis du sorgho a été entreprise dans le but de déterminer les seuils de nuisibilité d'une flore plurispécifique que constitue le champ sur la production du sorgho. Ces seuils de nuisibilité permettent de déterminer la période critique d'enherbement qui est un outil d'aide à la gestion des adventices. En effet, plusieurs auteurs (Caussanel *et al.*, 1989; Evans, 2003 ; Knezevic *et al.*, 2003 ; Mahmoodi & Rahimi, 2009 ; Tursun *et al.*, 2015) font remarquer que, un itinéraire technique basé sur les seuils de nuisibilité permet de mieux positionner les opérations de sarclages et donc de limiter les effets de la concurrence des adventices.

Il ressort de ce travail que l'enherbement exerce des effets négatifs sur le développement et la production du sorgho.

Les résultats obtenus sur les paramètres de croissance (hauteur, nombre de feuille, diamètre au collet, longueur feuille drapeau) et les paramètres de rendement (biomasse, rendement panicules, rendements grains et calibre grains) montrent les effets positifs de l'année, de la fertilisation azotée et des traitements de binage. On a noté une production importante du sorgho en 2017, année particulièrement humide, caractérisée par une bonne répartition de la pluviométrie. Cette situation avantage le sorgho dans la mesure où les besoins en eau de cette céréale ne cessent de croître depuis la levée pour atteindre un maximum à la floraison en raison (Nicolas, 2007) de 6 à 7 mm/Jour (Sène, 1995, House, 1987). L'alimentation hydrique est d'autant plus importante qu'en cas de stress, la plante mobilise la matière carbonée constitutive des tiges entraînant une hypersensibilité face aux bioagresseurs (Sène, 1995 ; Nicolas, 2007).

Par ailleurs, l'apport d'engrais azoté améliore significativement la croissance et le rendement du sorgho. Selon Diehl (1975), l'azote est un élément essentiel pour le développement et la production de cette céréale. Cependant, dans nos conditions de culture, l'azote doit être accompagné d'un apport en phosphore (House, 1987) et dans certains cas de potassium aussi (House, 1987 ; Chantereau *et al.*, 2013). La présence en quantité de l'ensemble de ces éléments favorise un développement des organes végétatifs et augmente les capacités de la plante à effectuer la photosynthèse (Diehl, 1975 ; Mathieu, 2005).

Les traitements témoins propres (TP), binages précoces (B1 et B2) ; enherbements tardifs (H3 et H4) et les pratiques agricoles (P1, P2 et P3) ont donné les meilleurs rendements. Cette situation dénote de la nécessité d'exercer un contrôle précoce des adventices en culture de sorgho pour deux raisons. La raison première tient au développement lent du sorgho en début de culture et donc sa vulnérabilité durant cette période aux nuisibles (Rizzardi *et al.*, 2004; Nicolas, 2007 ; Arslan, 2016), la deuxième raison est liée à l'explosion de levée des adventices durant les premières pluies coïncidant avec l'installation des cultures (Merlier, 1972 ; Le Bourgeois & Merlier, 1995, Noba, 2002).

Les traitements témoins enherbés (TE), binage tardif (B3 et B4), enherbement précoce (H1) ont été caractérisés par une croissance limitée et des rendements largement inférieurs à la moyenne globale. Dès lors, une gestion de l'enherbement dans les cultures du sorgho doit se faire non seulement à la levée mais aussi jusqu'aux alentours du 45^e jour après semis coïncident généralement avec l'initiation paniculaire. C'est une période pendant laquelle les besoins de la plante en minéraux, en eau et en énergie lumineuse sont les plus élevés (Chantereau *et al.*, 2002, 2002 ; Chantereau *et al.*, 2013). En cas de stress lors de la phase gonflement-épiaison, le rendement en grains baissent même si la biomasse végétative n'est que légèrement affectée (Sène, 1995).

Les résultats de cette étude ont aussi permis de situer la période critique de désherbage du sorgho entre le 15^e JAS et le 45^e JAS en conditions non fertilisées et entre le 10^e et le 55^e JAS en conditions fertilisées. Le maintien de la culture exempte d'adventices durant la période critique est une condition *sine qua none* pour l'obtention d'un bon rendement. Le binage du 10^e -15^e jour après semis, permettra aux plantules d'esquiver la concurrence précoce cependant il doit être accompagné d'un démariage pour éviter les effets néfastes de la nuisibilité interspécifique. Le développement lent du sorgho (Anonyme⁶, 2010) corrélé à la levée rapide et échelonnée des adventices (Merlier & Montégut, 1980 ; Traoré, 1991 ; Le Bourgeois, 1993 ; Le Bourgeois & Merlier, 1995) impose une deuxième intervention autour du 30^e jour après semis. La troisième intervention se situe autour du 45^e-55^e jour après

émergence, période où débute l'initiation paniculaire ce qui entraîne un pic de consommation hydrominérale et une sensibilité à la concurrence (Chantereau & Nicou, 1991 ; Sène, 1995 ; Clerget, 2004). Au-delà de cette période et à l'image du mil, le port dressé du sorgho et son enracinement pouvant dépasser deux mètres (Chantereau *et al.*, 2002) lui permettront une meilleure compétition vis-à-vis des adventices (Dancette, 1983, Arslan, 2016).

CONCLUSION GENERALE

Au Sénégal, la gestion de l'enherbement a toujours été une contrainte majeure à l'augmentation de la production agricole et à l'expansion des superficies cultivées. Les débuts timides mais croissantes de l'utilisation des herbicides sont remises en causes du fait de leur coûts économique, sanitaire et environnementale. Dès lors, il urge de trouver des leviers de gestion de l'enherbement à la fois durable, socialement accessible et économiquement viable. C'est dans ce cadre que ce présent travail a été entrepris et s'était fixé comme objectifs spécifiques (i) d'étudier la flore adventice du sorgho, (ii) de quantifier la concurrence de ces adventices vis-à-vis du sorgho, (iii) d'évaluer la levée des adventices en zone soudanienne du Sénégal et (iv) de déterminer la période critique de concurrence des adventices en fonction de laquelle sera modelée un calendrier de désherbage.

Ainsi, la flore adventice du sorgho en Haute Casamance est constituée de 232 espèces, réparties dans 138 genres et 43 familles. Les dicotylédones sont majoritaires avec 72,4% des espèces recensées contre 27,6% de monocotylédones. En outre, deux (2) familles sont dominantes dans cette flore et regroupent 40% des espèces répertoriées : il s'agit des Fabaceae (24,1%) et des Poaceae (15,9%).

L'étude du spectre biologique a permis de noter que les thérophytes (69,8%) sont les plus nombreux cependant, les plantes vivaces sont bien représentées. Par ailleurs, il ressort de l'analyse du spectre chorologique que les espèces africaines et pantropicales sont majoritaires avec respectivement 44% et 25% des espèces de la flore.

L'étude de l'importance agronomique des espèces à travers le degré d'infestation et l'indice partiel de nuisibilité a révélé un pool de 16 espèces potentiellement nuisibles dans les cultures du sorgho. Il s'agit de : *Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Mariscus squarrosus*, *Spermacoce stachydea*, *Mitracarpus villosus*, *Dactyloctenium aegyptium*, *Kyllinga squamulata*, *Commelina benghalensis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hibiscus cannabinus*, *Sida rhombifolia*, *Senna obtusifolia*, *Corchorus tridens*, *Ipomoea eriocarpa*, *Urena lobata* et *Striga hermonthica*.

S'agissant de la dynamique des levées, la flore est composée de 33 espèces constituées quasi-exclusivement de plantes annuelles et dont la présence varie en fonction de l'année et des conditions culturales. Nonobstant cela, il existe un pool d'espèces communes (*Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Fimbristylis hispidula*, *Hyptis suaveolens*, *Cyperus amabilis*, *Kyllinga squamulata*, *Mariscus squarrosus*, *Mitracarpus villosus* et *Spermacoce stachydea*) qui lèvent indépendamment de l'année et des techniques culturales.

En outre, les levées sont plus importantes pour les années humides et aussi dans les traitements non fertilisés indépendamment de l'année. L'étude des indices de diversité (Shannon, Simpson, Bray-Curtis, Sorensen) indique que la diversité est généralement faible et plus élevée sans fertilisation que lors de l'apport d'engrais azoté.

Il ressort de l'étude de la concurrence adventice que les paramètres de croissance ainsi que les paramètres de rendement et le rendement en graines sont variables selon l'année, les conditions de fertilisation et les traitements de binage. Une année humide et/ou une fertilisation en engrais azotée ont un effet positif sur les paramètres de croissance (hauteur, nombre de feuille, diamètre au collet, longueur feuille drapeau) et les paramètres de rendement (biomasse, rendement en panicules, rendement en grains, calibre mille grains).

La croissance et le rendement du sorgho sont inversement proportionnels à la durée de l'enherbement d'où la nécessité de réaliser des sarclages en début de cycle pour favoriser la croissance et le développement du sorgho mais aussi juste avant l'initiation paniculaire afin d'obtenir un bon rendement grains.

La période critique de concurrence se situe entre le 15^e et le 45^e jour après semis en condition non fertilisée et entre le 15^e et le 55^e jour après semis en condition fertilisée. En fonction du système de culture, la culture doit être maintenue indemne de la pression exercée par les adventices durant cet intervalle.

Recommandations et Perspectives de recherche

Cette étude, une des premières dans la zone subhumide du Sénégal, mérite d'être prolongée, élargie et renforcée notamment par l'étude du stock semencier dont il existe une relation étroite avec la flore levée. La connaissance de cette relation flore levée-flore réelle ainsi que les variables environnementales et agronomiques pourrait aider à établir des modèles prédictifs pour suivre l'évolution des communautés d'adventices sur le long terme dans un contexte de changements globaux.

L'étude monospécifique des 16 espèces les plus infestantes devraient être effectuée afin d'évaluer leur impact sur la production du sorgho et mieux connaître leur biologie et leur écologie afin de proposer des méthodes de gestion viable à long terme.

Itinéraire de production du sorgho en zone soudanienne du Sénégal

A la suite de ce travail, le calendrier de désherbage suivant est proposé pour améliorer l'itinéraire technique du sorgho dans les conditions agroécologique de la Haute Casamance :

➤ **Semences**

Grains de sorgho (*Sorghum bicolor* var F2-20).

➤ **Préparation du sol**

Le travail du sol se fait selon les étapes suivantes:

- ratissage de la surface à labourer pour dégager les repousses, les débris de tiges des herbes...;
- labour à l'aide d'un tracteur mécanique muni de disques pour retourner la terre jusqu'à une profondeur de 10-20 cm ou au moins un travail superficiel dans les 5 premiers centimètres du sol ;
- hersage pour enlever les tiges des herbes et /ou celles de la précédente culture fragmentées lors du labour ;
- nivellement et rayonnage pour assurer un bon semis en ligne et éviter le ruissellement.

➤ **Précédent cultural**

Légumineuse (Arachide, Niébé, Mucuna), jachères.

➤ **Traitement de semences**

Du fait de la forte humidité de la zone, il est nécessaire de désinfecter les semences pour lutter contre le mildiou et les foreurs de tiges.

➤ **Semis**

Le semi doit être effectué prioritairement en mi-Juillet après une pluie d'au moins 15 mm (si manuel 4 à 6 grains par poquets pour remplacer les poquets manquants au démarrage). Cependant avec un semoir, il faut utiliser un disque de 16 trous soit une dose de 4 kg/hectare.

➤ **Géométrie**

75 cm de distance interlignes et 30 cm entre les poquets.

En système conventionnelle de culture

L'épandage du NPK (150 kg.hectare⁻¹) ne doit pas se faire au moment d'une pluie ou en conditions de forte humidité. L'épandage de l'engrais de fond (NPK) se fait au volet, de préférence au moment du semis (A0) avec un petit travail du sol pour le recouvrir.

L'épandage de l'urée ($50 \text{ kg.hectare}^{-1}$) qui intervient après le binage aux environs du 10^e jour après semis (A1) doit être localisé et suivi d'un enfouissement; cependant éviter d'épandre l'urée en pleine journée, en cas de stress hydrique sévère et de toucher les feuilles et le collet pour éviter les risques de brûlures.

Un second épandage d'urée ($50 \text{ kg.hectare}^{-1}$) doit se faire après le binage aux environs du 45^e-55^e jour après semis (A2), correspondant à la floraison.

➤ Désherbage

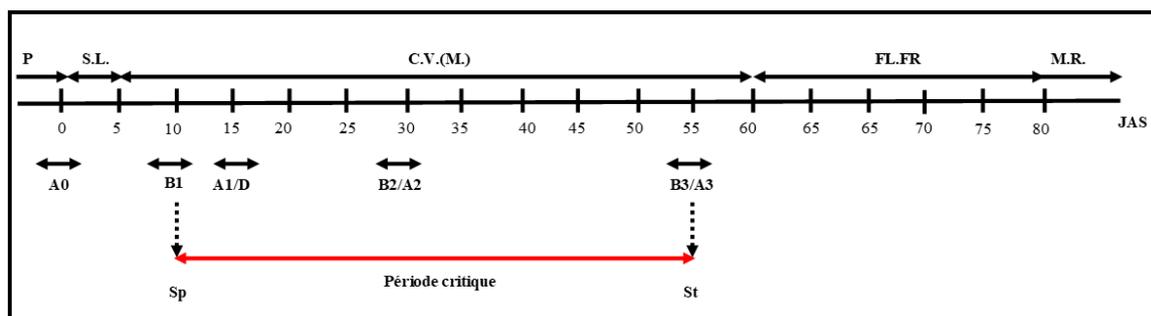
1^e date de binage au 10^e jour après semis correspondant au stade 3 - 4 feuilles. Cette période correspond à une phase de transition où les racines adventives apparaissent et commencent à prendre le relais de la racine séminale et la plante investit plus dans son développement racinaire d' où une vulnérabilité à toutes formes de compétition surtout aérienne.

2^e date de binage aux environs du 30^e jour après semis correspondant à la montaison.

3^e date de binage entre le 50^e et le 55^e jour après semis. L'initiation paniculaire débute à cette période et en cas de forte compétition des adventices, des taux élevés d'avortement sont notés, le remplissage des graines est également affecté et la plante mobilise sa matières carbohydratees pour la maturation des graines la rendant sensible aux attaques des ravageurs.

➤ Récolte

La récolte se fait à la fin du stade pâteux des grains caractérisé par l'apparition au niveau du hile d'une tâche noirâtre (le hile correspond au point d'insertion de la graine au niveau du pédicelle floral).



P = Préparation du sol (Labour, Hersage, Nivellement)

A0 = Apport engrais de fond (N.P.K)

S. L = Semis et Levée

A1, 2 = Premier et Second apport d'urée

D= désherbage à deux pieds

C.V. (M) = Croissance végétative (montaison)

B1, B2, B3 = Dates de binage

FL.FR.= Floraison, Fécondation

Sp = Seuil de concurrence précoce

M.R = Maturation et Récolte

St = Seuil de concurrence tardif

Figure 22: Résumé du calendrier de désherbage proposé pour permettre d'améliorer l'itinéraire technique proposé pour le sorgho (*Sorghum bicolor* var. *F2-20*) en conditions fertilisées pour la Haute Casamance.

En système traditionnelle de culture :

Dans cette partie du pays où le sorgho reçoit rarement l'apport de fertilisation, l'itinéraire suivant est proposé pour améliorer le rendement. Les recommandations concernent toutes celles énumérées plus haut à l'exception de la fertilisation et des dates de binages.

➤ Désherbage

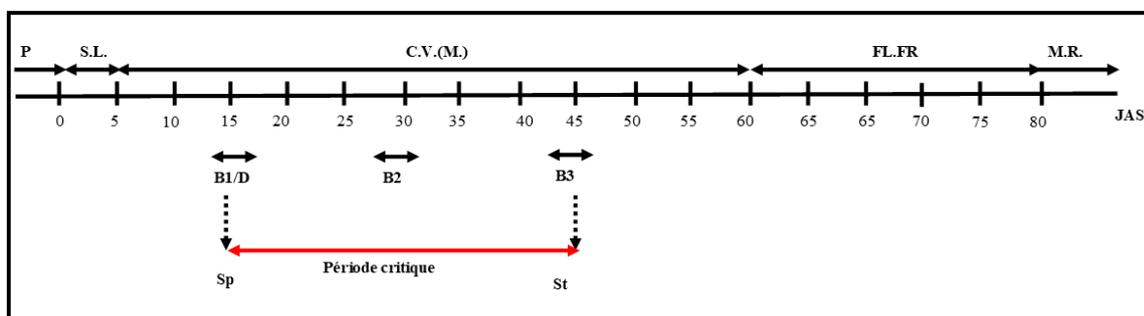
1^o date de binage (Binage-démariage) au 15^e jour après semis correspondant au stade 3-4 feuilles ;

2^o date de binage aux environs du 30^e jour après semis ;

3^o date de binage au 45^e jour après semis.

➤ Récolte

La récolte se fait à la fin du stade pâteux des grains caractérisés par l'apparition au niveau du hile d'une tâche noirâtre (le hile correspond au point d'insertion de la graine au niveau du pédicelle floral).



P = Préparation du sol (Labour, Nivellement)

S. L = Semis et Levée

D = démariage à deux pieds

C.V. (M) = Croissance végétative (Montaison)

FL.FR. = Floraison, Fécondation

M.R = Maturation et Récolte

JAS = Jours après semis

B1, B2, B3 = Dates de binage

Sp = Seuil de concurrence précoce

St = Seuil de concurrence tardif

Figure 23: Résumé du calendrier de désherbage proposé pour permettre d'améliorer l'itinéraire technique proposé pour le sorgho (*Sorghum bicolor* var. *F2-20*) en conditions non fertilisées pour la Haute Casamance.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFNOR. 1977. Produits utilisés en agriculture, agropharmacie : vocabulaire. Norme française enregistrée, Association Française de Normalisation éd., NF U 43-000 : 1-24.

AGROTRANSFERT. 2011. Le labour. Fiche technique, Agrotransfert. Disponible sur : http://www.agrotransfert-rt.org/index.php/fr/component/docman/doc_download/335_labour.

Ahonon B.A., Traoré A., Ipou I.J. 2018. Mauvaises herbes majeures de la culture de haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) dans la Région du Moronou au Centre-Est de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **12** (1): 310-321. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.25>

Akobundu I.O. 1979. An evaluation of selected cowpea cultivars for herbicides tolerance. *Proceedings of the 9th Annual Conference of the Weed Science Society of Nigeria* held at I.I.T.A., Ibadan, pp 69-74.

Akobundu I. O. 1987. *Weed Science in the Tropics. Principles and Practices.* Wiley ed., 522p.

Akobundu O.I., Agyakwa C.W. 1989. *Guide des adventices d'Afrique de l'Ouest.* Ibadan (Nigéria) : IITA ,522p.

Akpo L.E. 2000. Evolution de la diversité végétale dans le terroir de Saré Yéro Banna. *In : La jachère en Afrique tropicale.* Paris, France, John Libbey EUROTEXT.

Anderson W.R. 1977. *Weed Science: Principles.* West Publishing Co., New York.

Angonin C., Caussanel J.P., Meynard J.M. 1996. Competition between winter wheat and *Veronica hederifolia*: influence of weed density and the amount and timing of nitrogen application. *Weed Research.* **36**: 175-187.

Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD). 2015. Bulletin mensuel des statistiques économiques. ISSN 0850 – 1467, 107p.

Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD). 2014. Rapport définitif du recensement général de la population et de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage (RGPHAE) 2013. MEFP/ Sénégal-UNFPA-USAID, 416 pages.

Anonyme¹. 2014. Plan Sénégal Emergent (PSE). Dakar. Ed. PSE, 167p.

Anonyme². 2001. *La culture et la production du mil et du sorgho au Sénégal : bilan-diagnostic et perspectives.* Dakar : Ed. Direction de l'agriculture, 130p.

Anonyme³. 2005. Guide de lutte contre les mauvaises herbes 2004-2005. Ministère de l'agriculture et de l'Alimentation, Toronto, Canada. 395 p.

Anonyme⁴. 2009. Etude diagnostique dans les cinq régions d'implantation des projets du Millenium Challenge Account (M.C.A) ; Rapport final Cabinet conseil Préstige, Dakar, Sénégal, 53p.

Anonyme⁶. 2010. Agriculture et développement en pays Antandroy : Fiches techniques, 3p.

APG (Angiosperm Phylogeny Group). 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161 (2): 105-121.

Arslan M. P., Hafiz Haider A., Bhagirath Singh S.C., 2016. Weed management in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using crop competition: A review. *Crop Protection* (2016) 1-7p.

Attoumani-Ronceux A., Aubertot J.N., Guichard L., Jouy L., Mischler P., Omon B., Petit M.S., Pleyber E., Reau R., Seiler A. 2010. Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. Maquette

Bâ A.T. 1983. Biologie du parasitisme chez deux Scrophulariaceae : *Striga hermonthica* (Del.) Benth. et *Striga gesnesrioides* (Will.) Vatke. Thèse de Doctorat d'Etat, Dakar. 139p.

Ba A.T., Noba K. 2001. Flore et Biodiversité végétale au Sénégal. *Sécheresse* 12 (3): 149-155.

Baker H. 1965. Characteristics and modes of origin of weeds. In 'The genetics of colonizing species', Academic Press, New York (USA). 147-172.

Barralis G., Dessaint F., Chadoeuf R. 1996. Relation flore potentielle et flore réelle de sols agricoles de Côte-d'Or. *Agronomie*, 16 (7): 453-463.

Barralis G., Chadoeuf R., Longchamp J.P. 1988. Longévité des semences de mauvaises herbes annuelles dans un sol cultivé. *Weed Research*, 28, 6: 407-418.

Barralis G., Salins O. 1973. Relations entre flore potentielle et flore réelle dans quelques types de sols de Côte-d'Or. IV^e Coll. Int. Écologie et la Biologie des Mauvaises Herbes, Marseille: 94-101.

- Barralis G. 1977.** Seuil de nuisibilité des mauvaises herbes : Nuisibilité directe. *Phytoma* : 11-15.
- Barralis G., Chadoeuf R. 1988.** Relations entre flore potentielles et flore réelle des champs cultivés. VIIIème CR. Coll. Inter. Ecol. Biol. Syst. Mauvaises Herbes, Dijon, 4352.
- Baskin C.C., Baskin, J.M. 1998.** *Seeds: ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination*. San Diego: Academic Press, 666p.
- Bassène C. 2014.** La flore adventice dans les cultures de maïs (*Zea mays* L.) dans le sud du Bassin Arachidier : structure, nuisibilité et mise au point d'un itinéraire de désherbage. Thèse Unique de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 149p.
- Bassène C., Mbaye M.S., Camara A.A., Kane A., Guèye M., Sylla S.N., Sambou B., Noba K. 2014.** La flore des systèmes agropastoraux de la Basse Casamance (Sénégal) : cas de la communauté rurale de Mlomp. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8** (5): 2258-2273. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i5.28>.
- Baudry O., Hauville B., Breisch H. 1989.** *Mémento désherbage, arbres fruitiers et petits arbres*. Ed. CTIFL, Paris, France, 133p.
- Bérhaut J. 1967.** *Flore du Sénégal*. Dakar : 2^e Ed. Clairafrique, 485p.
- Bérhaut J. 1971-1991.** *Flore illustrée du Sénégal*. Éd. Gouvernement du Sénégal, MRD /DEF ,10tomes
- Bonin L., 2010.** Désherbage mécanique : des faisabilités techniques contrastées. *Perspectives Agricoles*, 369, pp.30-34.
- Bouhache M., Boulet C. 1984.** Étude floristique des adventices de la tomate dans le Souss. *Hommes Terre Eaux*, **14**: (57), 37-49.
- Boukli Hacene S. 2012.** Bioécologie des Coléoptères (Arthropodes-Insectes) du marais salé de l'embouchure de la Tafna (Tlemcen). Thèse de doctorat en Ecologie animale, Université de Tlemcen, Algérie, 158p.
- Borgy B. 2011.** Dynamique et assemblage des communautés adventices : Approche par modélisation statistique. Thèse de doctorat en Sciences de la vie à l'Université de Bourgogne, 161p.

Bouhache M., Boulet C. 1984. Étude floristique des adventices de la tomate dans le Sous (Tunisie). Symposium sur la protection de la tomate à Agadir, 26-29 mars 1984, 47p.

Bourgeois B.F., Munoz G., Fried L., Mahaut L., Armengot P., Denelle J., Storkey. 2019. What makes a weed a weed? A large-scale evaluation of arable weeds through a functional lens. *American Journal of Botany*, **106** (1): 1–11. DOI:10.1002/ajb2.1213.

Boyard-Micheau J. 2013. Prévisibilité potentielle des variables climatiques à impact agricole en Afrique de l'est et application au Sorgho dans la région du Mt Kenya. Thèse en Géographie (Climatologie), Université de Bourgogne, 337p.

Buhler S. 2009. Utilisation du seigle d'automne (sécale céréale) comme culture de couverture dans la lutte contre les mauvaises herbes dans la citrouille (*Cucurbita pepo*) au Québec. Mémoire de maîtrise en Biologie végétale, Université Laval, Québec, Canada, 96p.

Caussanel J.P. 1989. Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : situation de concurrence bispécifique. *Agronomie*. **9** : 219-240

Chadoeuf-Hannel R. 1985. La dormance chez les semences de mauvaises herbes. *Agronomie* : **5** (8) : 761-772.

Chantereau J., Cruz J.F., Ratnadass A., Trouche G. 2013. *Le sorgho*. Ed. Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux 2013.

Chantereau J., Nicou R. 1991. *Le sorgho*. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, France, 159 p

Chauvel B. 2014. Apports de l'agronomie et de l'écologie pour une gestion intégrée des communautés de mauvaises herbes. Mémoire pour l'obtention d'un diplôme d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Bourgogne, 80p.

Chauvel B., Guillemain J.P., Colbach N., Gasquez J. 2001. Evaluation of cropping systems for management of herbicide resistant populations of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop Protection*, **20** : 127-137.

Chicouène D. 2014. Généralités en nuisibilité des mauvaises herbes des cultures. <http://dc.plantouz.chez-alice.fr/>

Chopart J.L., Nicou R. 1976. Influence du labour du sorgho sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique. *Agronomie Tropicale*, **31**(1), 7-28.

- Costa J.P., Mesquita M.L.R. 2015.** Floristic and phytosociology of weeds in pastures in Maranhão State, Northeast Brazil, *Rev. Ciênc. Agron.*, **47**, (2), p. 414-420.
- Cramer H.H. 1967.** Plant protection and world crop production. *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer* **20**: 1-524.
- Clerget B. 2004.** Le rôle du photopériodisme dans l'élaboration du rendement de trois variétés de sorgho cultivées en Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat, Ina-PG, France, 103 p.
- Daget J. 1976.** *Les modèles mathématiques en écologie*. Ed. Masson, Paris. 172 p.
- Dancette C. 1983.** Besoin en eau du mil au Sénégal, adaptation en zone semi-aride tropicale. *Agronomie tropicale*, **38** (4) : 267-280.
- Déat M. 1981.** Principales adventices du cotonnier en Afrique de l'Ouest. Description et techniques de lutte. IRCT (éd.), Montpellier, 95 p.
- Debaeke P. 1988.** Modélisation de l'évolution à long terme de la flore adventice. II. Application à trois dicotylédones annuelles en un site donné. *Agronomie*, **8** (9) :767-777.
- Dembélé B. 1988.** Aspects biologiques et agronomiques de deux scrophulariacées parasites tropicales : *Striga hermonthica* (DeL.) Benth. et *Striga gesnerioides* (Willd.) Vatke. Thèse de Docteur-Ingénieur, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 100 p.
- Dembélé B., Raynal-Roques A., Sallé G. & Tuquet C. 1994.** *Plantes parasites des cultures et des essences forestières au Sahel*. Ed. John Libbey Eurotext, Montrouge, France, 43p.
- Dehaynin N. 2007.** Utilisation du sorgho en alimentation animale. Thèse de doctorat en Sciences vétérinaire, Université Claude Bernard de Lyon I, 108p.
- Delval P. 2013.** Méthodes alternatives de gestion des adventices. *Ecophyto*, focus N°3, 13p.
- Diallo S. 1981.** Les mauvaises herbes des cultures pluviales dans le secteur Centre-Nord du Sénégal: aspects taxonomique, agronomique et écologique. Mémoire CNEARC-ESAT. 95p.
- Dervin A. 1988.** Comment interpréter les résultats d'analyse en composantes principales? ITCF (Institut technique des céréales et des fourrages). Manuel STAT- ITCF, 63p.
- Deuse J.P.L., Hernandez S. 1978.** Essais de désherbage chimique du sorgho au Sénégal. *Agronomie tropicale*, **35** (1): 64-68.

Diehl R., 1975. *Agriculture générale*. (2^e édition), Editions J.B. BAILLIERE, Paris, France 6^{ème}, 396 pages.

Dodet M. 2006. Diversité génétique et phénologie de *Cyperus esculentus* L. (Cyperaceae) pour une gestion intégrée de l'espèce dans les cultures de Haute Lande. Thèse de doctorat en Gènes, sélection et adaptation. Université de Bourgogne, 210p.

Doggett H., 1988. *Sorghum* (second edition). Longman Scientific & Technical, Londres, Royaume-Uni. 512 p.

Dunbabin V. 2007. Simulating the role of rooting traits in crop-weed competition. *Field Crops Research* **104** (1-3): 44-51.

Douville H., Garric G., Déqué M. 2002. Prospects for improved seasonal predictions of monsoon precipitation over Sahel. *International Journal of Climatology*, **22**, 331-345.

Douville Y. 2002. Prévention des mauvaises herbes en grandes cultures. Rapport Agri réseau. Disponible sur : [www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/slv09-108\[1\].pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/slv09-108[1].pdf)

Evans S.P., Knezevic S.Z., Lindquist J.L., Shapiro C.A., Blankenship E.E. 2003. Nitrogen application influences the critical period for weed control in corn. *Weed Science*. **51**:408–417

Fall C.A. 2008. État des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde : Contribution du Sénégal au second rapport. 57 p.

FAO. 2007. Caractérisation des systèmes de production agricole au Sénégal. *FAO*: 1-66.

FAOSTAT. 2015. Statistiques des données année 2015, Rome, Italy. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome.

Fofana A., Fall N.C., Sonko M.L., Malou J. P. 2009. De nouvelles variétés prometteuses pour les régions sud du Sénégal. Document technique ISRA/CRZ Kolda.

Fofana A., Tall H., Guèye M., Badiane D., Guèye G., Sow S., Sall M. 2007. Amélioration de la productivité du mil et du Sorgho au Sénégal oriental et en Casamance. Document technique ISRA/CRZ Kolda, 52p.

Forcella F. 1992. Prediction of weed seedling densities from buried seed reserves. *Weed Research*, **32**: 29–38.

Fenni M. 2003. Etude des mauvaises herbes des céréales d'hiver des hautes plaines constantinoises. Ecologie, Dynamique, phénologie et biologie des bromes. Thèse Doc. En Sciences. Univ. Ferhat Abbas, Sétif, 165p.

Frederiksen R.A., Odvody G.N. 2000. *Compendium of sorghum diseases* (second edition). American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota, États-Unis, 77 p.

Fried G., Chauvel B., Reboud X. 2008. Evolution de la flore adventice des champs cultivés au cours des dernières décennies : vers la sélection de groupes d'espèces répondant aux systèmes de culture. *Innovations Agronomiques*, **3**: 15-26.

Fried G., Chauvel B., Reboud X. 2009. A functional analysis of large-scale temporal shifts from 1970 to 2000 in weed assemblages of sunflower crops in France. *Journal of Vegetation Science*. doi: 10.3170/2008-8-18465

Fried G., Reboud X., Gasquez J., Delos M. 2007. Le réseau « Biovigilance flore ». AFPP-Vingtième conférence du columa, Journée internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes à Dijon, 11 et 12 décembre 2007.

Fontanel P. 1987a. Effet sur la végétation des adventices du sud-saloum (Sénégal) des fumures minérales, du travail du sol et des précédentes culturaux. Rapport CIRAD/IRAT, DSP/87/n°3, Montpellier, Multigraphié, 43 p.

Fontanel P. 1987b. Bilan des recherches malherbologiques et phytoécologiques au Sine saloum, Sénégal. Proposition DSP/87/N°1.

Fontanel P. 1988a. Eléments de typologie des végétations adventices au Sine Saloum (Sénégal) et conséquences pour l'amélioration des désherbages. V^e Coll. Inter. Biol., Ecol. et Syst. des Mauv. Herb: 444-455.

Fontanel P. 1988b. Eléments de typologie des végétations adventices au Sine Saloum (Sénégal) et conséquences pour l'amélioration des désherbages. VII^{me} C. R. Coll. Inter. Biol., Ecol. et Syst. des Mauv. Herb: 444-455.

Forcella F. 1992. Prediction of weed seedling densities from buried seed reserves. *Weed Research*, **32**: 29–38.

Gardarin A., Tremoy M., Bretagnolle F., Chauvel B. 2007. Répartition de la flore adventice à l'échelle d'un paysage : gradient écologique des espèces observées. AFPP – XX^e Conférence du COLUMA. Journées Internationales sur la Lutte contre les Mauvaises Herbes.

- Gillet F. 2000.** La phytosociologie synusiale intégrée : Guide méthodologique. Documents du Laboratoire d'Ecologie Végétale, Université de Neuchâtel. 68p.
- Guay E. 2012.** Etude de l'impact sur la flore adventice de plusieurs systèmes de culture à bas niveau d'intrants. Mémoire de fin d'étude, CFR de RENNES, 82p.
- Guèye M. 2016.** Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et de récolte du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf; Poaceae) au Sénégal Oriental et en Casamance (Sénégal). Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 164p.
- Godinho I. 1984.** Les définitions d'adventice et de mauvaise herbe. *Weed Research*, **24**: 121-125.
- Godron M. 1968.** Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale. *Oecol. Plant.*, **3** : 185-212.
- Gounot M. 1969.** *Les méthodes d'étude quantitative de la végétation*. Ed. Masson et Cie, Paris, France, 314p.
- Grime J.P. 1973.** Competition and diversity in herbaceous vegetation. *Nature*, 244, **3** : 311.
- Grouzis M., 1992.** Germinations et établissement des plantes annuelles sahéliennes. In L'aridité: une contrainte au développement, caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés, ORSTOM, pp. 267-282
- Gworgwor N. A., Weber H.C. 1991.** Effect of nitrogen fertilization and resistant variety on *Striga hermonthica* infestation in sorghum. In: Ransom J.K, Musselman L.J., Worsham A.D., Parker C. eds. Proc. of the Sh Int. Symp. of Parasitic Weeds. Nairobi, Kenya: 96-103.
- Halford C., Hamill A.S., Zhang J., Doucet C. 2001.** Critical period of weed control in no-till soybean and corn (*Zea mays*). *Weed Technol.* **15**:737–744.
- Hanitet K. 2012.** Les groupements des adventices des cultures dans la région d'Oran. Mémoire d'écophysiologie végétale. Université d'Oran, 71p.
- Hannachi A. 2010.** Étude des mauvaises herbes des cultures de la région de Batna : Systématique, Biologie et Écologie. Mémoire en Sciences agronomiques à l'UFAS (Algérie), 124p.
- Harlan J.R., De Wet J.M.J. 1972.** A simplified classification of cultivated sorghum. *Crops Science*, **12**, 172-176.

- Harper J.L., White J. 1974.** The demography of plant. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **5**: 419-463.
- Hoffmann G. 1986.** Caractérisation de la flore adventice de deux villages du terroir de Katiola (Côte d'Ivoire). IRAT/GIRAD, DSP, No 034, Montpellier, 54p.
- Holm L.G., Plucknett D.L., Pancho J.V., Herberger J.P. 1977.** The World's Worst Weeds: Distribution and Biologie. East-West Center, University Press of Hawaii, Honolulu, 609p.
- House L.R. 1987.** *Manuel pour la sélection du sorgho*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (Patancheru, Inde), 2^e édition, 229p.
- Hutchinson P., Dalziel J. M., Keay R.W.J. & Hepper F.N. 1958.** *Flora of West Tropical Africa*. Vol 1 Part 2. 2nd Ed. Whitefriars Press Ltd, London, Tonbridge, England, 828p.
- Kâ S.L., Mbaye M.S., Guèye M., Noba K. 2017a.** Weed flora of grain Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Upper Casamance (Senegal, West Africa): characterization of flora and species harmfulness. International communication, Interdrought-V conference, Hyderabad (INDIA).
- Kâ S.L., Mbaye M.S., Guèye M., Bamba B., Ly M.O., Diouf N., Noba K. 2017b.** Systematic composition, life forms and chorology of fallow lands in Eastern Senegal and Casamance, Senegal. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **11**(6): 2573-2586. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i6.2>
- Khanh T.D., Chung M.I., Xuan T.D., Tawata S. 2005.** The exploitation of crop allelopathy in sustainable agriculture production. *Journal Agronomy and Crop Science* **191** : 172-184.
- Kane A. 2014.** Les champignons mycorhiziens arbusculaires (CMA) dans le sud du bassin arachidier du Sénégal : diversité et impact des pratiques culturales sur la mycorhization et le développement de trois cultures et de leurs adventices. Thèse de Doctorat d'état Es Sciences Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal.
- Kanfany G. 2008.** Diagnostic agronomique du fonio (*Digitaria exilis* Stapf) dans des parcelles paysannes en Casamance et au Sénégal oriental. Mémoire d'ingénieur agronome. Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Thiès (Sénégal), 43p.
- Knezevic S.Z., Evans S.P., Blankenship E.E., Van Acker R.C., Lindquist J.L. 2002.** Critical period for weed control: the concept and data analysis. *Weed Science* **50**: 773–786.

Karkour L. 2012. La dynamique des mauvaises herbes sous l'effet des pratiques culturales dans la zone des plaines intérieures. Mémoire de Magistère, Université Ferhat Abbas Sétif, Algérie, 127p.

Koch W., Beshir M. E., Unterladstatter R. 1982. Crop losses due to weeds. *In: Improving weed management*, FAO Plant Production and Protection Paper, 44, p: 154-165, Rome, Italy

Koïta B., Bodian A. 2000. Evolution de la diversité végétale avec le temps de jachère dans la zone soudanienne du Sénégal. *In : La jachère en Afrique tropicale*. Paris, France, John Libbey EUROTEXT. Pp 408-414

Kouakou J.N., Kouame F.K., Ipou J.I., Gue A. 2016. Importance relative des mauvaises herbes de la culture du maïs dans le département de M'Bahiakro. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, **17**: 768-778

Kumar R., Ghorai A. K. Singh A., Kundu D.K. 2015. The Critical Period for Weed Competition in Relation to Fibre Yield of Jute (*Corchorus olitorius* L.). *Journal of AgriSearch* **2**(3): 225-228.

Kumar V., Singh S., Rajender Chhokar S., Malik R.K., Brainard D.C., Ladha J.K. 2013. Weed management strategies to reduce herbicide use in zero-till rice-wheat cropping systems of the Indo-Gangetic plains. *Weed Technologies*. **27**, 241-254.

Le Bourgeois T. 1993. Les mauvaises herbes dans la rotation cotonnière au Nord-Cameroun (Afrique) - Amplitude d'habitat et degré d'infestation - Cycle de développement. Thèse de Doctorat, USTL, Montpellier, France, 241p.

Le Bourgeois T., Guillerm J.L. 1995. Etendue de distribution et degré d'infestation des adventices dans la rotation cotonnière au nord-Cameroun. *Weed Research* **35**, 89-98.

Le Bourgeois T., Marnotte P. 2002. Modifier les itinéraires techniques : la lutte contre les mauvaises herbes. *In : Mémento de l'agronome*. Montpellier, France, CIRAD. Pp. 663-684.

Le Bourgeois T., Merlier H. 1995. Adventrop. *Les adventices d'Afrique soudano-sahélienne*. Montpellier, France, CIRAD-CA éd., 640 p.

Leblanc C., Lernaire G., Mandret G. 1994. Relation entre production de matière sèche et quantité de rayonnement intercepté par une culture de sorgho fourrager au Sénégal. *Fourrages* (1994) **138**, 135-144.

- Lebreton G., Le Bourgeois T. 2005.** Analyse de la flore adventice de la lentille à Cilaos-Réunion. Rapport CIRAD, 19p.
- Lebrun J.P., Stork A. 1991-1997.** *Enumération des plantes à fleurs d'Afrique Tropicale*. Vol I, Vol II, Vol III, Vol IV. Ed. Conservatoires et jardin botaniques de la ville de Genève.
- Lebrun J., 1966.** Les formes biologiques dans les végétations tropicales. *Bull. Soc. Bot. de France* : 164-175.
- Le Moal L., 2002.** L'analyse en composantes principales. *L'ACP sous SPSS*.
- Legendre L., Legendre P. 1979.** Ecologie numérique 1. *Le traitement multiple des données écologiques*,. Paris: Masson- Presses de l'université du Québec. 197p.
- Legendre L., Legendre P. 1984.** Ecologie numérique. I. *Le traitement multiple des données écologiques* ; II. *La structure des données écologiques*. 2^e Ed., Masson., Presses de l'Université du Québec, Paris : 335p.
- Lonchamp J.P., Barralis G. 1988.** Caractéristiques et dynamique des mauvaises herbes en région de grande culture : le Noyonnais (Oise). *Agronomie*, **8** (9) :757-766.
- Longchamp R. 1977.** Seuil de nuisibilité des mauvaises herbes. I: Nuisibilité des mauvaises herbes (généralités). *Phytoma* : 7-11.
- Loudyi M. C., Godron M., Khyari D.E. 1995.** Influence des variables écologiques sur la distribution des mauvaises herbes des cultures du Sais (Maroc central). *Weed Research*, **35**, 225-240.
- Mahmoodi S., Rahimi A. 2000.** Estimation of Critical Period for Weed Control in Corn in Iran. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation* **3**(1).
- Maillet J. 1981.** Evolution de la flore adventice dans le Montpelliérain sous la pression des techniques culturales. Thèse de Docteur- Ingénieur, Biologie et Ecologie Végétales, USTL, Montpellier (France), 200 p.
- Mangara A., N'da Adopo A.A., Traore K., Kehe M., Soro K., Toure M. 2010.** Etude phytoécologique des adventices en cultures d'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merr.) dans les localités de Bonoua et N'douci en Basse Côte d'Ivoire- *Journal of Applied Biosciences*. **36**: 2367- 2382 ISSN 1997–5902

- Mathieu B. 2005.** Une démarche agronomique pour accompagner le changement technique : Cas de l'emploi du traitement herbicide dans les systèmes de culture à sorgho repiqué au Nord-Cameroun. Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de docteur de l'INA Paris-Grignon, 370p.
- Marnotte P. 1984.** Influence des facteurs agroécologiques sur le développement des mauvaises herbes en climat tropical humide. C. R. du VII^e Coll. Int. Ecol. Biol. et Syst. des mauvaises herbes, COLUMA-EWRS, Paris, p.183-189.
- Mbaye M.S. 2013.** Association mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br] et niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] : arrangement spatiotemporel des cultures, structures, dynamique et concurrence de la flore adventice et proposition d'un itinéraire technique. Thèse de Doctorat d'état, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal. 236p.
- Mbaye M.S., Noba K., Sarr R.S. Kane A., Sambou J.M., Ba A.T. 2001.** Caractères spécifiques d'identification au stade jeune plant d'adventices sénégalaises du genre *Corchorus* L. (Tiliaceae). *Ann. Bot. Afr.* (01): 35-42.
- McClurg C.A., Reiners S., Riggs D.I.M., Rouse R. 2003.** Cultural practices, In 'Pumpkin production guide'. Natural resource, Agriculture, and Engineering Service, Ed. D.I.M. Riggs, New York, USA, p.28-42.
- Merlier H. 1972a.** Synthèse des études phénologiques des espèces de jachère du centre Sénégal, Rapport d'activités, CNRA de Bambey, Février 1972, 23p.
- Merlier H. 1972b.** Synthèse des études phénologiques des espèces de jachère du centre Sénégal, Rapport annuel CNRA de Bambey, Mars 1972, 87p.
- Merlier H., Montégut J. 1982.** *Adventices Tropicales*. ORSTOM, CIRAD-GERDAT, ENSH, Montpellier, France, 490p.
- Mulugeta D., Boerboom C.M. 2000.** Critical time of weed removal in glyphosate-resistant *Glycine max*. *Weed Science*. **48**:35–42.
- Munier-Jolain N., Deytieux V., Guillemin J.P., Granger S., Gaba S. 2008.** Conception et évaluation multicritères de prototypes de systèmes de culture dans le cadre de la protection intégrée contre la flore adventice en grandes cultures. *Innovations Agronomiques* **3**, 75–88.
- Narwal S.S. 1999.** Allelopathy in weed management. In *Allelopathy update* Vol. 2 Basic and applied aspects. S.S. Narwal (ed). p. 203-254. Science Publishers, Enfield N.H.

- Ndiaye A., Fofana A., Ndiaye M., Mbaye D.F., Sène M., Mbaye I., Chantereau J. 2005.** Les céréales. In – *Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal*. Ed. © ISRA, ITA, CIRAD. Pp. 241-256
- Niéto J.H., Brondon M. A., Gonzales J.T. 1968.** Critical periods of the crop growth cycle for competition from weeds. *Pans* **14**, 159-166.
- Négre R. 1966.** Les Thérophytes. In *Bulletin de la société botanique de France*, 92-108 p.
- Ndoye M. 1989.** Productions agricoles et systèmes de protection des cultures et des récoltes stockées dans la zone sahélienne de l’Afrique occidentale. *Revue Africaine de la Protection des Plantes*. **4** (1) : 27-57
- Noba K., Ba A.T. 1992.** Réexamen de la systématique de 3 espèces du genre *Boerhavia* L. (Nyctaginaceae). *Webbia*. **46** (2) : 327-339
- Noba K., Samb P.I., Ba A.T. 1994.** Sur quelques caractères macro et micro morphologiques du jeune plant dans la systématique de trois espèces du genre *Boerhavia* L. (Nyctaginaceae). *Bull. Inst. Fond. Afr. Noire C. A. Diop, Dakar, sér. A*, **47**: 51-62.
- Noba K., Ba A.T., Caussanel J-P., Mbaye M.S., Barralis G. 2004.** Flore adventice des cultures vivrières dans le sud du Bassin arachidier (Sénégal). *Webbia* **59** (2) : 293-308.
- Noba K. 2002.** La flore adventice dans le sud du bassin arachidier(Sénégal) : structure, dynamique et impact sur la production du mil et de l’arachide. Thèse de doctorat d’état en Sciences Naturelles, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 137p.
- Norsworthy J.K., Oliveira M.J. 2004.** Comparison of the critical period for weed control in wide- and narrow-row corn. *Weed Science*. **52**: 802–807.
- Orkwor B.N. 1983.** Problems of weed control in mixed cropping systems in the least developed countries. Compte rendu de la deuxième conférence bisannuelle SOAM/WAWSS, Abidjan, Côte d’Ivoire, p. 95-113.
- Osawaru E.M., Ogwu M.C., Chime A.O., Ebosa A.B. 2014.** Weed flora of University of Benin in terms of diversity and richness using two ecological models. *Scientia Africana*, **13** (2): 102-120.
- Page E.R., Tollenaar M., Lee E.A., Lukens L., Swanton C.J. 2010.** Shade avoidance: an integral component of crop-weed competition. *Weed Research* **50** (4): 281-288.

- Pipon E. 2013.** Identification et caractérisation d'innovations agroécologiques en matière de gestion des adventices mises en place par des agriculteurs. Mémoire d'ingénieur en sciences et production végétale, CFR de RENNES, 70p.
- Prohmchum C. 1993.** The influence of date of cultivation on emergence patterns of weed. *Khon Kaen Agriculture Journal*, **21**(2): 93-99
- Rahman, A., James, T.K., Grbavac, N. 2006.** Correlation between the soil seed bank and weed populations in maize fields. *Weed Biology and Management*, **6**, 228-234.
- Ramaiah K.V., Parker C., Vasudeva M. J. Rao Musselman L. J. 1983.** Striga identification and control handbook. Information bulletin No.5, ICRISAT, Patancheru, India, 52p.
- Raunkier C. 1934.** *The life forms of plants and statistical Plants Geography*. Ed. Clarendon, Press, Oxford. 623p.
- Riggs D.I.M. 2003.** Weed management. *In Pumpkin production guide*. Natural resource, Agriculture, and Engineering, Ed. D.I.M. Riggs Service, New York USA, p.48-51.
- Rodriguez A. 2010.** Eléments de biologie des mauvaises herbes, Ed. ACTA, 170p.
- Rodriguez A. 2015.** La flore adventice : Définition, enjeux et maîtrise, Ed. ACTA, 41 p.
- Roberts H.A. 1981.** The interaction of environmental factors controlling loss of dormancy in seeds. *Proceedings Ann. Appl. Biol.* **98**: 552-554
- Roberts H.A. 1984.** Crop and weed emergence patterns in relation to time of cultivation and rainfall. *Ann. Appl. Biol.* **105**: 263-275
- Sène L. 1995.** Réponse de la variété de sorgho CE 145-66 à l'alimentation en eau: effets du stress hydrique sur le rendement et la qualité des semences. Mémoire d'ingénieur en travaux agricoles, ENCR, CNRA de Bambey, 59p.
- Samb P.I., Chamel A. 1992.** Foliar absorption and translocation of ¹⁴C-dicamba into host (*pearl millet* and cowpea) and parasite plants of the genus *Striga*. *Weed Research* **32**: 129-136.
- Sarr S., Mbaye M.S., Ba A.T. 2007.** La flore adventice des cultures d'oignon dans la zone péri-urbaine de Dakar (Niayes) Sénégal. *Webbia* **62** (2) : 205-216.

Saxena M.C, Subramaniam K.K, Yadav D.S. 1976. Chemical and mechanical control of weeds in gram. *Pantnagar Journal of Research* **1**: 112-116.

Scalla R. 1991. Les Herbicides, mode d'action et principes d'utilisation. INRA éd., Paris, 450 p.

Schaub C. 2010. Mieux connaître les mauvaises herbes pour mieux maîtriser le désherbage. Servive Innovation, Environnement, Chambre d'agriculture Bas-Rhin, 42p.

Smith B.S., Murray D.S., Green J.D., Wanyahaya W.M., Weeks D.L. 1990. Interference of three annual grasses with grain sorghum (*Sorghum bicolor*). *Weed Technologies*. **4**, 245-249.

Soufi Z. 1988. Les principales mauvaises herbes des vergers dans la région maritime de Syrie. *Weed Research*, **28** (4): 199-206.

Soumaré M., Kouressy M., Vaksmann M., Maikano I., Bazile D., Traoré P.S., Traoré S.B., Dingkuhn M., Touré A., Vom Brocke K., Some L., Barro-Kondombo C.P. 2008. Préviation de l'aire de diffusion des sorghos photopériodiques en Afrique de l'Ouest. *Cahiers Agricultures*, **17**(2), 160-164.

Takim F.O., Amodu A. 2013. A quantitative estimate of weeds of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) crop in Ilorin, Southern guinea savanna of Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*, **6** (6). DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ejesm.v6i6.4>

Tang L, Cheng C, Wan K, Li R, Wang D. 2014. Impact of fertilizing pattern on the biodiversity of a weed community and wheat growth. *Plos one* **9**(1): e84370. DOI:10.1371/journal.pone.0084370.

Tardy F. 2015. Caractérisation fonctionnelle des stratégies de compétition pour les ressources aériennes et souterraines au sein d'une gamme d'espèces végétales : application à la régulation biologique des adventices par les plantes de services dans l'agrosystème bananier antillais. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, 180p.

Terry J.P. 1981. Weeds and their control in the Gambia. *Tropical Pest Management*, **27**, 44-52.

Traore H. 1991. Influence des facteurs agro-écologiques sur la constitution des communautés adventices des principales cultures céréalières (sorgho, mil, maïs) du Burkina Faso. Thèse de

doctorat en Agronomie, Université Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, France, 180 p.

Touré A., Ipou Ipou J., Adou Yao C.Y., Boreaud M.K.N. et N'Guessan E. K. 2008. Diversité floristique et degré d'infestation par les mauvaises herbes des agroécosystèmes environnant la forêt classée de Sanaimbo, dans le centre-est de la Côte d'ivoire. *Agronomie Africaine* **20** (1) : 13 - 22 (2008).

Traoré H., Maillet J. 1992. Flore adventice des cultures céréalières annuelles du Burkina Faso. *Weed Research*, Volume **32**, 279-293.

Traoré K., Soro D., Péne C. B., Aké S. 2010. Flore adventice sous palmeraie, dans la zone de savane incluse à Dabou, Basse Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine* **22** (1) : 21 - 32 (2010).

Traoré S., Bagayoko M., Coulibaly B.S., Coulibaly A. 2001. Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest: une condition *sine qua none* pour l'augmentation de la productivité et de la durabilité des systèmes de culture à base de mil. 25p.

Trochain J. 1940. Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. Mémoires de l'IFAN, **2** : 433 p.

Tursun N., Akinci I.E., Uludag A., Pamukoglu Z., Gozcu D. 2012. Critical period for weed control in direct seeded red pepper (*Capsicum annum* L.). *Weed Biology and Management* **12**: 109-115.

Tursun N., Datta A., Tuncel E., Kantarci Z., Knezevic S. 2015. Nitrogen application influenced the critical period for weed control in cotton. *Crop Protection* **74** (2015) 85-91.

Valantin-Morison M., Guichard L., Jeuffroy M.H. 2008. Comment maîtriser la flore adventice des grandes cultures à travers les éléments de l'itinéraire technique? *Innovations Agronomiques* **3** : 27-41.

Vincent C., Coderre D. 1992. *La lutte biologique*. Ed. Gaëtan Morin, Boucherville, Québec, Canada, 671p.

Vioix J.P. 2004. Conception et réalisation d'un dispositif d'imagerie multispectrale embarqué : du capteur aux traitements pour la détection d'adventices. Thèse présentée à l'Université de Bourgogne, U.F.R. Sciences et Techniques, 214p.

Wade M., Dièye I., Mbodj A.S. 1999. Noms en langues nationales des principales plantes spontanées et subspontanées rencontrées dans le Bassin Arachidier du Sénégal. MW/AD, République du Sénégal, Ministère de l'Agriculture, ISRA, CNRA, 57p.

Yadavi T., Chopra N.K., Kumar R., Soni P.G. 2018. Assessment of critical period of crop-weed competition in forage cowpea (*Vigna unguiculata*) and its effect on seed yield and quality. *Indian Journal of Agronomy* **63** (1): 124-127.

Zidane L., Salhi S., Fadli M., El Antri M., Taleb A., et Douira A. 2010. Étude des groupements d'adventices dans le Maroc occidental. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2010 **14** (1), 153-166.

Annexe 1: Communication à l'occasion de l'InterDrought-V Conference, 21-25 Février 2017, Hyderabad, Telangana, INDIA



Weed flora of grain Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in Upper Casamance (Senegal; West Africa): characterization of flora and species harmfulness.



Samba Laha KA^{1,2}; Mame Samba MBAYE²; Moustapha GUEYE¹; Kandioura NOBA²

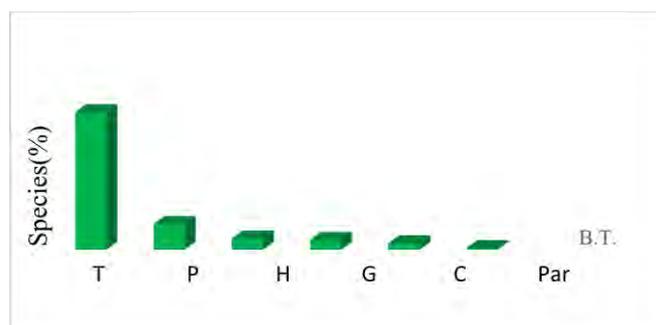
¹Senegalese Institute for Agricultural Research; Animals Sciences Research Center; BP: 53 Kolda (SENEGAL)

²Botanic and Biodiversity Laboratory; Cheikh Anta Diop University; BP: 5005 Dakar (SENEGAL)

Contact Author: kasam74@gmail.com

BACKGROUND

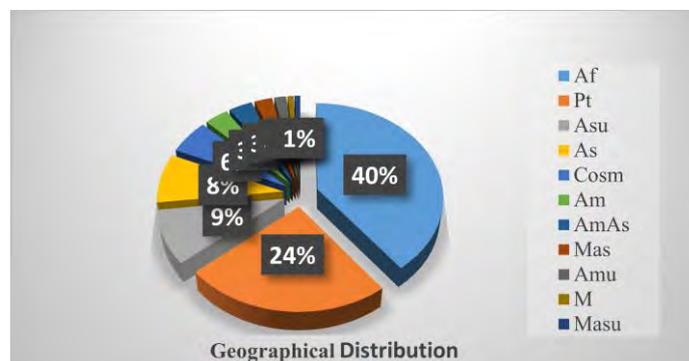
Senegal is a Sahelian country where agriculture is one of the first activity. It forms the basis of the Senegalese economy and employs nearly 70% of the active population (ANSD, 2014). The most important crops are millet, groundnuts, sorghum, maize, cowpea, rice and cotton. Millet and sorghum constitute 75% of food crops. Therefore, increasing the local production of cereals, millet and sorghum in particular, so as to achieve a higher level of food self-sufficiency is one of the priorities of the various economic development plans social and the Government of Senegal. Studies conducted have identified sorghum as a strategic crop to cover the food needs of Africa, because of its ability to withstand drought, even in areas where the number of days of rain less than 60 per year (Annonyme¹). However, agricultural production is limited by several constraints, among them, drought, soil degradation and weed pressure are the most accurate. According to Noba (2004), yield losses due to weeds up to 30% of agricultural production. Therefore the improvement of agricultural production including grain sorghum requires a better understand of weed flora structure. However, information on weed species in farmer's field in Southern Senegal, particularly in Upper Casamance is very limited. This paper aimed to characterize the weed flora sorghum in Upper Casamance and propose a weeding technical route. In this first part we limited to the characterization of flora. Characterization is essential before elaboration of any integration weed



The biological analysis showed that therophytes are the most represented with (70.94%) of recorded species. Phanerophytes and Hemicryptophytes contain respectively 13.3 and 5.8% of the flora, while the presence of Chamephytes and parasitic plants remain low.

METHODS

This study was carried out in Upper Casamance in order to characterize the weed flora through the taxonomical, biological and geographical distribution spectra of the species. Floristic survey was carried out in 2015 and 2016 crop years. The first inventory was made at 15 days after sorghum plants emergence and continued subsequently within a periodicity of 20 days until harvest. The "field tower" technique, which consists of taking stock of all species in a defined area, has been adopted (Le Bourgeois, 2005). For each survey, all the species found in survey plot were reported and a cover value assigned according to the Braun-Blanquet scale (Le Bourgeois, 1993).



The majority of this flora (64%) is composed by African (40%) and pantropical (24%) species. Moreover, the presence of the others biological types are very low except the Afro-Asian and the Afro-Asian and Australian species.

RESULTS

	Family	Genera	Taxa
Dicotyledons	20	53	83
Monocotyledons	6	22	37
Total	26	75	120

The results revealed that flora consisted of 120 species distributed in 75 genera and 26 families. Dicotyledons form was the most important. It represents the majority of species (69.2%), genera (70.7%) and families (76.9%).

CONCLUSION

The weed flora of grain sorghum consisted of 120 species, 75 genera and 26 families. Therophytes are largely dominant with 70.94% of recorded species. In addition, the study of geographical distribution revealed that African and pantropical species are the most represented with respectively 40.39% and 26.11% of the flora.

ACKNOWLEDGEMENTS



Presented at: **InterDrought-V**
Hyderabad International Convention Center (HICC)
Hyderabad, India
21-25 February, 2017

Annexe 2: Communication orale lors des premières journées scientifiques de l'ISRA du 05 au 09 Février 2018 à Dakar

REPUBLIQUE DU SENEGAL

Un Peuple-Un But-Une Foi

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
ET DE L'EQUIPEMENT RURAL

Institut Sénégalais de Recherches Agricoles



Journées Scientifiques de



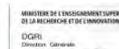
Première Edition

05 – 09 février 2018

Dakar, Pôle de Recherches de Hann

THEME GENERAL

Changements Climatiques et développement agricole durable : stratégies d'adaptation des acteurs et nouveaux paradigmes de la recherche



Caractérisation et importance agronomique des espèces de la flore adventice du sorgho (*Sorghum bicolor* L.) en Haute Casamance (Sénégal).

Samba Laha KA^{1,2*}, Mame Samba MBAYE¹, Moustapha GUEYE², Kandioura NOBA¹

¹Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta DIOP, BP 5005 Dakar-Fann, Sénégal.

²Centre de Recherches Zootechniques de Kolda, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, BP 53 Kolda, Sénégal.

Corresponding author: Samba Laha KA, Tel: +221777954940, Email: kasam74@gmail.com

RESUME

Le Sénégal est un pays sahélien où l'agriculture occupe 70% de la population. Les cultures les plus importantes sont le mil, l'arachide, le sorgho, le maïs et le riz. Des études menées ont permis d'identifier le sorgho comme une culture stratégique d'avenir pour couvrir les besoins alimentaires de la population en raison de sa capacité à résister à la sécheresse. Cependant, sa production est limitée par plusieurs contraintes dont la baisse de la fertilité des sols et la pression des adventices. Au Sénégal, les pertes de rendement dues aux adventices peuvent atteindre 30% de la production agricole. Dès lors, l'amélioration de cette production, notamment pour le sorgho, passe par une bonne connaissance de la structure de la flore adventice.

Une étude préliminaire de caractérisation de la flore adventice du sorgho en Haute Casamance a été réalisée à partir de relevés phytosociologiques durant les saisons culturales 2015, 2016 et 2017. Une analyse de l'importance agronomique des espèces s'est faite à l'aide de deux paramètres que sont le degré d'infestation et l'indice partiel de nuisibilité. Ainsi, 203 espèces, réparties dans 126 genres et 41 familles ont été recensées. Cette flore est essentiellement dominée par la famille des Fabaceae (23,2%) et celle des Poaceae (15,3%).

Le diagramme d'infestation, réalisé à partir de l'abondance dominance moyenne et de la fréquence, a mis en évidence 8 groupes d'espèces reflétant leur potentiel d'infestation et donc leur importance agronomique. En outre, le classement des adventices selon leur indice de nuisibilité a révélé l'existence de 54 espèces potentiellement nuisibles vis-à-vis du sorgho dans la zone. L'appréciation de ces deux paramètres a permis de ressortir un pool de 14 espèces qui constituent un réel problème d'enherbement en Haute Casamance. La connaissance de ces espèces est un préalable à l'élaboration de tout plan de gestion pour une lutte raisonnée.

Mots clés : *Sorgho, adventice, infestation, nuisibilité, Haute Casamance, Sénégal.*



Available online at <http://www.ifgdg.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(1): 411-425, February 2019

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

International Journal
of Biological and
Chemical Sciences

Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Flore adventice du sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) en Haute Casamance, zone soudanienne du Sénégal

Samba Laha KA^{1,2*}, Mame Samba MBAYE¹, Moustapha GUEYE²,
Abdoul Aziz CAMARA¹, Birane DIENG¹ et Kandioura NOBA¹

¹Laboratoire de Botanique et Biodiversité, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta DIOP, B.P. 5005 Dakar, Sénégal.

²Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, B.P. 53 Bambey, Diourbel, Sénégal.

* Auteur correspondant ; E-mail: kasam74@gmail.com; Tel: +221777954940

RESUME

Au Sénégal, le sorgho est l'une des principales cultures vivrières cependant sa production est fortement limitée par la compétition des adventices. Cette étude a été réalisée dans le but de caractériser la structure de la flore adventice du sorgho en Haute Casamance. Des relevés floristiques ont été effectués au cours des campagnes culturales 2015, 2016 et 2017 dans les champs de sorgho en milieu paysan et en stations expérimentales. Les résultats montrent que la flore adventice du sorgho est constituée de 232 espèces réparties dans 138 genres et 43 familles. Cette flore est dominée par les dicotylédones avec 72,4% des espèces. Les familles des Fabaceae et des Poaceae sont les plus représentées et renferment respectivement 24,1% et 15,9% des espèces de la flore. Les thérophytes sont largement dominantes avec 69,8% des espèces recensées, suivies des phanérophytes (13,2%), des hémicryptophytes (8,2%), des géophytes (5,6%), des chaméphytes (1,7%) et enfin des plantes parasites (0,9%). En ce qui concerne la répartition biogéographique, les espèces africaines et pantropicales sont majoritaires avec respectivement 40% et 25% de la flore. Cette étude préliminaire a permis de déterminer les spectres taxonomique, biologique et chorologique. Ces résultats sont utiles et constituent un préalable pour apprécier la nuisibilité des espèces adventices et pour proposer une méthode raisonnée de gestion des adventices du sorgho.

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Flore, Adventice, Sorgho, Haute Casamance, Sénégal.

Weed flora of grain sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench in Upper Casamance, Sudanian zone of Senegal

ABSTRACT

In Senegal, among the factors limiting sorghum production, weeds competition had been identified as a major obstacle in increasing the grain sorghum yield. This study was carried out in Upper Casamance to characterize the weed flora of grain sorghum. It aimed to establish the taxonomical, life forms and chorological spectra of weed species. Floristic surveys were carried out during 2015, 2016 and 2017 crop years in sorghum fields and in stations. The results revealed that flora consisted of 232 species distributed in 138 genera and 43 families. Dicotyledon was the most important form with 72.4 percent of recorded species. Fabaceae and

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.32>

7060-IJBCS

Annexe 4: Manuscrit n°1 pour publication scientifique (Abstract)

Infestation degree of weed communities in grain sorghum crop under Sudano-sahelian conditions of Senegal

Abstract

Characterization weed flora of grain sorghum in Upper Casamance was carried out using phytosociological surveys during 2015, 2016 and 2017 crop years. We analyzed the agronomic importance of these species based on the degree of infestation. The present study revealed that 233 plant species were growing as weeds in sorghum fields of Sudano-sahelian zone of Senegal, which belonged to 138 genera in 43 families. Infestation diagram based on weeds abundance and frequency showed eight groups of species reflecting their degree of infestation. Our investigation allowed pointing out a pool of sixteen species which constitute a major constraint in sorghum fields. Among them, four species (*Digitaria horizontalis*, *Hyptis suaveolens*, *Mariscus squarrosus* and *Spermacoce stachydea*) were potentially the most injurious against sorghum because of their high recovery and frequency. Indeed, knowing these target species is essential before elaboration of any integrated weed management (IWM) strategies for increasing grain sorghum yield under sudano-sahelian conditions of Senegal.

Keywords: Weed flora, Sorghum, Infestation degree, injurious, Senegal

Annexe 5: Manuscrit n°2 pour publication scientifique (Abstract)

**Assessment of critical period of crop-weed competition in grain sorghum
[*Sorghum bicolor* (L.) Moench] under sudanian conditions of Senegal**

Abstract

Field experiment was carried to determine the critical time for weed competition in grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Two set of treatments were applied in one set weeds were allowed to infest the crop and in second set crop was kept weed free for an increasing duration of time i.e.15, 30,45,60 days after sowing (DAS) and up to harvest. The beginning and the end of critical period of weed competition, were determined respectively under fertilized and unfertilized conditions. The results showed that more the weeds competition is longer, more sorghum parameters of growth and yield are reduced. The parameters of yield were significantly influenced by many factors such as year, nitrogenous fertilization and weeding periods. The highest plant height, dry matter and yield were recorded in weed free treatment followed by weed free up to 60 DAS and weedy up to 15 DAS. The result also showed that plant height, dry matter and yield was decreased significantly with each increase in competition period. Therefore the lowest growth parameters and yield were noticed in weedy check treatment followed by weedy up to 60 DAS and weed free up to 15 DAS. The maximum competition between crop and weed was between 15 and 45 DAS under unfertilized conditions and 10 and 55 DAS under fertilized conditions, which can be considered as critical period of crop-weed competition. The weeding practice should be adopted during this period for getting optimum sorghum production under sudanian conditions of Southern Senegal.

Keywords: sorghum-weed competition; critical period; yield

Annexe 6: Manuscrit n°3 pour publication scientifique (Résumé)

Etude de la dynamique des levées de la flore adventice du sorgho [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] en zone soudanienne du Sénégal

Résumé

Au Sénégal, les adventices constituent une des contraintes majeures à l'augmentation de la production agricole et à l'amélioration de la productivité. Si la structure taxonomique de la flore est relativement bien connue, peu d'études se sont focalisées sur la dynamique des levées qui pourtant est un outil de décision essentiel à la gestion de l'enherbement. C'est dans ce contexte que cette étude a été entreprise et se fixait comme objectif global de contribuer à une meilleure connaissance de la dynamique des levées en zone soudanienne du Sénégal. Plus spécifiquement, il s'agit d'établir et de comparer la composition spécifique et la densité de levées des différentes espèces, de mettre en évidence la chronologie des levées et d'étudier l'influence des conditions culturales et de l'année sur la dynamique de la flore adventice en zone soudanienne du Sénégal. Il ressort de cette étude que la flore est composée de 33 espèces réparties dans 28 genres et 9 familles cependant avec une forte variabilité en fonction de l'année et des conditions culturales. La diversité et la densité sont en générale, plus élevées dans les conditions non fertilisées comparées aux conditions ayant reçu l'apport d'engrais minérale. Les résultats montrent que les levées sont plus importantes en 2017 (4199) comparées à 2016 (1657). En valeur absolue, il y a plus de levées dans les parcelles non fertilisées que dans les parcelles fertilisées indépendamment de l'année. Ainsi, 941 et 2226 levées ont été enregistrées en condition F₀ respectivement en 2016 et 2017 contre 716 et 1973 levées en condition fertilisée F₁ à la même période. La flore de la dynamique est caractérisée par la dominance de cinq (5) espèces que sont *Hyptis suaveolens* (22,8%), *Kyllinga squamulata* (21,7%), *Mariscus squarrosus* (19,4%), *Dactyloctenium aegyptium* (16,9%) et *Digitaria horizontalis* (9,8%) qui cumulent 91% des levées. Par ailleurs, la fréquence des espèces est très variable d'une année à l'autre et d'un traitement à un autre. Toutefois, *Dactyloctenium aegyptium*, *Digitaria horizontalis*, *Fimbristylis hispidula*, *Mitracarpus villosus*, *Mariscus squarrosus*, *Kyllinga squamulata* et *Hyptis suaveolens* ont des fréquences très élevées indépendamment de l'année ou du traitement. Cette étude, une des premières dans la zone subhumide du Sénégal, méritent d'être prolongée, élargie et renforcée notamment par l'étude du stock semencier dont il existe une relation étroite avec la flore levée. La connaissance de cette relation flore levée-flore potentielle ainsi que les variables environnementales et agronomiques pourrait aider à établir des modèles prédictifs pour suivre l'évolution des communautés d'adventices sur le long terme dans un contexte de changements globaux.

Mots clés : Flore adventice, dynamique des levées, zone soudanienne, sorgho, diversité