

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 : 2016

N° d'ordre : 196



THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Biologie, Physiologie et Productions Végétales

Option : Protection et Production Végétales

Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et
de récolte du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf ; Poaceae)
au Sénégal Oriental et en Casamance (Sénégal)

Présentée par :

M. Moustapha GUEYE

Soutenue le 19 février 2016 devant le jury composé de :

Président :	M. Papa Ibra SAMB	Professeur titulaire	UCAD
Rapporteur :	M. Mame Samba MBAYE	Maître de conférences	UCAD
Rapporteur :	M. Saliou NDIAYE	Maître de conférences	ENSA/UT
Rapporteur :	M. Mamadou GUEYE	Directeur de recherches	ISRA
Examineur :	Mme Madeleine S. BARRETO	Maître de conférences	UCAD
Examineur :	M. Aboubacry KANE	Maître de conférences	UCAD
Directeur de thèse :	M. Kandioura NOBA	Professeur titulaire	UCAD

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 : 2016

N° d'ordre : 196



Moustapha GUEYE

THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Biologie, Physiologie et Productions Végétales

Option : Protection et Production Végétales

Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et
de récolte du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf ; Poaceae)
au Sénégal Oriental et en Casamance (Sénégal)

Présentée par :
M. Moustapha GUEYE

Soutenue le 19 février 2016 devant le jury composé de :

Président :	M. Papa Ibra SAMB	Professeur titulaire	UCAD
Rapporteur :	M. Mame Samba MBAYE	Maître de conférences	UCAD
Rapporteur :	M. Saliou NDIAYE	Maître de conférences	ENSA/UT
Rapporteur :	M. Mamadou GUEYE	Directeur de recherches	ISRA
Examineur :	Mme Madeleine S. BARRETO	Maître de conférences	UCAD
Examineur :	M. Aboubacry KANE	Maître de conférences	UCAD
Directeur de thèse :	M. Kandioura NOBA	Professeur titulaire	UCAD

En souvenir
aux moments passés
en Casamance Naturelle
et
au fuyage de Dakar
12/08/16
Santé pour tous

Citation de la thèse:

Gueye M. (2016). Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et de récolte du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf ; Poaceae) au Sénégal. Thèse de Doctorat en Biologie, Physiologie et Productions Végétales. Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), 102 pages + Annexes.

DEDICACES

A Fatou Dieng Gueye, mon épouse

A notre fille Aïcha A. Gueye

A nos parents, enfants, neveux et homonymes

Aux Producteurs et Transformateurs Fonio

A mes Collègues, Guides et Maîtres

Aux agronomes et autres techniciens du développement

REMERCIEMENTS

Je rends grâce au Tout Puissant, pour la santé, la patience et l'amour du travail durant la conception, la mise en œuvre et la valorisation de ce travail.

J'exprime toute ma gratitude à mes deux parents ainsi qu'à mes deux beaux-parents pour les prières et les encouragements. J'espère que cette modeste contribution renforce votre fierté sur ma modeste personne. J'y associe toute ma famille à Rufisque, Dakar, Thiès, Diourbel et Kolda.

Je ne remerciais jamais assez le Recteur de l'UCAD et le Directeur de l'Ecole Doctorale ED-SEV, pour m'avoir ouvert les portes de la première « Cité du savoir » et mis à notre disposition des enseignants chercheurs de rang et de qualité respectés.

Je tiens aussi à remercier très sincèrement le Directeur Général de l'ISRA, le Directeur Scientifique de l'ISRA et le Directeur du CRZ de Kolda pour les moyens et les encouragements durant ces années.

J'exprime ma profonde gratitude à tous les membres du jury qui ont bien voulu apprécier le travail qui leur est soumis, en l'occurrence :

- Pr Papa Ibra Samb, enseignant-chercheur au Département de Biologie Végétale de l'UCAD, d'avoir bien voulu présider ce jury et d'accepter d'examiner ce travail ;
- Dr Madeleine S. Barréto enseignant-chercheur au Département de Biologie Végétale de l'UCAD d'avoir bien voulu examiner ce travail ;
- Dr Aboubacry Kane enseignant-chercheur au Département de Biologie Végétale de l'UCAD, d'avoir accepté d'examiner ce travail ;
- Dr Mame Samba Mbaye enseignant-chercheur au Département de Biologie Végétale de l'UCAD pour avoir rapporté ce travail et les suggestions pertinentes qu'il a apportées dans ce document ;
- Dr Mamadou Guèye, Directeur de recherches à l'ISRA, pour avoir accepté de rapporter ce travail et de siéger dans ce jury ;
- Dr Saliou Ndiaye, enseignant-chercheur à l'ENSA/Université de Thiès d'avoir rapporté et jugé ce travail.
- Professeur Kandioura Noba, mon Directeur de Thèse, qu'il en soit encore une fois de plus remercié pour ses valeurs humaines, son appui méthodologique et sa rigueur rédactionnelle durant mes travaux de recherche. Je ne citerai pas ses collaborateurs au Département de Biologie Végétale, mais qu'ils en soient très sincèrement remerciés.

Je remercie également les autorités du FNRAA et du CNS/WAAPP Sénégal, pour la prise en charge scientifique et financière de mes travaux de thèse. Particulièrement, j'exprime ma gratitude aux Drs Papa Ndiengou Sall et Samba Sall du FNRAA et à Dr Ndiaga Cissé du CERAAS/WAAPP Sénégal pour le financement des projets de recherche sur le fonio.

Sans le concours financier du WAAPP, je n'aurais pas eu la possibilité de bénéficier d'un séjour scientifique de quatre mois à Lexington dans l'état de Kentucky aux USA. I would like to thank Dr. Michael Reed and Dr. John H. Grove, both full professors at the University of Kentucky, in Lexington, for their warm welcoming, their technical assistance and their writing critics during my 4-month visiting stay in Kentucky (KY, USA). Que tout le personnel du CNS/WAAPP et de l'UCP WAAPP en soit vivement remercié.

Je remercie également le Projet USAID/ERA, pour m'avoir octroyé une bourse d'excellence de deux ans (2013-2014). Cette subvention a permis de prendre en charge une partie de mes frais d'inscription à l'UCAD, les frais d'analyse d'échantillons de sols et les frais de finalisation de la thèse.

Mes très sincèrement remerciements s'adressent aussi à mes collègues et partenaires, à savoir : CRZ Kolda, CRA de Djibélor, ENSA de Thiès, CERAAS de Thiès, ITA, SODEFITEX, ASPROF, UCAD et LNRPV. Je suis très redevable à ce merveilleux monde de scientifiques et de développeurs. Que mon collègue agronome Ghislain Kanfany en soit particulièrement remercié par cette communauté.

Je voudrais également exprimer toute ma fierté au personnel scientifique et technique avec qui, un travail remarquable a été mené pour la conception, la mise en place et le suivi des enquêtes en milieu réel et des expérimentations en conditions semi contrôlées. Je n'oublierai jamais mes collègues techniciens Jean Christoph Manga, Bocar Sagna, Mamadou Lamine Sonko, Ismaïl Botou Bassène et Mamary Coulibaly particulièrement pour les prélèvements de sol et la collecte des données. A cela s'ajoutent, tous les stagiaires du CNFTAGR de Ziguinchor, de l'ISFAR de Bambey et de l'ENSA de Thiès qui ont apporté une contribution significative durant le suivi des essais en station et en milieu paysan. Qu'il me soit permis de ne pas les citer tous, vu le nombre important mobilisé dans la mise en œuvre de ces recherches.

Enfin et non les moindres derniers, je tiens à témoigner ma reconnaissance aux producteurs de fonio, et leurs structures associatives (ASPROF, URPROFOS, Fédération Yakar Niani Ouli, etc.) aussi bien en Casamance qu'au Sénégal Oriental, pour leur ouverture, leur volonté à partager leur savoir-faire agricole et aussi leur réceptivité durant les activités d'enquêtes, de diagnostic et de collecte de données dans les villages et dans les stations de recherches. Ils nous ont tout donné pour que nous en sachions davantage par rapport à la culture du fonio, céréale jadis considérée comme une culture orpheline ou négligée aussi bien au Sénégal que dans le reste des pays producteurs en Afrique de l'Ouest.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS.....	I
LISTE DES FIGURES.....	II
LISTE DES TABLEAUX	III
RESUME	V
ABSTRACT	VI
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
1.1. TAXONOMIE ET DIVERSITE GENETIQUE DU FONIO	3
1.1.1. Position systématique et taxonomique.....	3
1.1.2. Origine et centres de diffusion.....	3
1.1.3. Diversité génétique et relation phylogénétique.....	4
1.1.4. Cultivars et appellations locales	4
1.2. BIOLOGIE ET PHENOLOGIE DU FONIO	5
1.2.1. Description botanique et morphologique.....	5
1.2.2. Phases de développement	7
1.3. EXIGENCES ECOLOGIQUES DU FONIO.....	7
1.3.1. Nature des sols.....	7
1.3.2. Pluviométrie et besoins en eau	7
1.3.3. Température.....	8
1.3.4. Lumière et photopériode.....	8
1.4. NUISIBLES DU FONIO.....	8
1.4.1. Mauvaises herbes.....	8
1.4.2. Insectes ravageurs.....	8
1.4.3. Maladies fongiques.....	9
1.4.4. Autres nuisibles	9
1.5. TECHNIQUES CULTURALES ET POST RECOLTE	9
1.5.1. Variétés, semences et semis.....	10
1.5.2. Amendement et fertilisation	10
1.5.3. Récolte et opérations post récolte	10
1.6. TRANSFORMATION ET USAGES.....	12
1.6.1. Transformation primaire.....	12
1.6.2. Transformation secondaire	14
1.6.3. Utilisation et usages des grains et des sous produits.....	14
1.7. AIRES DE PRODUCTION DU FONIO EN AFRIQUE DE L'OUEST.....	14
1.8. ZONES DE DE PRODUCTION DU FONIO AU SENEGAL.....	15
1.8.1. Zones de production au Sénégal Oriental	16
1.8.2. Zones de production en Casamance	17
1.8.3. Zones de production dans le Bassin Arachidier.....	17
1.9. IMPORTANCE ECONOMIQUE ET SOCIALE DU FONIO.....	17
1.10. PROBLEMATIQUE DE LA CULTURE ET DE LA RECHERCHE D'ACCOMPAGNEMENT	17
CHAPITRE II : SITES D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES.....	19
2.1. SITES D'ETUDE	19
2.1.1. Sites pour l'étude des pratiques et contraintes culturelles en milieu réel.....	19
2.1.2. Sites pour les essais agronomiques.....	19
2.1.2.1. Village de Bandafassi	19

2.1.2.2. Station de Séfa	20
2.1.2.3. Station de Sinthiou Malème	20
2.2. MATERIEL ET METHODES.....	25
2.2.1. Matériel végétal	25
2.2.2. Facteurs et dispositifs d'étude	25
2.2.2.1. Etude des pratiques et des contraintes culturelles en milieu réel	25
2.2.2.2. Essais agronomiques en milieu semi contrôlé	25
2.2.2.2.1. Etude des techniques de semis sur la croissance et la production.....	25
2.2.2.2.2. Etude des effets d'amendement et de fertilisation sur la croissance et la production.....	27
2.2.2.2.3. Etude de la période de récolte sur les rendements biomasse et grain	29
2.2.2.3. Conditions d'études	29
2.2.2.3.1. Etude des pratiques et des contraintes culturelles en milieu réel	29
2.2.2.3.2. Essais agronomiques en milieu semi contrôlé	29
2.2.2.3.2.1. Etude des techniques de semis sur la croissance et la production	29
2.2.2.3.2.2. Etude des effets de l'amendement et la fertilisation sur la croissance et la production.....	31
2.2.2.3.2.3. Etude de la période de récolte sur les rendements biomasse et grain	33
2.2.4. Observations et mesures	33
2.2.4.1. Etude des pratiques et des contraintes culturelles en milieu réel	33
2.2.4.2. Essais agronomiques en milieu semi-contrôlé	34
2.2.5. Gestion et analyses statistiques des données	35
2.2.5.1. Etude des pratiques et des contraintes culturelles en milieu réel	35
2.2.5.2. Essais agronomiques en milieu semi contrôlé	35
CHAPITRE III : RESULTATS.....	36
3.1. ETUDE DES PRATIQUES ET DES CONTRAINTES CULTURALES EN MILIEU REEL.....	36
3.1.1. Caractéristiques des champs de fonio	36
3.1.2. Précédent cultural et travail du sol.....	38
3.1.3. Semences, cultivars et modalités de semis	38
3.1.4. Amendement et fertilisation	40
3.1.5. Inventaire et gestion des nusibles	40
3.1.6. Analyse des rendements et de la destination de la production.....	42
3.2. ETUDE DES TECHNIQUES DE SEMIS.....	43
3.2.1. Etude de la date de semis.....	43
3.2.1.1. Relations entre pluviosité et date de semis	43
3.2.1.2. Effets de la date de semis sur la croissance	44
3.2.1.3. Effets de la date de semis sur la biomasse et la production de grain	46
3.2.2. Etude de la dose de semences	48
3.2.2.1. Relation entre dose de semences et densité de plantes	48
3.2.2.2. Effets de la dose de semences sur le tallage et la biomasse aérienne	48
3.2.2.3. Effets de la dose de semences sur le rendement grain et le calibre des grains.....	50
3.2.3. Etude du mode de semis et du sarclage	52
3.2.3.1. Effets du mode de semis sur la dose de semences et la densité de plantes levées.....	52
3.2.3.2. Effets du mode de semis sur la croissance et le développement des plantes.....	53
3.2.3.3. Effets de la fréquence de sarclage sur le rendement grain paddy	53
3.2.3.4. Effets du mode de semis sur la biomasse aérienne et le rendement grain	54
3.3. ETUDE DES EFFETS DE L'AMENDEMENT ET DE LA FERTILISATION	59
3.3.1. Effets de la fertilisation organo-minérale	59
3.3.1.1. Effets de la fumure sur la croissance et le tallage	59
3.3.1.2. Effets de la fumure sur la biomasse aérienne et le rendement grain.....	62
3.3.2. Reponses du fonio aux fertilisants minéraux	65
3.3.2.1. Influence de N, P et K sur la croissance des plantes	65
3.3.2.2. Influence de N, P et K sur le tallage et la production de panicules	69
3.3.2.4. Influence de N, P et K sur le rendement et ses composantes	74
3.4. ETUDE DE LA PERIODE DE RECOLTE.....	80
3.4.1. Effets de la période de récolte sur la biomasse aérienne	80

3.4.2. Effets de la période de récolte sur le rendement grain et le calibre des grains	80
CHAPITRE IV : DISCUSSION GENERALE	82
4.1. ETUDE DES PRATIQUES ET DES CONTRAINTES CULTURALES EN MILIEU REEL.....	82
4.2. ETUDE DES TECHNIQUES DE SEMIS.....	84
4.3. ETUDE DE L'AMENDEMENT ET DE LA FERTILISATION	87
4.4. ETUDE DE LA PERIODE DE RECOLTE.....	91
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	92
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	94
ANNEXES.....	103
ANNEXE I: FICHE TECHNIQUE CULTURALE DU FONIO (DRAFT EN COURS D'ILLUSTRATION)..	103
ANNEXE II : MEMOIRES ENCADRES ET SUPPORTS DIDACTIQUES EDITES	106
ANNEXE III : MANUSCRIPT N°1 POUR PUBLICATION SCIENTIFIQUE (ABSTRACT).....	107
ANNEXE IV : MANUSCRIPT N°2 POUR PUBLICATION SCIENTIFIQUE (ABSTRACT).....	108
ANNEXE V: ARTICLE PUBLIE DANS IJBCS	109
ANNEXE VI: RESUME DE LA COMMUNICATION ORALE LORS DE LA 3E CONFERENCE INTERNATIONALE SUR LES ESPECES ET CULTURES NEGLIGEEES, ACCRA (GHANA), 25-27 SEPTEMBRE 2013.....	110

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ANACIM	Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (Sénégal)
ANCOVA	Analyse de la covariance
ANOVA	Analyse de la variance (Analysis of variance)
ASPROF	Association Sénégalaise pour la Promotion du Fonio
BM	Banque Mondiale
CERAAS	Centre d'Etudes et de Recherches sur l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse
CNFTAGR	Centre National de Formation des Techniciens de l'Agriculture et du Génie Rural
CNRA	Centre National de Recherches Agronomiques (ISRA)
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)
DMRT	Duncan Multiple Range Test (test de comparaison multiple de Duncan)
DRDR	Direction Régionale du Développement Rural
ED-SEV	Ecole Doctorale « Sciences de la vie, de la Santé et de l'Environnement »
ENSA	Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (Sénégal)
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Statistics
FNRAA	Fonds National de Recherches Agricoles et Agro alimentaires (Sénégal)
IPGRI	International Plant Genetic Resources Institute (Bioversity International)
ISRA	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
ITA	Institut de Technologie Alimentaire (Sénégal)
LNRPV	Laboratoire National de Recherches sur les Productions Végétales (ISRA)
LSD	Least Significant Difference (Plus petite différence significative)
MAER	Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement Rural (Sénégal)
MEFP	Ministère de l'Économie, des Finances et du Plan (Sénégal)
PNIA	Programme National d'Investissement Agricole (Sénégal)
PPAAO	Programme de Productivité Agricole pour l'Afrique de l'Ouest (WAAPP)
RGPHAE	Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage
UCAD	Université Cheikh Anta Diop de Dakar
UNFPA	Fonds des Nations Unies pour la Population
URPROFOS	Union Régionale des Productrices/eurs de Fonio de Sédhiou
USAID	US Agency for International Development
USAID/ERA	USAID Education and Research in Agriculture
UT	Université de Thiès
WAAPP	West Africa Agricultural Productivity Program (PPAAO)
WECARD	West and Central Africa Agricultural Research and Development Center

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aire de la culture du fonio en Afrique de l'Ouest.....	3
Figure 2 : Champ de fonio en Haute Casamance (Sénégal)	5
Figure 3 : Aperçu des grains de fonio à la maturité et sous forme de semences	6
Figure 4 : Principaux insectes coléoptères ravageurs de stocks de fonio au Sénégal.....	9
Figure 5 : Modalités de séchage du fonio dans les zones de production.....	11
Figure 6 : Diagramme de transformation du fonio.....	12
Figure 7 : Quelques illustrations de transformation primaire et secondaire du fonio au Sénégal	13
Figure 8 : Evolution des statistiques agricoles du fonio au niveau africain de 1961 à 2005	15
Figure 9 : Evolution des statistiques agricoles du fonio en Casamnce et au Sénégal Oriental.....	16
Figure 10 : Localisation des villages suivis dans les zones de production de fonio	22
Figure 11 : Localisation des sites expérimentaux	23
Figure 12 : Représentation simplifiée du dispositif de suivi dans une parcelle paysanne de fonio	25
Figure 13 : Effet de la date de semis sur les stades phénologiques du fonio en 2010.....	44
Figure 15 : Effet de la date de semis sur le tallage du fonio.	45
Figure 16 : Effet de la date de semis sur la taille des plantes de fonio à la maturité.	45
Figure 16 : Densité de plantes de fonio en fonction du site et de l'année	65
Figure 17 : Taille des plantes âgées de 30 en fonction de l'interaction N * P en Séfa en 2011.	66
Figure 18 : Nombre de talles/plante en fonction de l'interaction N * P à Bandafassi en 2012	69
Figure 19 : Nombre de panicules/plante en fonction de l'interaction N * P à Sinthiou en 2011	70
Figure 20 : Poids grains de fonio en fonction de l'interaction N * P en Séfa en 2011.....	76
Figure 21 : Poids grains de fonio en fonction de l'interaction P * K en Sinthiou en 2011.	77
Figure 22 : Poids panicule de fonio en fonction de l'interaction N * P * P à Sinthiou Malème en 2012.	78
Figure 23 : Poids panicule de fonio en fonction de l'interaction P * K à Sinthiou en 2012.....	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Table de composition du fonio en comparaison aux céréales majeures	14
Tableau 2 : Nombre de villages et de parcelles de fonio suivies.....	19
Tableau 3 : Température, humidité et ensoleillement en Sénégal Oriental et Casamance.	21
Tableau 4 : Pluviométrie saisonnière 2010, 2011 et 2012 et normale 1981-2010.....	21
Tableau 5 : Caractérisation des sols de la couche 0-20 cm dans les sites expérimentaux de 2010 à 2012.	24
Tableau 6 : Modalités de dates de semis testées.	26
Tableau 7 : Modalités de doses de semences (kg/ha) testées.	26
Tableau 8 : Modalités de modes de semis et de nombre de sarclage testées.	27
Tableau 9 : Signification des traitements d'amendement et de fertilisation.....	28
Tableau 10 : Sources et doses de fertilisants minéraux testés.	28
Tableau 11 : Modalités de dates de récolte testées.....	29
Tableau 12 : Conduite des essais de date de semis sur le fonio	30
Tableau 13 : Conduite des essais de doses de semis sur le fonio	30
Tableau 14 : Conduite des essais de mode de semis.	31
Tableau 15 : Conduite des essais de fertilisation organo minérale.....	32
Tableau 16 : Caractéristiques de la poudrette d'étable utilisée comme source de matière organique.....	32
Tableau 17 : Conduite des essais de réponses aux fertilisants minéraux	32
Tableau 18 : Conduite des essais de date de récolte dans les sites.....	33
Tableau 19 : Répartition (%) des parcelles de fonio suivies suivant la superficie	36
Tableau 20 : Répartition (%) des champs de fonio selon le type ou la nature du sol	36
Tableau 21 : Répartition (%) des producteurs de fonio en fonction du mode d'accès à la terre	36
Tableau 22 : Superficie cultivée en fonio (ha) par producteur en Casamance et au Sénégal Oriental	37
Tableau 23 : Répartition (%) des producteurs de fonio selon l'assolement et la rotation culturale	37
Tableau 24 : Répartition (%) des parcelles de fonio en fonction du précédent cultural et du travail du sol.	38
Tableau 25 : Répartition (%) des parcelles de fonio selon l'origine des semences et le type de cultivar.	39
Tableau 26 : Période de semis, quantités de semences et enfouissement des semences de fonio.	40
Tableau 27 : Diversité spécifique, origine et type biologique des adventices dans les champs de fonio	41
Tableau 28 : Fréquence d'occurrence des adventices dans les champs de fonio.	41
Tableau 29 : Rendement grain et destination de la production de fonio.	42
Tableau 30 : Cumul de pluies et nombre de jours pluvieux pour chaque date de semis.	43
Tableau 31 : Biomasse, rendement grain et taille des grains du fonio en fonction de la date de semis.	47
Tableau 32 : Densité de plantes en fonction de la dose de semences du fonio en 2011.....	48
Tableau 33 : Nombre de talles par plante en fonction de la dose de semences du fonio.....	49
Tableau 34 : Biomasse aérienne sèche en fonction de la dose de semences du fonio.....	49
Tableau 35 : Rendement grain paddy en fonction de la dose de semences du fonio.....	51
Tableau 36 : Calibre des grains paddy en fonction de la dose de semences du fonio en 2010.	51
Tableau 37: Quantité de semences de fonio par ha en fonction du mode de semis en 2012.....	52
Tableau 38 : Densité de plantes en fonction du mode de semis du fonio.....	52

Tableau 40 : Hauteur des plantes en fonction du mode de semis du fonio.	56
Tableau 41 : Nombre de talles par plante en fonction du mode de semis du fonio.	56
Tableau 42 : Biomasse aérienne en fonction du mode de semis du fonio.	57
Tableau 43 : Rendement grain paddy en fonction de la méthode de semis du fonio.	57
Tableau 44 : Effet du sarclage sur le tallage, la biomasse aérienne et le rendement grain paddy fonio en 2010..	58
Tableau 45 : Effet de l'interaction mode de semis x sarclage sur le rendement grain paddy fonio en 2010.....	58
Tableau 45 : Tallage du fonio en fonction de l'amendement et de la fertilisation.	60
Tableau 46 : Hauteur plante fonio en fonction de l'amendement et de la fertilisation.....	61
Tableau 47 : Biomasse aérienne sèche du fonio en fonction de l'amendement et de la fertilisation.	63
Tableau 48 : Rendement grain paddy fonio en fonction de l'amendement et de la fertilisation.	64
Tableau 49 : Hauteur plante de fonio à 30 JAS en fonction de la dose de N, P et K.	67
Tableau 50 : Hauteur plante de fonio à 60 JAS en fonction de la dose et source de fertilisant minéral.....	68
Tableau 51 : Production de talles de fonio en fonction de la dose de N, P et K.....	71
Tableau 52 : Production de panicules de fonio en fonction de la dose de N, P et K.	72
Tableau 53 : Effet de l'azote, du phosphore et du potassium sur la biomasse aérienne du fonio.....	73
Tableau 54 : Effet de l'azote, du phosphore et du potassium sur le rendement grain paddy fonio.	75
Tableau 55 : Poids 1000 grains de fonio selon l'apport de N, P et K en 2011.	76
Tableau 56 : Poids panicule de fonio selon l'apport d'azote, de phosphore et de potassium en 2012.	77
Tableau 57 : Effet de la période de récolte sur la biomasse aérienne et la production de grains de fonio.	81

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

FACULTE : SCIENCES ET TECHNIQUES

Thèse de Doctorat Biologie, Physiologie et Productions Végétales
Spécialité : Protection et Production Végétales

Doctorant : M. Moustapha GUEYE

Titre : Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et de récolte du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf, Poaceae) au Sénégal Oriental et en Casamance (Sénégal)

Date et lieu de soutenance : 19 février 2016 à Dakar

Composition du Jury :

Président :	M. Papa Ibra SAMB	Professeur titulaire, UCAD
Rapporteur :	M. Mame Samba MBAYE	Maître de conférences, UCAD
Rapporteur :	M. Saliou NDIAYE	Maître de conférences, UT
Rapporteur :	M. Mamadou GUEYE	Directeur de recherches, ISRA
Examineur :	Mme Madeleine S. BARRETO	Maître de conférences, UCAD
Examineur :	M. Aboubacry KANE	Maître de conférences, UCAD
Directeur de thèse :	M. Kandjouira NOBA	Professeur titulaire, UCAD

RESUME

Le fonio blanc (*Digitaria exilis*) est une céréale négligée et cultivée essentiellement dans les régions sud et sud-est du Sénégal. La production nationale en grain paddy fonio est faible alors que la consommation en produits à base de fonio s'accroît dans le pays. Cette situation est due aux faibles rendements grain et à l'absence de référentiel technique de production, en particulier sur la phytotechnie. L'objectif général de notre travail est de contribuer à l'augmentation de la production et de la productivité du fonio ; et plus spécifiquement de mettre au point des techniques améliorées pour le semis, le plan de fumure et la période de récolte. Pour cela, une étude des pratiques locales a été conduite dans 88 parcelles de fonio en milieu paysan dans les zones de production et des tests agronomiques sur (i) les techniques de semis, (ii) l'amendement et la fertilisation et (iii) la période de récolte ont été menés en condition semi contrôlée. Le diagnostic des pratiques paysannes a montré que le fonio est cultivé sur de petites superficies variant entre 0,4 et 1,5 ha par champ. La majorité des producteurs suivis (88%) pratiquent les rotations culturales bien que la monoculture est une pratique fréquente dans la région sud-est du pays. L'arachide est le principal précédent culturel du fonio dans toute la zone étudiée. Les rendements grain paddy dépassent rarement 500 kg/ha et cette faible production est liée entre autres au faible potentiel des cultivars locaux, à l'absence ou la faible utilisation d'intrants agricoles et aux importantes pertes de grains entre la récolte et les opérations post récolte. Les résultats sur le test de semis montrent que la période de semis a une influence sur la densité de plantes, leur croissance et le rendement grain paddy. La période optimale de semis correspond à la première quinzaine du mois de juillet chez les cultivars précoces. Le test sur les doses de semences a révélé une corrélation positive entre la maîtrise des adventices et les quantités de grains semés/ha. La dose de 30-45 kg semences/ha est recommandée pour éviter le gaspillage de grains sans favoriser la compétition des adventices. La comparaison de modes de semis a montré que le semis à la volée permet une bonne maîtrise des adventices en comparaison aux modes de semis en lignes ou en poquets. Les essais sur l'amendement et la fertilisation ont confirmé que la culture du fonio n'est pas exigeante par rapport à la qualité des sols. Cependant, des apports modérés d'azote, de phosphore et de potassium ont des effets agronomiques similaires par rapport à ceux engendrés par les fortes doses d'engrais minéraux. Un apport de 50 kg/ha d'engrais NPK (15-15-15) est recommandé pour assurer de meilleurs rendements en grain sans appauvrissement continu des sols. L'évaluation de dates de récolte a montré que les récoltes tardives peuvent engendrer une réduction de 32-48% sur le rendement grain. La période optimale de récolte se situe entre 97 et 104 jours après semis ou entre 1 et 2 semaines après maturité des plantes chez les cultivars précoces. Ces résultats sur le semis, le plan de fumure et la période de récolte constituent des éléments importants pour la mise au point d'un itinéraire technique performant et adapté. Ces acquis pourraient être renforcés avec des investigations complémentaires sur la biologie et la physiologie de la plante dans le cadre de l'intensification et de la diversification des céréales.

Mots clés: Fonio, *Digitaria exilis*, Pratiques paysannes, Semis, Fumure, Récolte, Sénégal

UNIVERSITY CHEIKH ANTA DIOP
DOCTORAL SCHOOL: LIFE SCIENCES,
HEALTH AND ENVIRONNEMENT (ED-SEV/UCAD)

FACULTY: SCIENCES AND TECHNIQUES

Doctorate in Plant Biology, Physiology and Production
Spéciality: Plant Protection and Production

Doctoral Candidate: Mr Moustapha GUEYE

Title: Improvement of sowing, fertilizing and harvesting techniques in fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf, Poaceae) in Southeastern Senegal and in Casamance (Senegal)

Date and venue of defense: February 19th, 2016 in Dakar

Composition of Jury:

Chairman:	Mr Papa Ibra SAMB	Full Professor, UCAD
Reporter:	Mr Mame Samba MBAYE	Senior Lecturer, UCAD
Reporter:	Mr Saliou NDIAYE	Senior Lecturer, UT
Reporter:	Mr Mamadou GUEYE	Director of Research, ISRA
Examiner:	Ms Madeleine S. BARRETO	Senior Lecturer, UCAD
Examiner:	Mr Aboubacry KANE	Senior Lecturer, UCAD
Director of thesis:	Mr Kandioura NOBA	Full Professor, UCAD

ABSTRACT

Fonio millet (*Digitaria exilis*) is a minor cereal crop mainly grown in southern and southeastern Senegal. National production is still low whereas fonio consumption is being increased. Low yields are due to low yielding local cultivars and lack of improved cultivation techniques, particularly in seeding, fertilizing and harvesting techniques. Our research comprising field surveys within 88 farmer's fields in fonio productions zones and on-station trials regarding sowing techniques, amendment and fertilization and harvesting techniques aimed at improving grain yields of fonio in these two zones. Field surveys show that fonio millet is cultivated with small plot ranging between 0.4 and 1.5 ha. Of farmers monitored, 88% adopted crop rotation for fonio but continuous fonio cropping is relatively well adopted in south southeastern Senegal. Overall, peanut is the main preceding crop for fonio cropping system. Low yields result from low-input cropping systems with poor-yielding landraces and high grain loss due to lodging, grain shattering, and insect damage, which increasingly affected grain yield when harvest occurred too late. Planting time negatively affected plant density, plant growth and grain yield of fonio millet. Sowing in the first fortnight of July is considered as optimal time for seeding. Seed rates test revealed positive relationship between weed control and seed rate of fonio. Sowing at 30-45 kg/ha is reasonable for better plant growth, seed wastes and higher grain yield of fonio. Comparison of organic and inorganic fertilizers confirmed that fonio millet is a low uptake mineral nutrients crop and fertilizing at least 50 kg NPK per ha is recommended to sustain grain yield and restoring soil fertility. Harvest date trial showed that the dry aerial matter increased with later harvest date whereas maximum grain yields were recorded when fonio straw was harvested around 90-97 days after planting. Late harvesting (after 111 days after sowing or 3 weeks after plant maturity) significantly reduced grain yield by 32-48%, in comparison with the optimal harvesting date. Fonio farmers should harvest fonio straws at 97-104 days after planting or 1-2 weeks after plant maturity for fonio landraces with maturity ranging 75-90 days. These results are key elements for the development of enhanced cultivation techniques. Additional investigations on plant biology and plant physiology are recommended with respect to the improvement and the diversification of local cereals crops.

Additional words: Fonio, *Digitaria exilis*, farmer practices, sowing, fertilization and harvesting, Senegal

INTRODUCTION GENERALE

L'agriculture sénégalaise contribue à environ 10-15% du produit intérieur brut et occupe entre 50-60% de la population active (ISRA, 1992 ; PNIA, 2009 ; ANSD, 2014). Elle est essentiellement composée d'exploitations agricoles familiales et près de 8-9 sur 10 ménages agricoles pratiquent l'agriculture pluviale (ANSD, 2014). A l'exception des zones irriguées (vallée du fleuve Sénégal et bassin de l'Anambé), le sous secteur agriculture est fortement dépendant de la pluviométrie caractérisée par une diminution de la durée de l'hivernage et une baisse de la fréquence des jours de pluie (PNIA, 2009 ; Banque Mondiale, 2010). A cela, s'ajoutent le sous équipement agricole, la baisse de la fertilité des sols et/ou la dégradation des sols qui affectent négativement la sécurité alimentaire dans le monde rural (PNIA, 2009).

Ce fort impact de la péjoration pédo-climatique rend difficile l'amélioration de la productivité de l'agriculture pluviale et du cadre de vie dans le monde rural. En effet, la production agricole ne couvre en moyenne que la moitié des besoins alimentaires de base dont les céréales (PNIA, 2008). Malgré leur importance dans la sécurité alimentaire des populations urbaines et rurales et leur contribution dans le produit intérieur brut agricole, les principales céréales locales (mil, sorgho, maïs et riz pluvial) sont caractérisées par l'inadaptation des pratiques culturelles par rapport à la situation actuelle et une baisse des rendements agronomiques. Cette situation se traduit par la forte concurrence des céréales importées dont le riz, le blé et le maïs et les mauvaises performances des céréales locales dans l'économie sénégalaise (BAME, 2008 ; Fall, 2010 ; Gueye et Faye, 2010 ; Sall, 2010).

Contrairement à ces céréales majeures, les produits à base de fonio sont en nette progression dans les circuits de commercialisation et de consommation, jadis très localisée ou marginalisée (USAID, 2008 ; Fofana et Fall, 2004). Cette demande croissante ne peut être résorbée par l'offre nationale car la production nationale demeure très faible et variable d'une année à une autre. La production nationale de fonio a varié en dents de scie : entre 2 407 et 1 402 tonnes par an de 1980 à 1989, entre 690 et 3 053 tonnes par an de 1990 à 1999 et entre 1 064 et 4 425 tonnes par an de 2000 à 2008 (Duteurtre et Dieye, 2010). Cette production faible et fluctuante explique la raison pour laquelle près de 70% du fonio brut transformé au Sénégal vient des pays limitrophes comme la Guinée et le Mali (USAID, 2008).

C'est dans ce contexte qu'il apparaît nécessaire aujourd'hui d'améliorer la production et la productivité de cette céréale africaine qui présente des qualités nutritionnelles, des avantages agronomiques et d'importantes connotations sociales (Vodouhe *et al.*, 2003 ; Vodouhe et

Dako, 2003 ; Vall, 2011). Cependant, le fonio a fait l'objet de peu de recherches d'accompagnement (Ndiaye, 1991 ; Ndoye et Nwasike, 1991 ; Fofana, 2003 ; Lo, 2003). Malgré les nombreuses interpellations des acteurs et structures d'appui au développement (FRAO, 1994 ; ENDA, 1999), les quelques acquis de la recherche sont essentiellement limités à la mécanisation du décorticage et à la caractérisation de cultivars locaux issus des principales zones de production de fonio. Des études diagnostic et de situation de références ont été mises à jour afin d'inciter les décideurs et leurs partenaires à financer la recherche et le développement sur le fonio afin d'en faire à la fois une culture alimentaire et commerciale (Fall et Fofana, 2003 ; UASID, 2008 ; Fall et Lo, 2009). C'est dans ce cadre que trois projets de recherches ont été financés par le Fonds National de Recherches Agricoles et Agro alimentaires (FNRAA) et le Programme de Productivité de l'Agriculture en Afrique de l'Ouest (PPAAO/WAAPP) pour la mise en œuvre d'un programme de recherche sur le fonio, notamment sur l'amélioration des techniques de culture.

L'objectif général de ce programme de recherche est d'améliorer la contribution du fonio dans les stratégies de sécurité alimentaire et de génération de revenus des populations rurales. Notre étude vise à améliorer les connaissances et les techniques de semis, de fertilisation et de récolte dans deux principales zones de production au Sénégal : le Sénégal Oriental et la Casamance. Plus spécifiquement, l'objectif de ce travail est de :

- faire un diagnostic des pratiques locales de culture,
- étudier les effets de techniques de semis sur la croissance et le rendement grain,
- déterminer l'influence de l'amendement et de la fertilisation sur la croissance et la production,
- évaluer les effets de la période de récolte sur les rendements biomasse et grain.

Le document présenté fait le point des résultats obtenus sur les recherches agronomiques sur le semis, la fumure et la récolte du fonio en Casamance et au Sénégal Oriental. En plus de l'introduction et de la conclusion/perspectives, il est structuré en cinq chapitres, à savoir : (i) la synthèse bibliographique sur le fonio, (ii) le matériel et les méthodes utilisés, (iii) la présentation des résultats obtenus, (iv) la discussion générale et (v) la conclusion et les recommandations agronomiques.

CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Taxonomie et diversité génétique du fonio

1.1.1. Position systématique et taxonomique

Le fonio cultivé est une monocotylédone appartenant à l'ordre des Glumales, à la tribu des Paniceae, à la famille des Poaceae (graminées). Le nom scientifique du fonio blanc est *Digitaria exilis* Stapf (Berhaut, 1967 ; Vodouhe & Achigan Dako, 2006). Il est dit blanc par opposition au fonio noir ou *Digitaria iburua*. Ces deux espèces cultivées de fonio ont beaucoup de ressemblances morpho-botaniques à l'exception de l'inflorescence et de l'épillet (Vietmeyer, 1996). Une nette différenciation génétique entre ces deux espèces de fonio cultivées a été mise en évidence d'après les travaux d'Adoukonou-Sagbadja *et al.* (2007b) et de Kwon-Ndung & Dachi (2007).

1.1.2. Origine et centres de diffusion

La culture du fonio serait considérée comme la plus ancienne de l'Afrique de l'Ouest (Vietmeyer, 1996). Ses origines ont été très controversées selon plusieurs sources documentaires. Ainsi, selon Portères (1976), cité par Cruz *et al.* (2011), le fonio aurait son centre d'origine dans la région du delta du Niger tandis que le Togo serait un centre secondaire. Selon Vodouhé *et al.* (2003), le fonio a été domestiqué dans la zone ouest du Soudan. En Afrique de l'Ouest, l'aire de culture du fonio blanc s'étend entre les 8° et 14° parallèles nord, du Sénégal au Lac Tchad (Figure 1). Le fonio noir ou *Digitaria iburua* est essentiellement rencontré au Nigéria, au Togo et au Bénin (Vietmeyer, 1996).

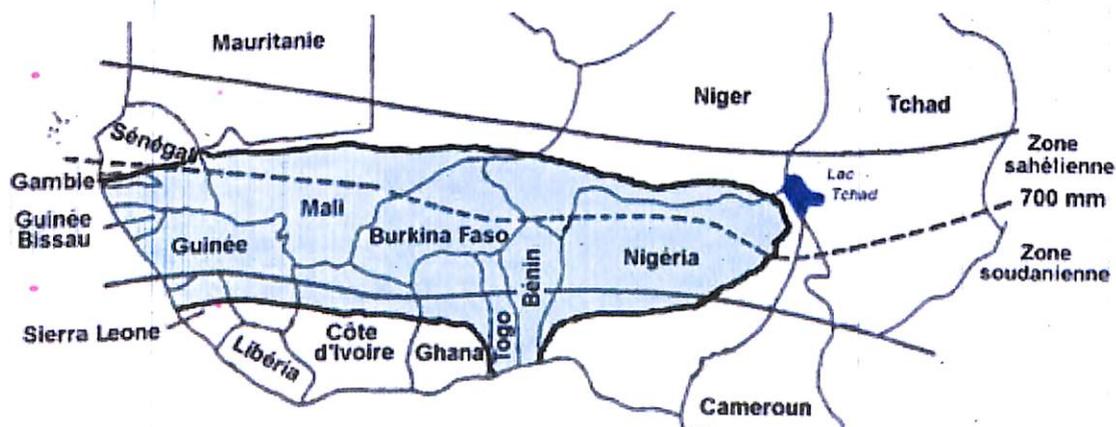


Figure 1 : Aire de la culture du fonio en Afrique de l'Ouest.
Source : Cruz *et al.* (2011)

1.1.3. Diversité génétique et relation phylogénétique

Le fonio blanc ou *Digitaria exilis* Stapf est très apparenté à plusieurs espèces sauvages, à savoir *D. longiflora* (Retz) Pers. et *D. barbinodis* Henr (Adoukonou-Sagbadja *et al.*, 2007a). Selon Adoukonou-Sagbadji *et al.* (2010), *D. exilis* et *D. longiflora* présentent plus 92% d'affinités génétiques. Les accessions de fonio cultivé présentent généralement moins de différenciation génétique que celles du fonio sauvage. Cependant, cette faible variabilité génétique du fonio blanc peut être améliorée avec la mutagenèse à l'aide des rayons gamma. Les travaux d'Animasaun *et al.* (2014) ont montré que l'irradiation à la dose de 80 Gy de Cobalt (60) améliorerait certains caractères végétatifs (taille, tallage, *etc.*) et composantes de rendement grain telles que le nombre de racèmes par talle et le calibre des grains.

1.1.4. Cultivars et appellations locales

Dans les zones de production en Afrique de l'Ouest, les différents types de cultivars locaux se distinguent généralement en fonction de leurs qualités culinaires, leur cycle cultural, des caractéristiques des panicules et des grains de fonio (Adoukonou-Sagbadja *et al.*, 2006 ; Vall *et al.*, 2011). Cependant, les producteurs les classent en trois types selon leur cycle : cultivars précoces, ceux intermédiaires et ceux tardifs. Les variétés précoces ont un cycle d'environ 70-85 jours, celles dites intermédiaires autour de 90-100 jours et enfin les cultivars tardifs ont généralement un cycle de plus de 120 jours. Les cultivars précoces et ceux intermédiaires sont les plus utilisés ou préférés par les producteurs à cause des fluctuations pluviométriques (Kanfany, 2008 ; Dansi *et al.*, 2010). Les accessions tardives sont plus productives mais malheureusement très exposées avec l'arrêt des pluies avant la maturité des panicules et ses dernières sont très attaquées par les insectes piqueurs suceurs comme les cantharides.

Au Nigeria, le fonio blanc est localement plus connu sous le vocable « acha ». Au Sénégal, les cultivars précoces de fonio sont appelés « Yawko » en Peulh ou « Momo » en Mandingue, ceux intermédiaires sont très connus sous les vocables « Mora » chez les Peulh ou « Dibong » chez les Mandingues tandis que les types tardifs sont appelés « Findiba » en Mandingue et « Maoko » en Peulh. En Bambara, le fonio est appelé « Fonio », en Diola « Ebognay », en Bassari « Funang », en Peulh « Fonio », et en Mandingue « Finndo ».

1.2. Biologie et phénologie du fonio

1.2.1. Description botanique et morphologique

Le fonio blanc est une plante herbacée annuelle pouvant atteindre entre 30 et 80 cm de haut (Figure 2). La plante de fonio présente un système racinaire fasciculé très développé. L'importance particulière de ce système racinaire est qu'il permet à la plante d'avoir un bon comportement durant les périodes de sécheresse et une adaptation aux sols pauvres qu'elle exploite efficacement (Cruz *et al.*, 2011). La tige est fine et creuse, le plus souvent branchée à la base avec des talles présentant des nœuds bruns ou généralement visibles. Le nombre de talles peut varier de 2 à 6 ou plus pour les variétés tardives (Cruz *et al.*, 2011). Les feuilles sont linéaires, lancéolées, glabres, de longueur variant entre 3 et 15 cm et de largeur entre 3 à 9 mm (Vodouhe & Achigan Dako, 2006).



Figure 2 : Champ de fonio en Haute Casamance (Sénégal)
Source : ISRA CRZ Kolda

Le fonio est une espèce autogame avec une reproduction apomictique (Adoukonou-Sagbadji *et al.*, 2010). C'est pourquoi, elle fait partie des espèces à évolution lente ou à base génétique restreinte. Vodouhe & Achigan Dako (2006) ont rapporté que le fonio cultivé est une espèce diploïde ($2n = 54$). Par contre, *D. exilis* est tétraploïde ($2n = 4x = 36$) selon Adoukonou-Sagbadji *et al.* (2007a).

L'inflorescence est une panicule digitée (forme de doigt) de près de 15 cm et porte généralement 2 à 3 voire 5 racèmes (Mémento de l'agronome, 2006 ; Vodouhe & Achigan Dako, 2006). Les fleurs supérieures sont hermaphrodites, tandis que celles inférieures sont généralement stériles (Vodouhe & Achigan Dako, 2006). Les grains de pollen du fonio ont une vitalité variant entre 81 et 90% selon Adokounou-Sagbadji *et al.* (2010).

Les grains sont très petits, habituellement jaunes (parfois brun ou violet) et de forme ovoïde (Figure 3). Un lot de 1 000 grains pèse dans l'ordre de 400 à 600 milligrammes (Fofana & Fall, 2004 ; Vodouhe & Achigan Dako, 2006). Un gramme de grains compte en moyenne entre 1 600 et 2 500 grains paddy (Santens, 1980).

Kwon-Ndung & Dachi (2007) ont étudié la nature des corrélations entre ces différents traits agro morphologiques dans une collection d'accessions de fonio au Nigéria. Par exemple, le tallage est très positivement corrélé au feuillage, le nombre de racèmes par panicule et la taille des plantes. La date de foraison est par contre négativement liée au nombre de talles.



Figure 3 : Aperçu des grains de fonio à la maturité et sous forme de semences
Source : ISRA CRZ Kolda

1.2.2. Phases de développement

La germination des grains de fonio a lieu à la température optimale de 30°C. Selon Ministère de la Coopération Française (2002), les grains de fonio germent à partir de 3-4 jours après semis. La levée est totale entre une à deux semaines après semis. A l'état jeune, la plante de fonio ne se différencie pas des herbes et par conséquent très sujette à être colonisée par ces dernières.

Durant la phase de croissance, la taille des plantes de fonio augmente avec le niveau de fertilité. Les parcelles fertilisées présentent les plantes les plus développées tandis que celles des parcelles non fertilisées présentent un tallage moins développé (Kanfany, 2009). Le fonio est une céréale qui talle bien. Selon Cruz *et al.* (2011), le nombre de talles varie de 2 à 6 par plante ou plus chez les variétés tardives. La floraison apparaît environ 60-65 jours après levée selon le type de cultivar (Sidibé, 2003).

La maturité physiologique a eu lieu à 21 et 30 jours après floraison respectivement chez le fonio blanc et le fonio noir (Bakare, 2005). A partir de cette étape, les plantes de fonio jaunissent et commencent à tomber par verse naturelle. Les grains changent de couleur et deviennent marron au stade final de la maturation.

1.3. Exigences écologiques du fonio

1.3.1. Nature des sols

Le fonio serait une plante peu exigeante quant à la nature du sol. En effet, il peut être cultivé sur des sols pauvres ou des sols à texture sableuse ou caillouteuse. Le fonio peut aussi bien pousser sur des sols à pH acide ayant une forte concentration en aluminium. Les sols salés et les terres riches en argiles ne sont pas recommandés pour cultiver le fonio (Vodouhé & Achigan Dako, 2006). De même, les parcelles en pente, les sols engorgés ou hydro morphes sont aussi à éviter.

1.3.2. Pluviométrie et besoins en eau

Le fonio est une culture peu exigeante en eau. En général, il est cultivé dans les sites de savanes où la pluviosité dépasse 400 mm par an (Vandenput, 1981). Il a été rapporté que le fonio peut se développer dans des zones recevant entre 250 et 1 500 mm de pluie par an (Ministère de la Coopération Française, 2006) ou variant entre 150 et 3 000 mm de pluie par an (Vodouhe & Achigan Dako, 2006).

1.3.3. Température

Le fonio est une céréale tropicale ou des régions chaudes. La température optimale est de l'ordre de 30°C durant la période germination-levée au champ. Les plantes se développent correctement lorsque les températures varient entre 28°C et 30°C (Ministère de la Coopération Française, 2002).

1.3.4. Lumière et photopériode

Le fonio est une plante exigeante en lumière (Ministère de la Coopération Française, 2002). La floraison du fonio n'est pas affectée par la longueur du jour (Vietmeyer *et al.*, 1996 ; Ministère de la Coopération Française, 2002). Aliero & Morakinyo (2005) ont montré que la photopériode est spécifique à la variété chez le fonio. En effet, l'existence de variétés de jours courts et des variétés insensibles à la longueur du jour a été rapportée par Cruz *et al.* (2011).

1.4. Nuisibles du fonio

1.4.1. Mauvaises herbes

Le fonio blanc a pour ennemis dans les champs quelques mauvaises herbes telles que *Spermacocea ruelliae* et *Digitaria horizontalis*. L'espèce *D. horizontalis* ressemble fortement au fonio cultivé, surtout au stade végétatif. Au Sénégal, elle est plus connue sous les appellations « Diadjé » ou « Laylay » en Peulh. La mauvaise herbe *Striga* est surtout rencontrée dans les champs paysans à sols dégradés ou à faible niveau de fertilité en Haute Casamance et au nord du Sénégal Oriental (Ghislain, 2008).

1.4.2. Insectes ravageurs

Plusieurs insectes ravageurs attaquent le fonio aussi bien au champ qu'au niveau des lieux de stockage. En effet selon Camara (2011), les ravageurs du fonio sont les piqueurs-suceurs (punaises, pucerons, acariens, jassides, etc.), les broyeurs, les coléoptères et les foreurs.

Les travaux de Gueye & Delobel (1999) ont montré que les grains paddy ou bruts de fonio sont très fortement attaqués par les insectes coléoptères, en particulier *Tribolium confusum* et *Ephestia cautella*. La figure 4 illustre les trois ravageurs les plus importants dans les stocks de fonio en milieu rural (Ndao, 2011). Il s'agit du tribolium rouge de la farine de riz (*T. castaneum*), du tribolium brun de la farine (*T. confusum*) et du capucin des grains (*Rhyzopertha dominica*).



Figure 4 : Principaux insectes coléoptères ravageurs de stocks de fonio au Sénégal

Source : Ndao (2011)

Tribolium rouge de la farine de riz (*T. castaneum*) (à gauche) ; Tribolium brun de la farine (*T. confusum*) (au centre) et Capucin des grains (*Rhyzopertha dominica*) (à droite)

1.4.3. Maladies fongiques

L'helminthosporiose et la cercosporiose sont les deux principales maladies fongiques du fonio selon Vodouhe *et al.* (2003). Le fonio serait aussi susceptible à la rouille causée par le champignon *Puccinia oahuensis* (Vodouhe & Achigan Dako, 2006). Les travaux de Camara (2011) ont révélé que les maladies foliaires avaient une incidence de 74% et une sévérité de 22% et que l'ergot et la moisissure ont été les principales maladies paniculaires dans les champs paysans au Sénégal.

1.4.4. Autres nuisibles

Les singes, les phacochères ainsi que les animaux domestiques font parfois des dégâts dans les champs de fonio. Les oiseaux peuvent aussi occasionner d'importantes pertes de rendement, surtout en fin de cycle cultural.

1.5. Techniques culturales et post récolte

Contrairement à la plupart des cultures pluviales (grandes céréales, arachide, cotonnier, *etc.*), il n'existe pas encore un itinéraire technique recommandé par la recherche pour la conduite de la culture du fonio. Au contraire, le fonio est cultivé avec un ensemble de pratiques paysannes traditionnelles transmises d'une génération à une autre.

1.5.1. Variétés, semences et semis

Selon le catalogue officiel, il n'existe pas encore de variété de fonio au Sénégal. Le choix du cultivar de fonio est généralement basé sur les qualités culinaires, la durée du cycle cultural, la couleur et le calibre des grains (Adoukonou-Sagbadja *et al.*, 2006 ; Vall *et al.*, 2011). Les producteurs sèment entre 10 et 50 voire 80 kg de semences paysannes par hectare pour limiter la compétition des mauvaises herbes (Vietmeyer *et al.* 1996 ; Philip & Itodo, 2006). La période de semis est variable et dépend du type de cultivar et de la place du fonio dans l'assolement ou de la valeur sociale dans la communauté.

1.5.2. Amendement et fertilisation

Les parcelles de fonio sont sur des terres pauvres, dégradées ou marginales. Il n'existe pas un plan de fumure pour la culture du fonio. La culture du fonio ne reçoit pas le même degré d'entretien en comparaison aux principales céréales. Cette situation explique en partie les faibles niveaux de rendements obtenus en zones rurales. Vall *et al.* (2011) ont rapporté qu'un désherbage entre 10 et 20 jours après semis permet d'enregistrer un rendement moyen de 700 kg/ha tandis qu'il baisse à 500 kg/ha lorsque l'élimination des adventices intervient au moins un mois après le semis.

1.5.3. Récolte et opérations post récolte

La récolte du fonio intervient généralement entre septembre et octobre voire novembre-décembre, selon le type de cultivar ou la longueur du cycle cultural ou le calendrier cultural. Elle est manuelle et se fait lorsque les pertes de grains par égrenage deviennent inévitables. La fauche se fait au ras du sol à l'aide de faucille dans le sens de la verse naturelle. Ensuite, les panicules sont rassemblées sous forme de gerbes de 2 à 3 kg selon la localité et le groupe ethnique. Ces gerbes sont séchées d'abord au champ ou sur claie surélevée ou sur un support incliné (Figure 5) avant d'être transportées et stockées dans les concessions.



Figure 5 : Modalités de séchage du fonio dans les zones de production

Source : ISRA CRZ Kolda

Gerbes de fonio séchées en tas empilés (en haut) ; Gerbes séchées sur claie sur élevée (en bas à gauche) ;
Gerbes séchées sur support incliné (en bas à droite)

Les opérations post-récoltes se font de façon manuelle et sont très pénibles et exigeantes en main-d'œuvre. Elles concernent le battage, le vannage et le stockage. Le battage qui permet de séparer les grains de fonio des panicules peut se faire soit manuellement soit mécaniquement. Le battage manuel s'effectue à même le sol ou sur des nattes ou des bâches de manutention. La mécanisation du battage est presque inexistante en milieu rural. Après le battage suit l'opération de vannage qui consiste à séparer les grains des débris de la paille et autres impuretés. Elle s'effectue à l'aide de paniers et de Calebasses en jouant sur la direction du vent, puis un tamisage permet d'éliminer les grains immatures.

1.6. Transformation et usages

1.6.1. Transformation primaire

La transformation primaire constitue la partie la plus pénible dans la préparation du fonio. Elle s'effectue en plusieurs étapes à savoir : décortiquage, vannage, lavage et blanchiment.

Les grains de fonio sont décortiqués et blanchis manuellement par les femmes au moyen de pilon et de mortier. En moyenne, une femme peut décortiquer manuellement entre 1 et 2 kg par heure (Philip & Itodo, 2006). Par contre, pour le décortiquage mécanique, il existe plusieurs types de machines à décortiquer le fonio sur le marché ouest africain (Sénégal, Mali, Guinée, Burkina, *etc.*). La machine à décortiquer le fonio type Sanoussi peut traiter entre 30 et 40 kg de fonio paddy par heure avec un rendement au décortiquage de 67 à 70% (Fall, 2012).

Le lavage des grains se fait 3 à 5 fois et parfois plus. Il dépend fondamentalement de la quantité de sable et de corps étrangers mélangés aux grains. Le diagramme de transformation permet d'estimer les rendements de décortiquage et de blanchiment lors de la transformation primaire du fonio (Figure 6).

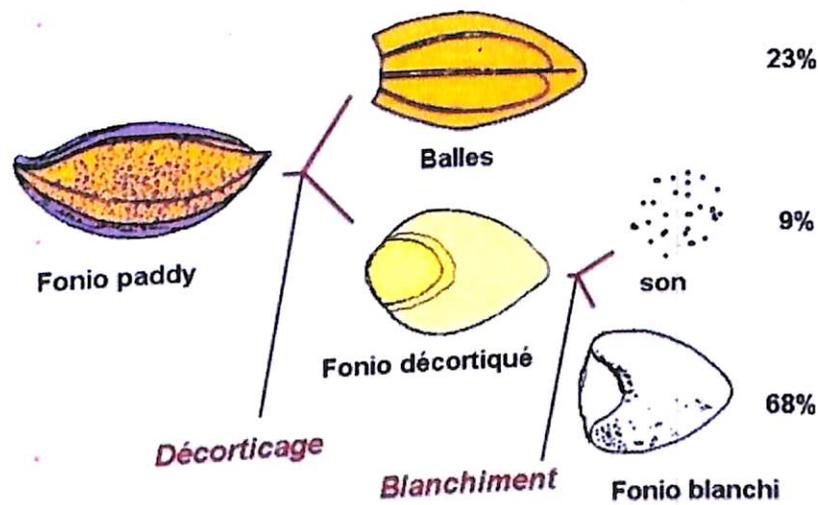


Schéma : J.F. Cruz (Cirad)

Figure 6 : Diagramme de transformation du fonio
Source : Cruz *et al.* (2011)



Figure 7 : Quelques illustrations de transformation primaire et secondaire du fonio au Sénégal

Source : ISRA CRZ Kolda et ITA (Projet FNRAA Fonio)

Fonio paddy (en haut à gauche) ; Fonio décortiqué et blanchi (en haut à droite) ; Cuisson fonio (en bas à gauche) ; Plat amélioré de fonio (en bas à droite)

1.6.2. Transformation secondaire

Plusieurs recettes de cuisine à base de fonio peuvent être préparées à partir des grains transformés (Figure 7). Ainsi, le fonio est consommé généralement sous forme de couscous, ou de bouillie, mais peut être utilisé pour des gâteaux ou des préparations à base de Yoghourt comme le « Thiakry » (Ndiaye *et al.*, 2008). Selon Koné (2000), la valeur alimentaire du fonio est similaire à celle des autres céréales locales comme le riz, le mil et le sorgho (Tableau 1).

Tableau 1: Table de composition du fonio en comparaison aux céréales majeures

Céréale	Energie (joule)	Glucides (g)	Protides (g)	Lipides (g)	Cellulose (g)	Calcium (mg)	Fer (mg)	Vitamine B (mg)
Fonio	1 382	71,0	7,7	1,8	6,8	30,0	3,4	3,4
Mil	1 486	73,0	10,0	2,5	2,0	20,0	5,0	1,7
Sorgho	1 468	71,0	10,4	3,4	2,0	32,0	4,5	4,1
Riz	1 482	77,0	8,0	1,5	0,5	10,0	2,0	0,3

NB : valeurs pour 100g d'aliment prêt.

Source : internet : <http://www.gtz.de/gate/gateid.afp>.

1.6.3. Utilisation et usages des grains et des sous produits

Le fonio constitue une culture vivrière dans ses zones de production. Les usages du fonio sont polyvalents dans l'alimentation locale et sur le plan socio-culturel. La paille et les grains de fonio sont utilisés pour l'alimentation animale. Au Ghana, les travaux de Karbo *et al.* (2002) ont montré que les agneaux de race Djalonké avaient une préférence alimentaire pour la paille de fonio non traitée à l'urée par rapport au témoin enrichi en azote. En raison de sa teneur élevée en méthionine, la paille de fonio est très appréciée par les animaux monogastriques tels que les porcs et la volaille (Vietmeyer *et al.*, 1996). En zone rurale, la paille de fonio est également utilisée comme combustible pour la cuisine ou est mélangée avec de l'argile pour la construction (Karbo *et al.*, 2002).

1.7. Aires de production du fonio en Afrique de l'Ouest

Les plus grands pays producteurs de fonio sont la Guinée, le Nigéria, le Mali et le Burkina Faso. Le fonio est plutôt une culture d'importance secondaire dans les autres pays de l'Afrique de l'Ouest. La culture du fonio est rapportée en République Dominicaine (Vodouhe & Achigan Dako, 2006 ; Cruz *et al.*, 2011).

La figure 8 montre l'évolution de la production, des superficies et des rendements de fonio au niveau africain de 1961 à 2005 (Cruz *et al.*, 2011). On peut remarquer la stagnation des rendements grains entre 600 et 800 kg/ha alors que les superficies cultivées et la production sont en nette augmentation à partir des années 1990. En 2006, la production de fonio au niveau africain a atteint 365 000 tonnes pour une surface récoltée de 475 000 ha, selon une source de FAOSAT rapportée par Cruz *et al.* (2011).

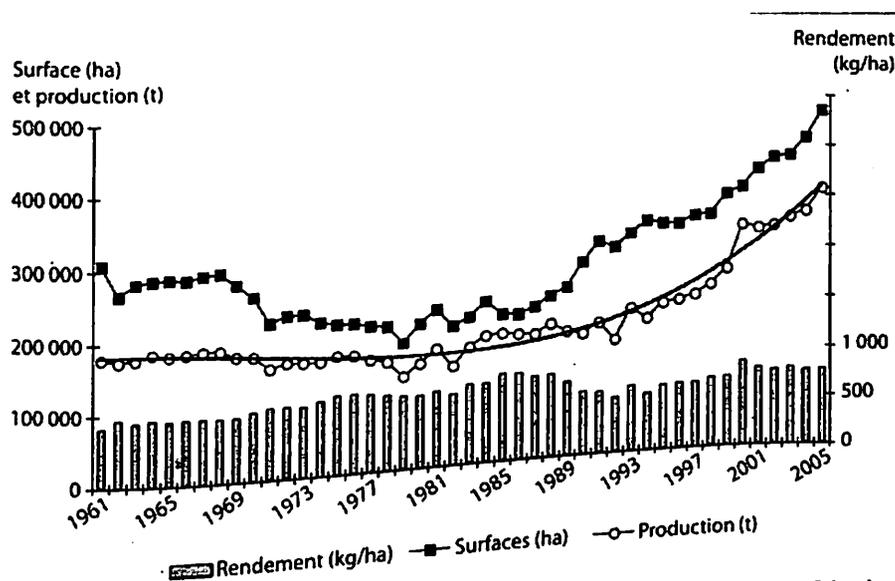


Figure 8 : Evolution des statistiques agricoles du fonio au niveau africain de 1961 à 2005
Source : Cruz *et al.* (2011)

1.8. Zones de de production du fonio au Sénégal

Au Sénégal, le fonio est cultivé dans trois zones agro-écologiques : le Bassin Arachidier, la Casamance et le Sénégal Oriental. Cependant, les deux dernières zones regroupent les principales aires de production qui se trouvent dans les régions de Kédougou, Sédhiou et Tambacounda (Fofana & Fall, 2004 ; Cruz *et al.*, 2011). En effet, la Casamance et le Sénégal Oriental représentent respectivement 23 et 77% de la production nationale (USAID, 2008). La figure 9 montre la variation en dents de scie de cette production selon l'année. Elle tourne en moyenne autour de 2000 tonnes par an (Duteurtre & Dièye, 2010), ce qui représente moins de 1% de la production céréalière (DAPS, 2007 ; BAME, 2008 ; DAPS, 2008 ; DAPS, 2009).

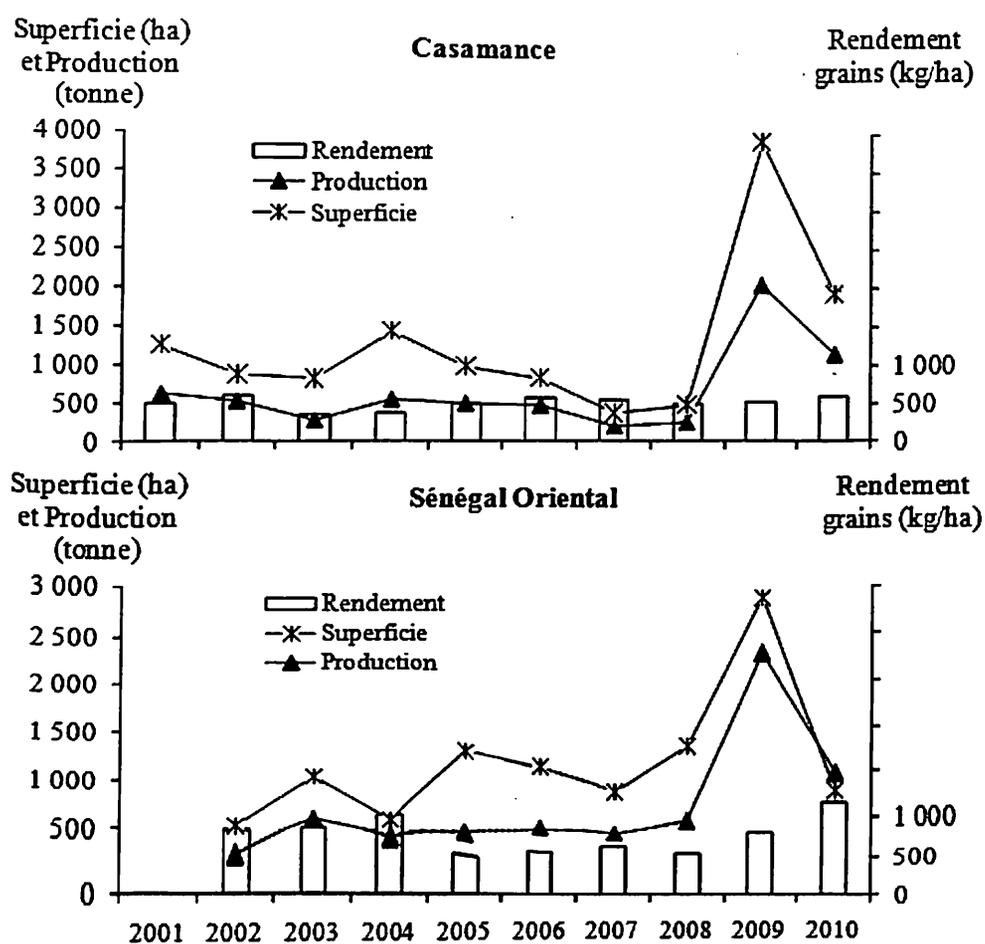


Figure 9 : Evolution des statistiques agricoles du fonio en Casamance et au Sénégal Oriental
 Source : DRDR (Kédougou, Tambacounda, Sédhiou et Kolda)

1.8.1. Zones de production au Sénégal Oriental

Le Sénégal Oriental regroupe les régions administratives de Tambacounda et de Kédougou. Le rendement grain est en moyenne de 604 kg/ha bien que la superficie cultivée et la production de grain paddy suivent une progression croissante (Figure 9).

1.8.2. Zones de production en Casamance

En Casamance, le fonio est essentiellement cultivé dans les régions administratives de Sédhiou et de Kolda. On note une tendance à la baisse aussi bien des superficies que la production de grain (Figure 9). Les rendements en fonio paddy varient autour de 504 kg/ha.

1.8.3. Zones de production dans le Bassin Arachidier

La production n'est très importante que dans la moitié sud du Bassin Arachidier. Cette faible production vient des localités de Sokone dans la région de Kaolack et de la nouvelle région de Kaffrine.

1.9. Importance économique et sociale du fonio

Durant les années 2000, certains producteurs ont commencé à produire du fonio de qualité et à commercialiser des produits semi finis et finis. Ces produits sont soit vendus au Sénégal, soit exportés en Europe et en Amérique, essentiellement auprès de la diaspora africaine. Le Sénégal produit en moyenne moins de 20% du fonio commercialisé à l'intérieur du pays. La République de Guinée fournit environ plus 70% de la demande en fonio du Sénégal (USAID, 2008).

De nombreuses initiatives ont vu le jour avec l'appui de projets étatiques et d'ONG pour appuyer la filière fonio (FRAO, 1994 ; ENDA, 1999, Fall & Fofana, 2003 ; USAID, 2008). Ces initiatives ont permis au fonio d'avoir une percée sur le marché local et de s'ouvrir à l'exportation grâce à l'installation des unités de transformation proposant du fonio décortiqué précuit et prêt à être consommé. Malgré le faible niveau d'organisation, le degré de transformation des grains de fonio a une incidence sur les revenus issus de leur vente sur le marché local. En effet, les marges obtenues sont de 104 FCFA/kg pour le fonio paddy, 204 FCFA/kg pour le fonio décortiqué et 496 FCFA/kg pour le fonio précuit (Niang Seydi, 2010).

1.10. Problématique de la culture et de la recherche d'accompagnement

Au Sénégal, contrairement aux céréales majeures (mil, sorgho, maïs et riz), la culture du fonio est très marginalisée et a fait l'objet de peu de recherche d'accompagnement (Ndiaye, 1991 ; Ndoye & Nwasike, 1991, Fofana, 2003 ; Lo, 2003) malgré les nombreuses interpellations des acteurs et structures d'appui au développement (FRAO, 1994 ; ENDA, 1999). C'est à partir des années 2000, que les études diagnostic et de situation de références ont été mises à jour afin d'inciter les décideurs et leurs partenaires à financer la recherche et le développement du

fonio. Le but est d'en faire une culture stratégique sur le plan de la sécurité alimentaire et de l'amélioration des revenus des populations rurales, particulièrement pour les femmes. Ceci par le biais de la transformation et la mise en marché des produits à base de fonio (USAID, 2008 ; Fall & Lo, 2009). C'est dans ce cadre que les universités, les instituts de recherches, les structures d'appui conseil et les organisations paysannes ont conjugué leurs efforts pour l'élaboration et la mise en œuvre de projets de recherche sur le fonio. Ces projets ont d'abord concerné le machinisme agricole avec la création de la machine à décortiquer le fonio puis les ressources phytogénétiques avec une collection nationale d'accessions de fonio et plus récemment la phytotechnie.

Il a été relevé différentes études sur le fonio à travers l'Afrique avec des résultats relativement variés. En effet, le choix de la variété de fonio est généralement basé sur les qualités culinaires, la durée du cycle cultural, la couleur et le calibre des grains (Adoukonou-Sagbadja *et al.*, 2006 ; Vall *et al.*, 2011). Les doses de semences varient généralement entre 10 et 20 kg/ha selon Vietmeyer *et al.* (1996). Au Nigéria, les producteurs sèment entre 30 et 50 kg par hectare pour limiter la compétition avec les mauvaises herbes (Philip & Itodo, 2006). Kanfany & Gueye (2010) préconisent la dose optimale de 30 kg/ha au Sénégal.

La culture du fonio ne reçoit pas le même degré d'entretien cultural en comparaison aux principales céréales. Cette situation explique en partie les faibles niveaux de rendements obtenus en zones rurales. Vall *et al.* (2011) ont rapporté qu'un désherbage entre 10 et 20 jours après semis permet d'enregistrer un rendement grain moyen de 700 kg/ha tandis qu'il baisse à 500 kg/ha lorsque l'élimination des adventices intervient au moins un mois après le semis.

Ce travail de thèse permettra sans aucun doute une valorisation des recherches agronomiques menées par l'ISRA, en particulier le Centre de recherches zootechniques de Kolda (CRZ) et ses partenaires. Elle traduit le processus d'élaboration et de mise en œuvre des expérimentations sur les techniques de semis, de fumure et de récolte qui constituent des étapes clé de l'itinéraire cultural afin d'améliorer les rendements et la productivité du fonio en milieu rural.

CHAPITRE II : SITES D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

2.1. Sites d'étude

2.1.1. Sites pour l'étude des pratiques et contraintes culturelles en milieu réel

Un dispositif de suivi parcellaire a été installé dans 88 champs de fonio répartis dans 34 villages dont 21 situés en Casamance et 13 au Sénégal Oriental (Tableau 2). Ces villages ont été choisis en tenant compte de l'importance de la production de fonio, de la représentativité dans l'espace et de l'accessibilité des villages en période d'hivernage (Figure 10).

Tableau 2 : Nombre de villages et de parcelles de fonio suivies

Nombre	Sénégal Oriental		Casamance	
	Nord	Sud	Haute	Moyenne
Villages retenus	08	05	11	10
Parcelles suivies	19	14	27	28

2.1.2. Sites pour les essais agronomiques

2.1.2.1. Village de Bandafassi

Bandafassi est un village (12°32' N, 12°18' O et 215 m d'altitude) situé environ à 20 km de la ville de Kédougou (Figure 10 et Figure 11). La région de Kédougou correspond à la partie sud du Sénégal Oriental et est caractérisée par un climat sub-humide ou soudano-guinéen. Les valeurs minimales et maximales de la température de l'air et de l'humidité relative de l'air ainsi que la durée moyenne d'ensoleillement par mois durant la saison des pluies sont indiquées dans le tableau 3. La période pluvieuse commence généralement en fin avril ou début mai et se termine entre fin octobre et début novembre ; avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1 066 mm sur la période 1981-2010 (Tableau 4). En 2010, 2011 et 2012, les quantités de pluies reçues sont respectivement de 1 260 mm (89 jours pluvieux ou JP), 1 029 mm (76 JP) et 1 009 mm (74 JP). Dans le village de Bandafassi, les sols sont à recouvrement sablo argileux avec des débris de cuirasse où le fonio et l'arachide sont cultivées sans jachère et avec un faible apport de matière organique ou d'engrais minéraux (Ndiaye et Boulet, 2000). Le tableau 5 indique les caractéristiques physico-chimiques des sols utilisés dans le village. Les sols sont de texture argilo-sableuse avec une couche de gravillons en surface. Ils sont moyennement acides, avec une assez faible teneur en matière organique et une capacité d'échange cationique moyenne.

2.1.2.2. Station de Séfa

La station de Séfa (12°47'N, 15°32' O et 10 m d'altitude) est dans la région de Sédhiou qui correspond à la sous-zone agro-écologique de la Moyenne Casamance (Figure 10 et Figure 11). Le climat est soudanien dont la température et l'humidité relative de l'air et la durée moyenne d'ensoleillement par jour sont indiquées dans le tableau 3. La saison pluvieuse s'étend généralement de juin à octobre. Sur la période 1981-2010, la pluviosité moyenne annuelle est de 1 034 mm dans la ville de Sédhiou (Tableau 4). Le cumul pluviométrique y est de 1 470 mm en 85 jours de pluies en 2010, 1 054 mm en 62 jours pluvieux en 2011 et 1 162 mm en 75 jours de pluies en 2012. Le tableau 5 montre que les sols de la station sont de texture sableuse, acides et de faible fertilité naturelle (très peu pourvus en matières organiques et très faibles en capacité d'échange cationique).

2.1.2.3. Station de Sinthiou Malème

La station de Sinthiou Malème (13°49' N, 13°55' O et 6 m d'altitude) est située dans la région de Tambacounda, au nord du Sénégal Oriental (Figure 10 et Figure 11). Le climat est de type soudano-sahélien ou semi-aride soudanien. Le tableau 3 indique les températures et les humidités relatives de l'air par mois et la durée d'ensoleillement durant la saison des pluies, entre 2010 et 2012. La saison des pluies commence entre mi-juin et mi-juillet et se termine généralement entre fin septembre et mi-octobre. La pluviosité moyenne annuelle est de 685 mm sur la période 1981-2010 (Tableau 4). Entre mai et octobre, le cumul pluviométrique est de 899 mm en 43 jours de pluies, 702 mm en 40 jours de pluies et 787 mm en 53 jours de pluies en 2010, 2011 et 2012 respectivement. Les sols sont de texture sableuse dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 5. Les sols sont très souvent laissés en jachère entre 2 et 5 ans voire plus.

Tableau 3 : Température, humidité et ensoleillement en Sénégal Oriental et Casamance.

		Bandafassi			Séfa			Sinthiou Malème		
		2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
Température (°C)	Min	23	24	25	23	24	24	23	22	22
	Max	34	35	34	35	33	36	35	37	36
Humidité relative (%)	Min	51	48	48	55	52	54	49	45	48
	Max	92	91	93	93	91	92	86	82	85
Ensoleillement (heure)		6,8	7,8	6,9	6,1	6,6	6,3	7,4	7,5	7,5

Source : ISRA/CNRA Bambey et ANACIM

Kolda est situé à environ de 80 km de Sédhiou ; ensoleillement (entre mai et novembre, hivernage)

Tableau 4 : Pluviométrie saisonnière 2010, 2011 et 2012 et normale 1981-2010.

Mois	Pluviométrie saisonnière (mm)			Normale climatique 1981-2010 (mm)
	2010	2011	2012	
	Bandafassi (région de Kédougou)			
Mai	49,0	15,5	59,5	38,9
Juin	198,0	98,7	65,7	147,2
Juillet	304,0	256,7	273,8	244,9
Août	225,0	316,0	228,3	288,4
Septembre	351,7	300,1	319,0	287,1
Octobre	131,8	41,6	62,9	59,0
Total	1 260 (89)	1 029 (76)	1 009 (74)	1 066
	Séfa (région de Sédhiou)			
Mai	1,8	4,4	41,1	2,2
Juin	118,6	71,7	110,9	118,1
Juillet	417,0	235,7	398,8	262,4
Août	562,6	446,2	327,8	306,0
Septembre	321,8	230,7	266,6	304,1
Octobre	48,1	65,0	19,6	41,3
Total	1 470 (85)	1 054 (62)	1 165 (75)	1 034
	Sinthiou Malème (région de Tambacounda)			
Mai	0,0	3,0	31,8	2,9
Juin	138,5	113,5	79,50	88,8
Juillet	306,5	101,0	93,0	181,1
Août	278,5	336,0	257,0	171,5
Septembre	167,5	145,5	272,1	206,4
Octobre	8,5	3,0	54,0	34,5
Total	899 (43)	702 (40)	787 (54)	685

Les normales climatiques sont celle de Kédougou (20 km de Bandafassi), celle de Sédhiou (17 km de Séfa) et celle de Tambacounda (25 km de Sinthiou Malème).

Source : ISRA/CNRA Bambey, DRDR (Kolda, Tambacounda et Kédougou), ANACIM

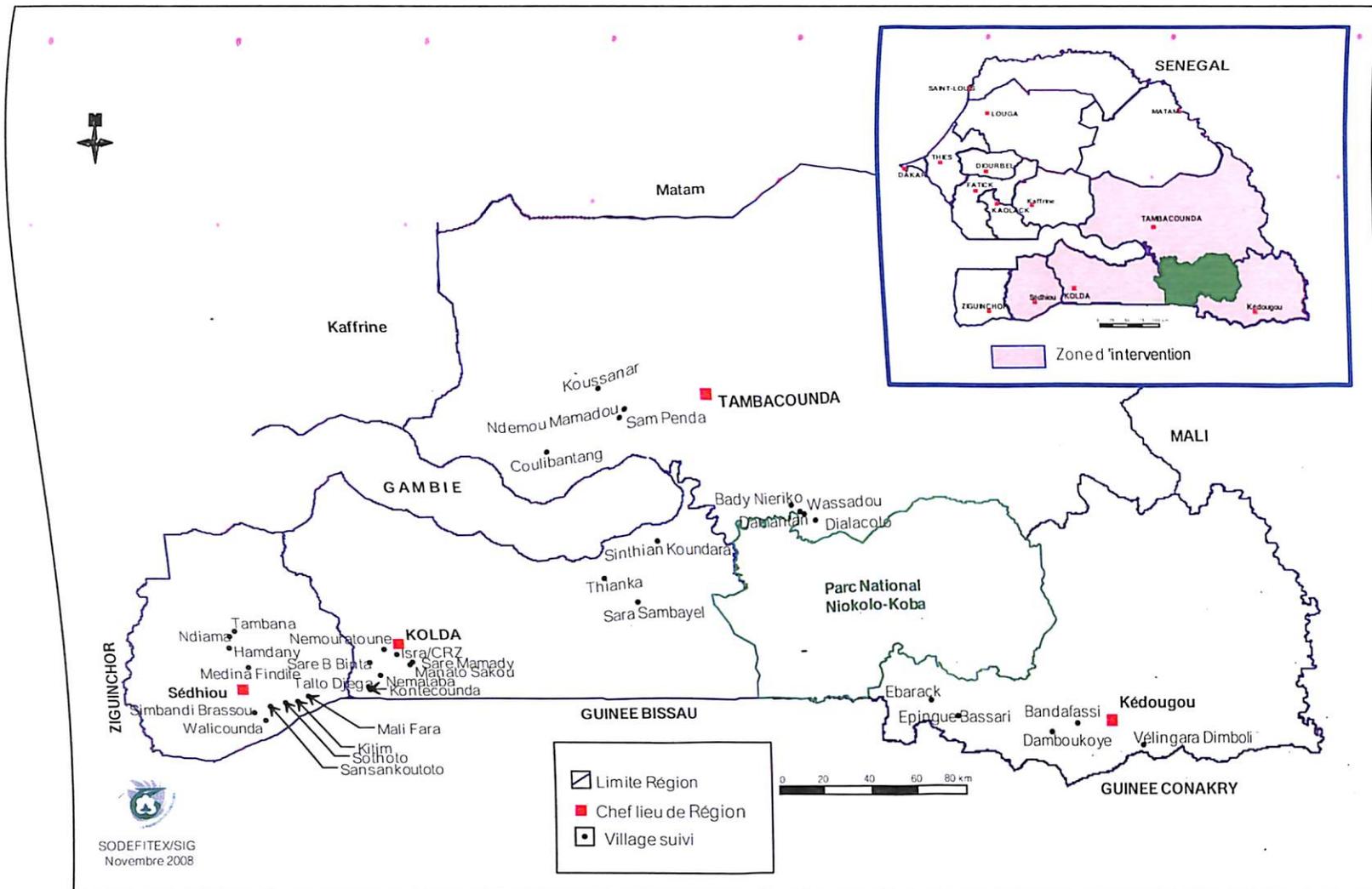


Figure 10 : Localisation des villages suivis dans les zones de production de fonio
 Source : SODEFITEX/BAMTAARE

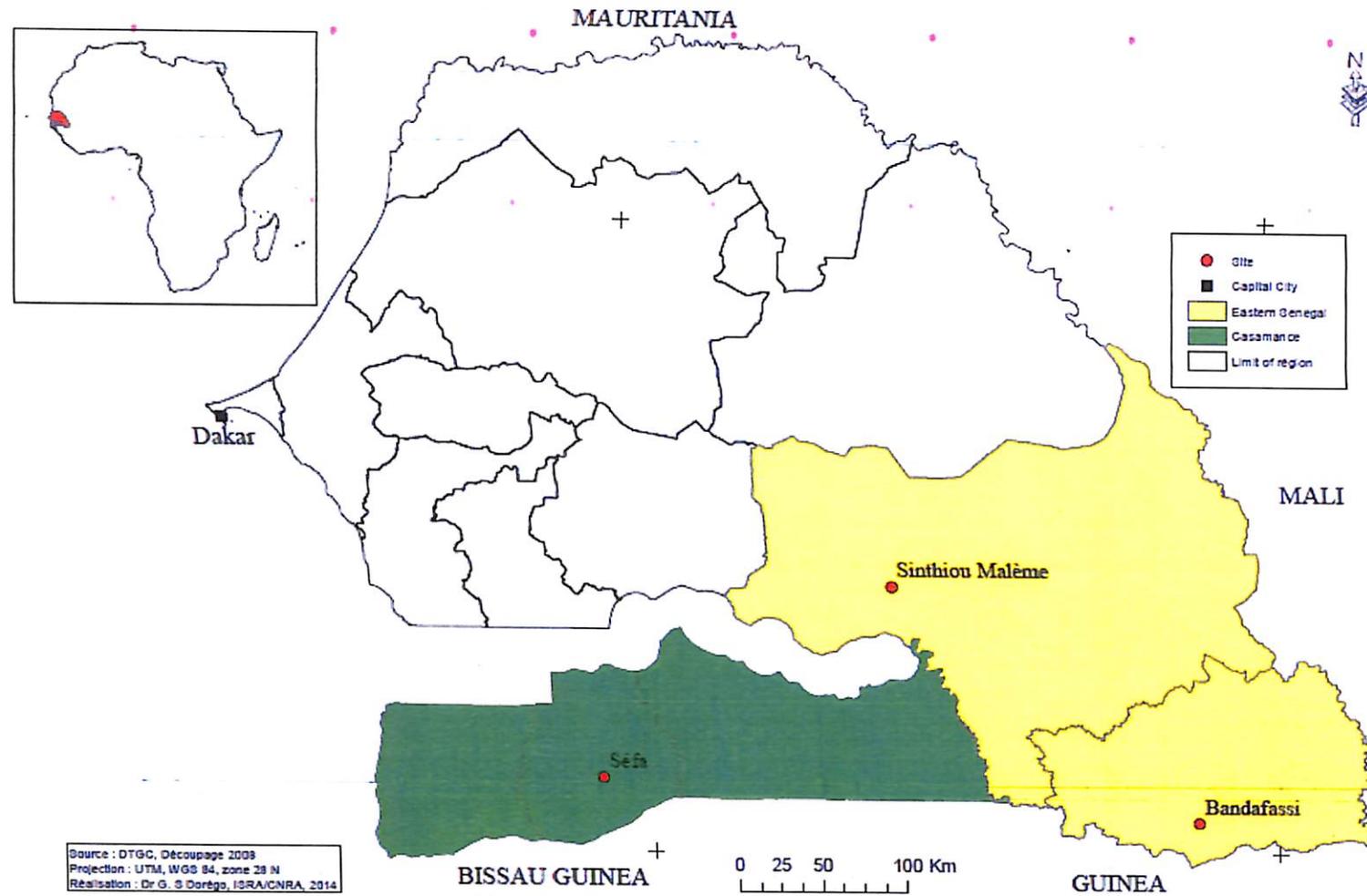


Figure 11 : Localisation des sites expérimentaux
Source : ISRA/CNRA Bambey

Tableau 5 : Caractérisation des sols de la couche 0-20 cm dans les sites expérimentaux de 2010 à 2012.

Année*	Argiles (%)	Limons (%)	Sables (%)	pH		MO (%)	C/N	N (‰)	P assim (mg/kg)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CEC
				H ₂ O	KCl								
Bandafassi (région de Kédougou, Sud Sénégal Oriental)													
2010	8,7	8,3	83,0	5,7	5,0	1,8	23,4	0,5	22,4	1,8	0,5	0,1	9,7
2011	5,6	9,9	84,6	5,7	5,1	3,2	22,5	0,8	51,0	2,6	1,1	0,1	11,2
2012	18,4	7,7	73,9	5,6	4,8	0,8	15,3	0,3	31,2	8,1	4,2	4,8	11,8
Séfa (région de Sédhiou, Casamance)													
2010	7,8	4,8	87,4	5,0	4,3	0,7	19,9	0,3	19,8	0,4	0,3	0,0	5,0
2011	4,5	4,3	91,2	4,8	4,4	1,0	21,2	0,3	25,9	0,4	0,2	0,0	3,4
2012	3,3	3,4	93,3	4,5	3,8	0,4	21,0	0,1	20,5	1,0	2,9	3,6	3,1
Sinthiou Malème (région de Tambacounda, Nord Sénégal Oriental)													
2010	1,1	4,0	94,9	5,9	5,0	0,6	12,5	0,4	33,0	0,4	0,1	0,0	5,5
2011	3,1	3,0	93,9	5,8	4,9	0,5	25,1	0,1	24,2	0,5	0,2	0,0	6,7
2012	5,5	4,5	90,0	5,0	4,2	0,3	16,0	0,1	15,0	1,7	3,2	5,1	2,1

* Dans le même site, la localisation des parcelles expérimentales n'est pas la même d'une année à une autre (donc les variations inter-annuelles ne signifient pas une évolution des paramètres)
 pH (potentiel d'hydrogène), H₂O (eau), KCl (chlorure de potassium), MO (matière organique), N (azote total), C/N (rapport carbone organique sur azote total),
 P assim (phosphore assimilable), CEC (capacité d'échange cationique), Ca²⁺ (ion calcium), Mg²⁺ (ion magnésium), K⁺ (ion potassium).

2.2. Matériel et Méthodes

2.2.1. Matériel végétal

Le cultivar local de fonio « Momo » a été utilisé pour toutes les expérimentations. Il appartient au type précoce et son cycle cultural serait de 75-90 jours (ou moins de trois mois). Les taux de germinations ont varié entre 85 et 90%.

2.2.2. Facteurs et dispositifs d'étude

2.2.2.1. Etude des pratiques et des contraintes culturelles en milieu réel

Le dispositif de suivi utilisé dans chaque parcelle paysanne est indiqué sur la figure 12. Trois (03) carrés d'observations de 2 mètres de côté ont été délimités au hasard ou de manière représentative dans chaque parcelle étudiée. Chaque parcelle suivie a été identifiée par un numéro placé à l'entrée tandis que les carrés d'observation ont été numérotés de 1 à 3.

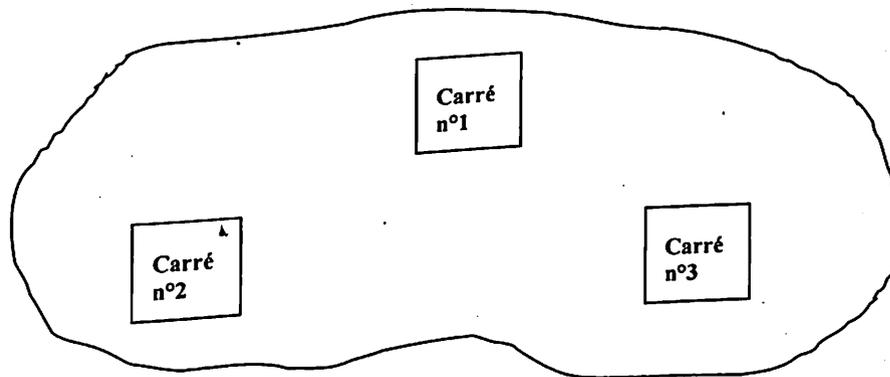


Figure 12 : Représentation simplifiée du dispositif de suivi dans une parcelle paysanne de fonio

2.2.2.2. Essais agronomiques en milieu semi contrôlé

2.2.2.2.1. Etude des techniques de semis sur la croissance et la production

- Test de date de semis

Le facteur étudié était la période de semis avec 7 dates espacées de 7 jours d'intervalle entre deux dates consécutives (Tableau 6). En 2010, le premier semis a commencé le 1^{er} juillet alors qu'en 2011, le semis a démarré le 8 juillet. Ce décalage de dates de semis est expliqué par une installation tardive et un arrêt précoce des pluies en 2011 contrairement en 2010 (Tableau 4). Le dispositif expérimental utilisé était en blocs aléatoires complets avec cinq répétitions.

L'unité expérimentale était représentée par une parcelle élémentaire de 2 m x 2 m. Des allées d'un mètre de largeur séparaient les blocs entre eux et les parcelles élémentaires dans un bloc.

Tableau 6 : Modalités de dates de semis testées.

Modalité	2010	2011
Date 1	01-juillet	08-juillet
Date 2	08-juillet	15-juillet
Date 3	15-juillet	22-juillet
Date 4	22-juillet	29-juillet
Date 5	29-juillet	05-août
Date 6	05-août	12-août
Date 7	12-août	19-août

- Test de dose de semis

Le facteur étudié était la quantité de semences par ha. Le tableau 7 présente les modalités de doses de semences testées en 2010 et 2011. Ce nombre a été de 8 doses en 2010 et 6 doses en 2011. Un dispositif en blocs aléatoires complets répétés 5 et 6 fois a été utilisé respectivement en 2010 et 2011. L'unité expérimentale était représentée par une parcelle de 2 m x 2 m.

Tableau 7 : Modalités de doses de semences (kg/ha) testées.

Modalité	2010	2011
Dose 1	15	15
Dose 2	30	30
Dose 3	45	45
Dose 4	60	60
Dose 5	75	75
Dose 6	90	90
Dose 7	105	nt
Dose 8	120	nt

nt = modalité de semis non testée

- Test de mode de semis

En 2010, les facteurs étudiés étaient le mode de semis et le nombre de sarclages (Tableau 8) placés dans un dispositif en parcelles divisées ou split plot design, avec quatre répétitions. Les modalités du mode de semis étaient placées dans les grandes parcelles tandis que les modalités de nombre de sarclages étaient dans les petites parcelles. L'unité expérimentale était une parcelle élémentaire de 2 m x 2 m.

En 2011 et 2012, il y avait un seul facteur étudié, à savoir le mode de semis avec respectivement 5 et 7 modalités (Tableau 8). Le dispositif expérimental utilisé était en blocs aléatoires complets avec 5 répétitions. L'unité expérimentale était représentée par une parcelle élémentaire de 2 m x 2 m.

Tableau 8 : Modalités de modes de semis et de nombre de sarclage testées.

Facteur étudié	Modalité	Année		
		2010	2011	2012
Mode de semis	Semis à la volée	30 kg/ha	30 kg/ha	30 kg/ha
		distantes de 25 cm	distantes de 25 cm	distantes de 25 cm
	nt	distantes de 20 cm	distantes de 20 cm	
	Semis en lignes continues	nt	nt	distantes de 15 cm
		nt	nt	distantes de 10 cm
	Semis en poquet (entre lignes x entre poquets)	25 cm x 20 cm	25 cm x 20 cm	25 cm x 20 cm
nt		25 cm x 10 cm	25 cm x 10 cm	
Nombre de sarclages	Néant (pas de sarclage)	oui	nt	nt
	1 passage à 15 JAS	oui	nt	nt
	2 passages à 15 et 30 JAS	oui	nt	nt
	3 passages à 15, 30 et 45 JAS	oui	nt	nt

nt = modalité non testée

2.2.2.2.2. Etude des effets d'amendement et de fertilisation sur la croissance et la production

- Test de fertilisation organo-minérale

Deux facteurs ont été étudiés dans un dispositif en split plot avec 4 répétitions. Il s'agit du facteur « Amendement » et du facteur « Fertilisation minérale » dont leurs modalités ou niveaux sont indiqués dans le tableau 9.

Tableau 9 : Signification des traitements d'amendement et de fertilisation.

Facteur étudié	Traitement		Signification
	2010	2011	
Amendement	0 tonne/ha PEB	0 tonne/ha PEB	Poudrette d'étable de bovin (PEB)
	2 tonnes/ha PEB	2 tonnes/ha PEB	
	nt	2 tonnes/ha PEB + 200 PN	Phosphate naturel (PN)
Fertilisation minérale	0 kg/ha NPK	0 kg/ha NPK	NPK = engrais ternaire (15% N, 15% P ₂ O ₅ et 15% K ₂ O)
	25 kg/ha NPK	nt	
	50 kg/ha NPK	50 kg/ha NPK	
	75 kg/ha NPK	75 kg/ha NPK	
	100 kg/ha NPK	100 kg/ha NPK	
	125 kg/ha NPK	nt	
	150 kg/ha NPK	nt	
	175 kg/ha NPK	nt	
	200 kg/ha NPK	nt	

nt = modalité non testée, PEB (poudrette d'étable de bovin), PN (phosphate tri calcique)

- Etude des réponses à la fertilisation azotée, phosphorique et potassique

Trois facteurs ont été étudiés : azote, phosphore et potassium. Les niveaux de chaque facteur pour les différents fertilisants utilisés sont indiqués dans le tableau 10. Compte tenu de leurs faibles réponses sur les paramètres étudiés en 2011, les doses de phosphore et de potassium ont été doublées en 2012. Ces trois facteurs ont été arrangés dans un dispositif en blocs aléatoires complets avec 5 répétitions. La parcelle expérimentale était de 2 m x 2m.

Tableau 10 : Sources et doses de fertilisants minéraux testés.

Facteur étudié	Dose testée (kg/ha)		Source et composition des fertilisants minéraux utilisés
	2011	2012	
Azote (N)	0	0	Urée = 46% N
	23	23	
	46	46	
Phosphore (P ₂ O ₅)	0	0	DSP = 30% P ₂ O ₅ (Double Super Phosphate)
	9	18	
Potassium (K ₂ O)	0	0	SP = 50% K ₂ O (Sulfate de Potassium)
	15	30	

2.2.2.2.3. Etude de la période de récolte sur les rendements biomasse et grain

Le facteur étudié était la date de récolte avec cinq modalités : 83, 90, 97, 104 et 111 jours après semis (JAS) en 2010 et neuf modalités : 76, 83, 90, 97, 104, 111, 118, 125 et 132 JAS en 2011 (Tableau 11). Le dispositif expérimental était en blocs aléatoires complets avec 5 répétitions. L'unité expérimentale était une parcelle élémentaire de 2 m x 2 m.

Tableau 11 : Modalités de dates de récolte testées.

Modalité	Nombre de jours après semis (JAS)	
	2010	2011
Date 1	nt	76
Date 2	83	83
Date 3	90	90
Date 4	97	97
Date 5	104	104
Date 6	111	111
Date 7	nt	118
Date 8	nt	125
Date 9	nt	132

nt = modalité non testée

2.2.3. Conditions d'études

2.2.3.1. Etude des pratiques et des contraintes culturales en milieu réel

Les parcelles paysannes sont suivies durant la saison des pluies en 2009 de juillet à décembre. Chaque parcelle est suivie en deux étapes : la première durant la phase végétative entre août et septembre et la deuxième durant la phase récolte/post récolte entre novembre et décembre. Pour chaque mission de suivi, l'équipe de recherche est composée d'un chercheur agronome, deux stagiaires et d'un technicien d'agriculture.

2.2.3.2. Essais agronomiques en milieu semi contrôlé

2.2.3.2.1. Etude des techniques de semis sur la croissance et la production

- Test de date de semis

L'essai a été mené durant la saison des pluies de 2010 à Bandafassi et de 2011 à Sinthiou Malème. Les informations sur la parcelle d'essai, la conduite culturale et la pluviométrie entre mai et octobre sont résumées dans le tableau 12. L'engrais NPK (15-15-15) a été épandu avant le semis tandis que l'entretien et la protection des parcelles ont été faits selon les besoins durant le cycle cultural.

Tableau 12 : Conduite des essais de date de semis sur le fonio

	2010 (Bandafassi)	2011 (Sinthiou Malème)
Travail du sol	Grattage manuel (Daba)	Labour (traction animale)
Précédent cultural	Arachide	Jachère longue durée
Engrais NPK (15-15-15)	100 kg/ha	100 kg/ha
Méthode et dose de semis	Volée à 30 kg/ha	Volée à 30 kg/ha
Désherbage (30 et 50 JAS)	2 passages manuels	2 passages manuels
Protection phytosanitaire	Néant	Avec insecticide (deltaméthrine)
Pluies (mm et jours)	1 260 mm (89 JP)	702 mm (40 JP)

Pluies (cumul entre mai et octobre) ; JP (jour de pluies) ; JAS (jour après semis) ; Daba = instrument local de sarclage

- Test de dose de semis

L'expérimentation a été menée durant la saison des pluies de 2010 et de 2011 à Bandafassi, Séfa et Sinthiou Malème. Le sol est type de sablo-argileux avec couche de gravillons en surface à Bandafassi, sableux lessivé à Sinthiou Malème et très sableux et lessivé à Séfa. L'engrais NPK (15-15-15) a été appliqué avant le semis à la dose de 100 kg/ha. Un semis à la volée en humide a été réalisé. Le tableau 13 renseigne sur les informations relatives au type de sol, au précédent cultural, à la conduite culturale et à la pluviométrie dans chaque site et par année. La gestion des adventices a été assurée par un sarclage à 30 jours après semis puis un second à 50 jours après semis. Des pulvérisations d'insecticide (DECIS) ont été effectuées au besoin durant le cycle cultural dans chaque site.

Tableau 13 : Conduite des essais de doses de semis sur le fonio

Année	Etape	Bandafassi	Séfa	Sinthiou Malème
2010	Travail du sol	Grattage manuel (Daba)	Labour (tracteur)	Labour (traction animale)
	Précédent cultural	Arachide	Arachide	Jachère longue durée
	Date de semis	12 juillet	19 juillet	16 juillet
	Pluies (mm et jours)	1 260 mm (89 JP)	1 470 mm (85 JP)	899 mm (43 JP)
2011	Travail du sol	Grattage manuel (Daba)	Labour (tracteur)	Labour (traction animale)
	Précédent cultural	Jachère courte	Arachide	Jachère longue durée
	Date de semis	31 juillet	18 juillet	14 juillet
	Pluies (mm et jours)	1 029 mm (76 JP)	1 054 mm (62 JP)	702 mm (40 JP)

Pluies (cumul entre mai et octobre) ; JP (jour de pluies) ; Daba = instrument local de sarclage

- Test de mode de semis

L'essai a été mené durant les hivernages 2010, 2011 et 2012 à Séfa et à Sinthiou Malème. Les caractéristiques des parcelles, la conduite agronomique et la pluviométrie sont presque similaires dans les deux sites (Tableau 14). Une dose de 100 kg par ha d'engrais 15-15-15 (NPK) a été apportée avant le semis. La protection des cultures a été assurée à l'aide de pulvérisation d'insecticide (DECIS) selon les besoins durant le cycle cultural.

Tableau 14 : Conduite des essais de mode de semis.

Année	Etape	Séfa	Sinthiou Malème
2010	Travail du sol	Labour (tracteur)	Labour (traction animale)
	Précédent cultural	Arachide	Jachère longue durée
	Date de semis	19 juillet	17 juillet
	Pluies (mm et jours)	1 470 mm (85 JP)	899 mm (43 JP)
2011	Travail du sol	Labour (tracteur)	Labour (tracteur)
	Précédent cultural	Arachide	Jachère courte durée
	Date de semis	19 juillet	15 juillet
	Pluies (mm et jours)	1 054 mm (62 JP)	702 mm (40 JP)
2012	Travail du sol	Labour (tracteur)	Labour (traction animale)
	Précédent cultural	Arachide	Jachère courte durée
	Date de semis	28 juillet	23 juillet
	Pluies (mm et jours)	1 165 mm (75 JP)	787 mm (54 JP)

Pluies (cumul entre mai et octobre) ; JP (jour de pluies) ; Daba = instrument local de sarclage

2.2.3.2.2. Etude des effets de l'amendement et la fertilisation sur la croissance et la production

- Test de fertilisation organo minérale

L'expérimentation a été menée à Bandafassi et Sinthiou Malème en 2010 et à Bandafassi, Séfa et Sinthiou Malème en 2011. Le sol était de type ferrugineux tropical avec couche de gravillons en superficie à Bandafassi, sableux à sableux argileux peu lessivé à Sinthiou Malème et très lessivé à Séfa. La poudrette d'étable de bovin et les engrais NPK ont été apportés avant le semis dans tous les sites. Le tableau 16 présente les caractéristiques de cette poudrette. Les étapes de la conduite culturale sont résumées dans le tableau 15. Un semis à la volée à 30 kg de semences par ha a été pratiqué dans tous les sites.

Tableau 15 : Conduite des essais de fertilisation organo minérale

Année	Etape	Bandafassi	Séfa	Sinthiou Malème
2010	Travail du sol	Grattage manuel (Daba)	-	Labour (traction animale)
	Précédent cultural	Arachide	-	Jachère longue durée
	Date de semis	07 juillet	-	16 juillet
	Pluies (mm et jours)	1 260 mm (89 JP)	-	899 mm (43 JP)
2011	Travail du sol	Grattage manuel (Daba)	Labour (tracteur)	Labour (tracteur)
	Précédent cultural	Jachère courte	Arachide	Jachère longue durée
	Date de semis	28 juillet	18 juillet	15 juillet
	Pluies (mm et jours)	1 029 mm (76 JP)	1 054 mm (62 JP)	702 mm (40 JP)

Pluies (cumul entre mai et octobre) ; JP (jour de pluies) ; Daba = instrument local de sarclage

Tableau 16 : Caractéristiques de la poudrette d'étable utilisée comme source de matière organique

	MS (%)	MO	Azote	Carbone	Phosphore	Potassium	Calcium	pH
			% ¹			% ¹		
Moyenne (n = 3)	93,5	42,4	1,3	18,6	0,2	0,3	0,5	9,0
Ecart-type (n = 3)	3,0	20,5	0,5	3,6	0,1	0,1	0,2	0,4

¹ Valeur en % de matière sèche (MS) ; MO (matière organique), pH (potentiel d'hydrogène)

- Etude des réponses aux fertilisants minéraux

L'essai a été mené à Bandafassi, Séfa et Sinthiou Malème durant la saison des pluies de 2011 et de 2012. Le sol était de type sablo-argileux avec couche de gravillons en surface, sableux lessivé à Sinthiou Malème et très sableux et lessivé à Séfa. Le précédent cultural et la conduite culturale sont indiqués dans le tableau 17. Un semis à la volée à la dose de semences de 30 kg de semences par ha a été effectué dans tous les sites.

Tableau 17 : Conduite des essais de réponses aux fertilisants minéraux

Année	Etape	Bandafassi	Séfa	Sinthiou Malème
2011	Travail du sol	Grattage manuel (Daba)	Labour (tracteur)	Labour (tracteur)
	Précédent cultural	Jachère courte durée	Arachide	Jachère courte durée
	Date de semis	31 juillet	19 juillet	18 juillet
	Pluies (mm et jours)	1 029 mm (76 JP)	1 054 mm (62 JP)	702 mm (40 JP)
2012	Travail du sol	Grattage manuel (Daba)	Labour (tracteur)	Labour (tracteur)
	Précédent cultural	Jachère ± longue	Arachide	Jachère courte durée
	Date de semis	20-24 juillet	27 juillet	22 juillet
	Pluies (mm et jours)	1 009 mm (74 JP)	1 165 mm (75 JP)	787 mm (54 JP)

Pluies (cumul entre mai et octobre) ; JP (jour de pluies) ; Daba = instrument local de sarclage

2.2.3.2.3. Etude de la période de récolte sur les rendements biomasse et grain

Le test a été conduit durant l'hivernage 2010 à Bandafassi et 2011 à Sinthiou Malème. Une fumure de fond a été effectuée avant le semis avec 100 kg d'engrais NPK (15-15-15) par ha dans chaque site. Les étapes de la conduite culturale sont indiquées dans le tableau 18.

Tableau 18 : Conduite des essais de date de récolte dans les sites

	2010 (Bandafassi)	2011 (Sinthiou Malème)
Travail du sol	Houage manuel (Daba)	Labour (traction animale)
Précédent cultural	Arachide	Jachère courte durée
Méthode et dose de semis	Volée à 30 kg/ha	Volée à 30 kg/ha
Date de semis	12 juillet	14 juillet
Désherbage (30 et 50 JAS)	2 passages manuels	2 passages manuels
Protection phytosanitaire	Néant	Avec insecticide (deltaméthrine)
Pluies (mm et jours)	1 260 mm (89 JP)	702 mm (40 JP)

Pluies (cumul entre mai et octobre) ; JP (jour de pluies) ; Daba = instrument local de sarclage ; JAS = jour après semis

2.2.4. Observations et mesures

2.2.4.1. Etude des pratiques et des contraintes culturales en milieu réel

Les variables suivies ont porté sur la superficie de la parcelle, le type de précédent cultural, les pratiques culturales (semis, sarclage et fumure), les nuisibles rencontrés et le rendement fonio paddy ainsi que la destination de la production en termes de part auto-consommée, de part réservée aux semences et de part destinée aux autres prélèvements de grains) (Faye, 1998 ; Diouf, 1990).

Les espèces d'adventices ont été identifiées grâce à l'utilisation de guides sur les adventices tropicaux (Berhaut, 1967 ; Merlier & Montegut, 1982). La nomenclature employée est celle de Lebrun & Stork (1991-1997). Pour les types biologiques, nous avons utilisé la classification de Raunkier (1934) adaptée à la zone tropicale où la saison défavorable correspond à la saison sèche (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).

Pour les affinités bio-géographique, les informations proviennent essentiellement de la flore de Hutchinson & Dalziel (1972). Ainsi, les codes utilisés sont : « Af » pour les espèces africaines, « Am » pour les espèces afro-américaines, « Am As » pour les espèces afro-américaines.

américaines et asiatiques, « As » pour les espèces afro-asiatiques, « Mas » pour les espèces afro-malgaches et asiatiques et « Pt » pour les espèces pantropicales.

Pour les insectes et les maladies dans la parcelle, nous avons fait recours aux fréquences d'occurrences sur la base de leur absence et ou de leur présence dans chaque parcelle suivie.

Les nombres de talles et de panicules par plante ont été obtenus par comptage à raison de 5 plants au hasard au niveau de chaque carré d'observation.

Pour estimer le rendement dans chaque parcelle, les plantes des trois carrés ont été récoltées, pesées avec une balance de type peson de 10 kg de portée et de 50 g de précision. Après séchage, les gerbes ont été battues puis vannées pour séparer les grains paddy. Le poids des grains paddy rapporté à la surface du carré a permis de calculer le rendement grain paddy de chaque carré. Le rendement grain paddy de la parcelle a été ainsi déterminé avec la moyenne des 3 carrés.

2.2.4.2. Essais agronomiques en milieu semi-contrôlé

Des échantillons de sol ont été prélevés avant la mise en place des expérimentations au niveau de chaque site. Les analyses physico-chimiques ont porté sur les 5 fractions granulométriques (argiles, limons fins, limons grossiers, sables fins et sables grossiers), le potentiel d'hydrogène (eau et KCl), les teneurs en carbone organique (C) et en azote total (N), le rapport C/N, la matière organique, le phosphore assimilable, les bases échangeables (ions Ca, K, Mg et Na) et la capacité d'échange cationique (Westerman, 1990).

Les paramètres agro-morphologiques étaient la densité de population, la hauteur des plantes, le nombre de talles par plante, le nombre de panicules par plante, la biomasse aérienne sèche, le rendement en grain paddy, le poids de mille grains paddy ou le poids moyen d'une panicule.

La densité de plante a été déterminée à partir du nombre de plantes dans trois quadrans de 50 cm x 50 cm aléatoirement placés dans chaque parcelle élémentaire.

La taille des plantes, le nombre de talles par plante et le nombre de panicules par plantes ont été obtenus à partir de la moyenne de 10 plantes choisies au hasard dans chaque parcelle élémentaire.

La biomasse aérienne sèche a été calculée à partir du poids sec de la paille récoltée dans chaque parcelle élémentaire. Le séchage a été fait à l'air libre pendant 30 jours.

Le rendement grain paddy a été obtenu à partir du poids de grains séchés à l'air libre pendant 30 jours, après battage des gerbes sèches et vannage des grains paddy.

Le poids de 1 000 grains paddy a été obtenu sur la base de trois lots de 1 000 grains paddy alors que le poids moyen d'une panicule a été obtenu avec la moyenne de 10 panicules sèches aléatoirement prélevées à la récolte dans chaque parcelle élémentaire.

2.2.5. Gestion et analyses statistiques des données

2.2.5.1. Etude des pratiques et des contraintes culturelles en milieu réel

Les données issues des parcelles paysannes ont été saisies à l'aide du tableur EXCEL. Les analyses ont été effectuées avec le logiciel statistique SPSS et ont porté sur les statistiques descriptives (moyenne, écart type, fréquence, etc.).

2.2.5.2. Essais agronomiques en milieu semi contrôlé

L'analyse de la variance et les tests de comparaison des moyennes au seuil de 5% ont été effectués avec le logiciel Genstat Discovery Edition 4 (Buysse *et al.*, 2007).

L'analyse de variance (ANOVA) permet de mettre en évidence les effets significatifs ou non par le ou les facteurs étudiés ou leurs interactions (Dagnelie, 2012). Pour les essais sur l'amendement et la fertilisation, compte tenu des variations de la densité de plantes entre les unités expérimentales, les rendements biomasse et grain paddy ont été soumis à l'analyse de covariance (ANCOVA) avec comme covariable le nombre de plantes par mètre carré (Gomez & Gomez, 1984 ; Dean & Voss, 1999 ; Dagnelie, 2012).

Les tests de Duncan, de SNK et de Fisher ont été effectués pour la séparation des moyennes des traitements dans les cas où des effets significatifs ont été décelés au seuil de probabilité de 5% (Gomez & Gomez, 1984 ; Dean & Voss, 1999).

CHAPITRE III : RESULTATS

3.1. Etude des pratiques et des contraintes culturelles en milieu réel

3.1.1. Caractéristiques des champs de fonio

Les parcelles de fonio dépassent très rarement 1 ha. La moitié des parcelles suivies ont une surface de moins de 0,25 ha ; 80% des champs de fonio ont une superficie inférieure à 0,5 ha (Tableau 19).

Tableau 19 : Répartition (%) des parcelles de fonio suivies suivant la superficie

Sous zone agro-écologique	Pourcentage de parcelles de fonio en fonction de la superficie (S)			
	S ≤ 0,25ha	0,25 < S ≤ 0,5ha	0,5 < S ≤ 1ha	S > 1ha
Haute Casamance	55,6%	25,9%	14,8%	3,7%
Moyenne Casamance	46,4%	28,6%	21,4%	3,6%
Nord Sénégal Oriental	63,2%	31,5%	5,3%	0,0%
Sud Sénégal Oriental	28,6%	35,7%	28,6%	7,1%
Moyenne	50,0%	29,5%	17,0%	3,4%

Le fonio est cultivé sur différents types de sol (Tableau 20). La plupart des sols dans les parcelles de fonio ont une texture légère (sableuse ou sablo argileux) en Casamance et au Nord du Sénégal Oriental et sablo-argileuse gravillonnaire au Sud du Sénégal Oriental. La culture du fonio sur des sols lourds est très rare dans toute la zone d'étude. Le mode d'acquisition des terres allouées à la culture du fonio est variable d'une sous-zone à une autre (Tableau 21). Les parcelles de fonio acquises par héritage ou don sont très fréquentes en Moyenne Casamance et au Nord du Sénégal Oriental. La culture du fonio sur de nouvelles défriches est une pratique très généralisée dans la zone d'étude, en particulier dans le Sud du Sénégal Oriental (70%).

Tableau 20 : Répartition (%) des champs de fonio selon le type ou la nature du sol

Sous zone agro-écologique	Texture ou type de sol dans la parcelle suivie				
	Sableuse	Sablo argileuse	Argileuse	Gravillonnaire (caillouteuse) ¹	Hydromorphe (bas fonds)
Haute Casamance	25,9%	59,3%	7,4%	0,0%	7,4%
Moyenne Casamance	57,1%	39,3%	0,0%	0,0%	3,6%
Nord Sénégal Oriental	36,8%	47,4%	0,0%	15,8%	0,0%
Sud Sénégal Oriental	0,0%	0,0%	7,1%	92,9%	0,0%

¹ texture sablo argileuse avec une couche de gravillons en surface

Tableau 21 : Répartition (%) des producteurs de fonio en fonction du mode d'accès à la terre

Mode d'accès à la terre	Sénégal Oriental		Casamance	
	Nord	Sud	Haute	Moyenne
Héritage/don	47,4%	30,0%	34,6%	46,3%
Nouvelle défriche	44,7%	70,0%	19,0%	23,0%
Emprunt	7,9%	0,0%	46,4%	30,7%

La superficie cultivée en fonio par producteur et sa part relative dans l'assolement sont indiquées dans le tableau 22. Le fonio représente 22 à 26% des surfaces totales cultivées par producteur en Moyenne Casamance et dans le Sud du Sénégal Oriental. Au contraire, les producteurs ne consacrent le fonio que sur près d'un dixième des superficies totales cultivées dans les autres localités de la zone d'étude.

Tableau 22 : Superficie cultivée en fonio (ha) par producteur en Casamance et au Sénégal Oriental

		Sénégal Oriental		Casamance	
		Nord	Sud	Haute	Moyenne
Superficie totale cultivée	ha	3,34	1,68	4,16	6,55
Superficie cultivée en fonio	ha	0,39	0,44	0,53	1,45
	%	11,7	26,2	12,7	22,1

Tableau 23 : Répartition (%) des producteurs de fonio selon l'assolement et la rotation culturale

		Sénégal Oriental		Casamance	
		Nord	Sud	Haute	Moyenne
Assolement	Céréales ¹	68%	25%	57%	67%
	Arachide	18%	19%	18%	20%
	Cotonnier	9%	15%	18%	0%
	Fonio	5%	14%	7%	13%
Rotation culturale	Monoculture	5,2%	33,3%	12,5%	6,2%
	Biennale	81,6%	63,3%	80,4%	83,8%
	Triennale	13,2%	3,4%	7,1%	10,0%

¹Céréales (mil, sorgho, maïs ou riz)

La composition de l'assolement ainsi que les types de rotation des cultures dans les zones de production de fonio sont indiqués dans le tableau 23. Ainsi, la répartition des cultures dans l'espace montre une forte dominance des céréales majeures (mil, sorgho, maïs et riz) suivies des cultures de rentes (arachide et/ou cotonnier). La sole fonio est plus importante dans le Sud du Sénégal Oriental (14%) et en Moyenne Casamance (13%) que dans les deux autres sous zones de productions (5-7%).

On constate que la rotation culturale est pratiquée dans les parcelles de fonio par la majorité (88,2%) des producteurs. La rotation biennale est la plus fréquente (79,4%) alors que celle (88,2%) des producteurs. La rotation biennale est la plus fréquente (79,4%) alors que celle (88,2%) des producteurs. La rotation biennale est la plus fréquente (79,4%) alors que celle (88,2%) des producteurs. La culture continue ou la triennale est par contre une pratique très rare dans la zone d'étude. La culture continue ou la monoculture du fonio est généralement peu adoptée sur les terres allouées au fonio à l'exception du Sud du Sénégal Oriental où elle est pratiquée par le tiers des producteurs suivis.

3.1.2. Précédent cultural et travail du sol

L'arachide est le principal précédent cultural du fonio dans toute la zone d'étude (Tableau 24). Le coton n'est utilisé comme précédent du fonio que seulement dans le Sud du Sénégal Oriental. La jachère et la nouvelle défriche sont plus importantes au Sénégal Oriental qu'en Casamance. La monoculture est faiblement pratiquée et est plus observée dans le Sud du Sénégal Oriental.

Le travail du sol est effectué avant ou après le semis (semis direct sur l'herbe) dans les parcelles de fonio suivies (données non présentées). La préparation du sol est majoritairement effectuée avant le semis (75%) ; les producteurs procèdent soit à un grattage/houage ou à un labour avec la charrue (Tableau 24).

Tableau 24 : Répartition (%) des parcelles de fonio en fonction du précédent cultural et du travail du sol.

	Sénégal Oriental		Casamance	
	Nord	Sud	Haute	Moyenne
Précédent cultural				
Arachide	47%	42%	65%	82%
Jachère/nouvelle défriche	37%	25%	19%	11%
Autres	0%	25%	16%	7%
Fonio	0%	8%	0%	0%
Travail du sol				
Grattage/houage	53%	50%	56%	53%
Labour	47%	50%	44%	47%

3.1.3. Semences, cultivars et modalités de semis

Les semences utilisées sont soit d'origine paysanne (individuelle ou familiale), soit issues du marché local ou fournies par les structures d'encadrement (Tableau 25). La plupart des semences utilisées au Sud du Sénégal Oriental et en Moyenne Casamance sont d'origine paysanne. Au Nord du Sénégal Oriental, il existe un programme de production de fonio paysanne. Par contre, en Haute Casamance, les « bio » qui fournit des semences aux producteurs. Les semences sont issues des marchés villageois hebdomadaires, en particulier le marché de Diaobé qui a une envergure sous régionale (importants flux d'échanges de produits primaires avec les pays limitrophes : Guinée, Mali, Guinée Bissau, Gambie, etc.).

Trois types de cultivar ou écotype de fonio, se distinguant selon leur cycle, sont cultivés dans la zone d'étude (Tableau 25). Les cultivars précoces (75-85 jours) sont plus cultivés en Casamance alors que les types tardifs (+ de 120 jours) plus rencontrés au Sénégal Oriental. Par contre, les cultivars intermédiaires (90-100 jours) sont répandus dans toute la zone étudiée.

Tableau 25 : Répartition (%) des parcelles de fonio selon l'origine des semences et le type de cultivar.

		Sénégal Oriental		Casamance	
		Nord	Sud	Haute	Moyenne
Origine des semences	Personnelle	31,6%	83,3%	50,0%	88,5%
	Marché local	5,2%	16,7%	38,5%	11,5%
	Encadrement	63,2%	0,0%	11,5%	0,0%
Type de cultivar (longueur cycle cultural)	Précoce	16,7%	0,0%	30,8%	30,8%
	Intermédiaire	77,8%	81,8%	65,4%	65,4%
	Tardive	5,5%	18,2%	3,8%	3,8%

Le tableau 26 présente la période de semis, les quantités de semences épanchées par hectare ainsi que les modalités d'enfouissement après semis.

La période de semis est variable d'une zone à une autre. Hormis le Sud du Sénégal Oriental, plus de la moitié des producteurs sèment le fonio au mois de juin dans toutes les autres localités. Les semis effectués dans les 15 premiers jours du mois de juillet sont relativement importants dans le Sud du Sénégal Oriental (50%). Par contre, les semis faits au delà du 15 juillet sont relativement faibles dans la zone d'étude.

Le semis du fonio se fait à la volée avec des quantités de semences épanchées plus importantes en Casamance (78 kg/ha) qu'au Sénégal Oriental (38 kg/ha). Après le semis, les semences de fonio sont généralement enfouies avec un grattage/houage fait à l'aide de la « daba » ou de la houe selon les localités. L'enfouissement des semences avec la main et le ratissage du lit de semis avec un rameau d'arbre sont des modalités de recouvrement des grains soit très localisées ou rarement opérées par les producteurs de fonio. Le semis sans recouvrement des grains semés est adopté par 12-15% des producteurs suivis, principalement en Casamance.

Tableau 26 : Période de semis, quantités de semences et enfouissement des semences de fonio.

	Sénégal Oriental		Casamance	
	Nord	Sud	Haute	Moyenne
Période de semis				
1-30 juin	66%	37%	71%	59%
1-15 Juillet	29%	50%	27%	26%
Au-delà du 15 juillet	5%	13%	2%	15%
Quantité de semences épanchées (kg/ha)	41	35	79	77
Mode d'enfouissement des semences				
Grattage/houage	73,7%	100,0%	61,5%	48,1%
Manuel (avec la main)	15,8%	0,0%	0,0%	29,6%
Ratissage avec branchage	10,5%	0,0%	26,9%	0,0%
Néant (sans enfouissement)	0,0%	0,0%	11,6	14,8%

3.1.4. Amendement et fertilisation

Sur les 88 parcelles, seules 2 ont fait l'objet d'un apport d'urée et 2 autres ont reçu un apport de matière organique sous forme de fumier et de parcage d'animaux. L'utilisation d'engrais minéraux ou du compost est donc exceptionnelle dans les parcelles de fonio. Le parcage nocturne des bovins est aussi très faiblement pratiqué sur les parcelles de fonio.

3.1.5. Inventaire et gestion des nuisibles

Plusieurs familles d'espèces d'adventices sont inventoriées dans les parcelles de fonio. Néanmoins, les poaceae et les cyperaceae comptent respectivement 8 et 3 espèces parmi les 21 inventoriées dans les champs de fonio (Tableau 27). Selon les affinités bio-géographiques, les espèces pantropicales et celles africaines sont les plus nombreuses alors que les thérophytes représentent le type biologique le plus dominant (Tableau 27).

Le tableau 28 indique la fréquence d'occurrence des différentes espèces d'adventices dans les champs de fonio. Ainsi, les espèces *Digitaria horizontalis* Willd., *Spermacocea ruelliae* DC., *Cyperus esculentus* L. et *Fimbristylus hispidula* (Vahl) Kunth sont les plus rencontrées dans la zone d'étude. La plante parasite *Striga hermonthica* est particulièrement notée dans presque tous les champs de fonio dans le Nord du Sénégal Oriental.

Le nombre de désherbages varie entre 1 et 3 suivant les producteurs. Le premier sarclage est effectué en moyenne à 15-30 jours après la levée (71,2% des parcelles), le second désherbage peut avoir lieu entre 45 et 60 jours après la levée (20,3%) et le troisième est rare (8,5%) et s'effectue au besoin afin de rendre la parcelle propre au moment des récoltes. Dans certaines localités en Casamance, 20 à 22 % des producteurs ne pratiquent pas de désherbage dans les

champs de fonio par manque de temps dû à un calendrier cultural chargé et/ou à l'insuffisance de la main d'œuvre familiale.

Tableau 27 : Diversité spécifique, origine et type biologique des adventices dans les champs de fonio

Famille	Diversité spécifique (n = 21)		Répartition géographique (n = 19)		Type biologique (n = 20)	
	Nombre	Pourcentage	Type	Pourcentage	Type	Pourcentage
Poaceae	8	38,1	Pt	36,8	T	80,0
Cyperaceae	3	14,3	Af	21,0	HCP	5,0
Rubiaceae	1	4,8	Cosm	15,8	C	5,0
Malvaceae	1	4,8	As	15,8	G	5,0
Convolvulaceae	1	4,8	Mas	5,3	Par	5,0
Scrophulariaceae	1	4,8	Am As	5,3		
Commelinaceae	1	4,8				
Caesalpinaceae	1	4,8				
Euphorbiaceae	1	4,8				
Portulacaceae	1	4,8				
Nyctaginaceae	1	4,8				
Amaranthaceae	1	4,8				

Pt (pan tropicale), As (afro asiatique), Af (africaine), Am (afro américaine), Mas (afro malgache asiatique), Cosm (cosmopolite)
T (thérophyte), HCP (hémicryptophyte), Par (parasite), G (géophyte), C (chaméphyte), nd (non déterminé)

Tableau 28 : Fréquence d'occurrence des adventices dans les champs de fonio.

Espèce	Fréquence d'occurrence (%)	Répartition géographique	Type biologique
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	94	Pt	T
<i>Spermacoce ruelliae</i> DC.	91	Af	T
<i>Cyperus esculentus</i> L.	68	Cosm	G
<i>Fimbristylis hispidula</i> (Vahl) Kunth	56	Af	T
<i>Hibiscus asper</i> Hookf.	37	Af	T
<i>Kyllinga squamulata</i> Vahl	33	Am As	T
<i>Eragrostis tremula</i> Steud	28	As	T
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd	23	Pt	T
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pors	20	Cosm	C
<i>Ipomoea</i> sp.	16	nd	nd
<i>Setaria pallidifusca</i> Stapf et C.E.Hubb	13	nd	T
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth	9	Af	HCP
<i>Striga hermonthica</i> (Delile) Benth	8	Mas	Par
<i>Commelina benghalensis</i> L.	8	As	T
<i>Cassia obtusifolia</i> L.	8	Pt	T
<i>Chloris pilosa</i> Schumach.	5	As	T
<i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. et Thonn.	3	Pt	T
<i>Cenchrus biflorus</i> Roxb	2	Cosm	T
<i>Portulaca quadrifida</i> L.	2	Pt	T
<i>Boerhavia</i> sp.	2	Pt	T
<i>Amaranthus</i> sp.	2	Pt	T

Pt (pan tropicale), As (afro asiatique), Af (africaine), Am (afro américaine), Mas (afro malgache asiatique), Cosm (cosmopolite)
T (thérophyte), HCP (hémicryptophyte), Par (parasite), G (géophyte), C (chaméphyte), nd (non déterminé)

La présence d'insectes nuisibles a été notée dans toutes les localités étudiées. Cependant, c'est au Sénégal Oriental que leur pullulation est plus marquée. Les insectes observés sont soit des broyeures constitués par les sauteriaux pour la plupart des parcelles observées (70%), des piqueurs-suceurs ou des foreurs.

Aucune maladie fongique n'a été observée sur le fonio durant le suivi cultural dans les parcelles paysannes. Cependant, il faut noter que le charbon de l'épi et le charbon couvert ont été respectivement notés chez *Digitaria horizontalis* Willd. et *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd. Ces deux espèces de graminées sont fréquemment inventoriées dans les parcelles suivies, en particulier en Haute Casamance et au Nord du Sénégal Oriental.

Il n'a pas été inventorié de méthode de lutte contre les insectes et les maladies dans les parcelles de fonio dans la zone d'étude.

3.1.6. Analyse des rendements et de la destination de la production

Les rendements grain paddy sont très variables dans la zone d'étude avec une moyenne de 379 kg/ha (Tableau 29). Les rendements en grain les plus élevés (729 kg ha⁻¹) sont enregistrés dans le Sud du Sénégal Oriental tandis que les plus faibles rendements en grain sont notés (234 kg/ha) en Moyenne Casamance.

La production de fonio est fortement autoconsommée dans les villages, à l'exception du Nord du Sénégal Oriental où il existe un programme de fonio « bio » (Tableau 29).

Tableau 29 : Rendement grain et destination de la production de fonio.

	Casamance		Sénégal Oriental	
	Haute	Moyenne	Nord	Sud
Rendement grain paddy (kg/ha)	408	234	369	729
Part de la récolte autoconsommée (%)	69,6	88,8	31,6	56,7

En résumé, ce travail de diagnostic agronomique avait pour but d'étudier les pratiques culturales du fonio dans les principales zones de production au Sénégal. Au terme de cette étude, il en ressort que les superficies emblavées par les producteurs pour la culture du fonio sont de petites tailles. Le travail du sol est généralement effectué avant semis sous forme de grattage ou houage avec la « Daba » ou de labour superficiel avec la charrue et le semis s'effectue à la volée. L'amendement et la fertilisation sont quasi inexistantes. Les rendements grain paddy sont généralement faibles dans toute la zone étudiée.

3.2. Etude des techniques de semis

3.2.1. Etude de la date de semis

3.2.1.1. Relations entre pluviosité et date de semis

Le tableau 30 montre que les semis précoces ont reçu plus de pluies durant leur cycle cultural que ceux tardifs. Cependant, le nombre de jours de pluies avec au moins 10 mm par jour est presque le même quelle que soit la période de semis.

Tableau 30 : Cumul de pluies et nombre de jours pluvieux pour chaque date de semis.

Date de semis (jour/mois)	Quantité de pluies reçues et nombre de jours pluvieux entre semis-récolte					
	2010			2011		
	Pluies (mm)	Jours pluvieux	Jours pluvieux ≥ 10 mm	Pluies (mm)	Jours pluvieux	Jours pluvieux ≥ 10 mm
1/7	897	62	33	na	na	na
8/7	876	61	32	636	34	17
15/7	817	56	30	613	33	16
22/7	724	59	26	591	32	16
29/7	741	57	28	566	31	15
5/8	696	53	27	499	28	14
12/8	671	48	26	na	na	na

Jours pluvieux ≥ 10mm (jour pluvieux avec au moins 10 mm de pluie par jour), na (non applicable)

3.2.1.2. Effets de la date de semis sur la croissance

La date de semis a significativement influencé la densité de plantes de fonio, leur vigueur et la durée des phénophases en 2010 et 2011. Les valeurs de paramètres de croissance et de développement des plantes sont généralement meilleures avec les semis précoces (Figure 13 et Figure 15).

En 2011, les densités de plantes ont varié en moyenne autour de 1 029, 661, 530, 275 et 551 plantes/m² avec respectivement les dates de semis suivantes: 8, 15, 22 et 29 juillet, et 5 août. Les dates d'épiaison, de floraison et de maturité sont raccourcies avec les semis tardifs en 2010 (Figure 13).

Au contraire, le tallage n'est pas affecté par la date de semis aussi bien en 2010 qu'en 2011. Le nombre de talles par plante a varié entre 2,6 et 4,4 en 2010 et entre 3,7 et 4,5 en 2011 (Figure 14).

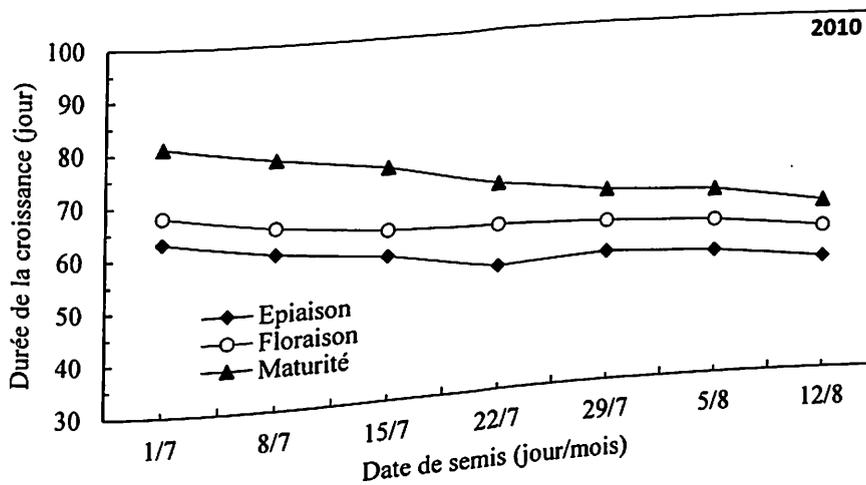


Figure 13: Effet de la date de semis sur les stades phénologiques du fonio en 2010.

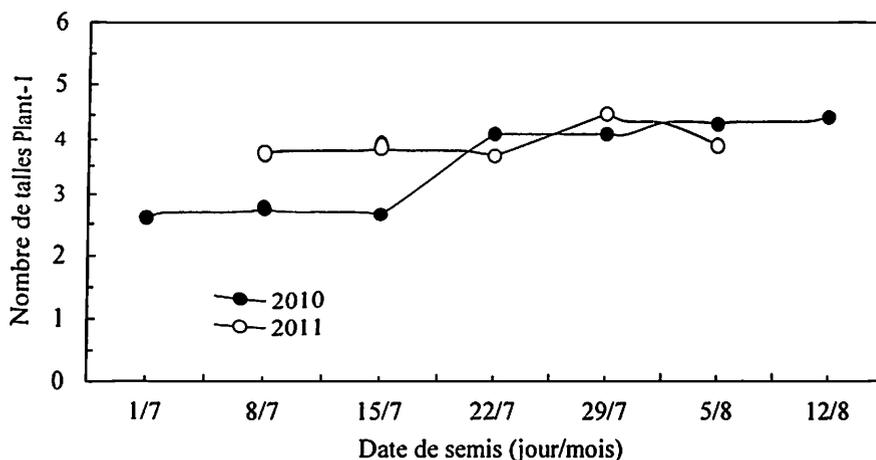


Figure 14: Effet de la date de semis sur le tallage du fonio.

A la période de maturité du fonio, la taille des plantes a varié entre 87,6 et 108,6 cm selon l'année. Comme l'indique la figure 15, les plantes les plus hautes sont généralement notées avec les semis effectués jusqu'au 22 juillet alors que les plantes les moins développées sont notées dans les parcelles semées en fin juillet ou début août 2011 ($Pr < 0,001$).

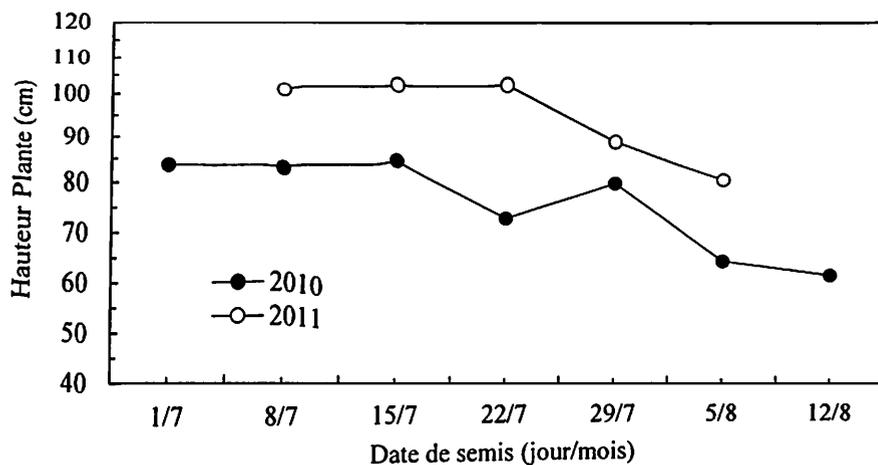


Figure 15: Effet de la date de semis sur la taille des plantes de fonio à la maturité.

3.2.1.3. Effets de la date de semis sur la biomasse et la production de grain

Le tableau 31 montre que la période de semis a significativement affecté la biomasse aérienne ($Pr < 0,05$ en 2010 et $Pr < 0,01$ en 2011) et le rendement grain paddy fonio ($Pr < 0,001$ en 2010 et 2011).

Les meilleures biomasses aériennes et rendements grain paddy ont été obtenus avec les semis autour du 15 juillet. Avant ou après cette date, les semis se traduisent par une réduction significative de la biomasse aérienne et du rendement grain. En effet, les semis intervenus au delà du 15 juillet montrent une réduction de 23% et 50% en 2010 respectivement sur la biomasse et le rendement grain paddy. De même en 2011, ces réductions sont de 54% et 87% respectivement pour la biomasse aérienne et le rendement grain paddy.

Les moyennes du poids de 1000 grains paddy en fonction de la date de semis sont présentées dans le tableau 31. Le calibre des grains paddy de fonio est plus gros en 2010 ($0,65 \pm 0,02$ g) en comparaison à celui en 2011 ($0,55 \pm 0,02$ g), cependant la taille des grains n'est pas affecté par la période semis, ni en 2010 ni en 2011.

Tableau 31 : Biomasse, rendement grain et taille des grains du fonio en fonction de la date de semis.

Date de semis (jour/mois)	Biomasse aérienne sèche (kg ha ⁻¹)		Rendement Grain Paddy (kg ha ⁻¹)		Poids de 1 000 Grains (gramme)	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
1/7	2 562 ± 157 ^{ab}	-	938 ± 47 ^{ab}	-	0,66 ± 0,02	-
8/7	2 375 ± 125 ^{abc}	7 050 ± 823 ^a	988 ± 89 ^{ab}	951 ± 89 ^a	0,66 ± 0,03	0,60 ± 0,00
15/7	2 750 ± 250 ^a	8 850 ± 967 ^a	1 111 ± 138 ^a	1 269 ± 163 ^a	0,63 ± 0,02	0,57 ± 0,03
22/7	1 875 ± 298 ^c	6 900 ± 408 ^{ab}	769 ± 100 ^{bc}	461 ± 78 ^b	0,64 ± 0,02	0,57 ± 0,03
29/7	1 938 ± 258 ^{bc}	4 650 ± 669 ^{bc}	253 ± 35 ^c	271 ± 59 ^{bc}	0,64 ± 0,03	0,53 ± 0,03
5/8	1 812 ± 214 ^c	4 050 ± 1 184 ^c	441 ± 43 ^{de}	167 ± 100 ^c	0,65 ± 0,02	0,50 ± 0,00
12/8	2 000 ± 323 ^{bc}	-	558 ± 96 ^{cd}	-	0,66 ± 0,02	-
Moyenne ± Ecart-type	2 188 ± 221	6 300 ± 777	722 ± 83	623 ± 98	0,65 ± 0,02	0,55 ± 0,02
Probabilité et signification	0,040 [*]	0,003 ^{**}	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}	0,971 ^{ns}	0,073 ^{ns}

Dans chaque colonne, les valeurs représentent la moyenne et l'écart type (n = 4 répétitions en 2010 et 5 en 2011). Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

En 2011, la date de semis du 1^{er} juillet n'a pas été semée à cause du retard des pluies utiles et les deux dernières dates de semis n'ont pas récoltées à cause des faibles densités et du déficit hydrique avec la fin des pluies durant la phase de remplissage des grains. LSD (0.05) représente la plus petite différence significative au seuil de 5%. ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ;

** = différence significative à 1% ; *** = différence significative à 0,1% ;

3.2.2. Etude de la dose de semences

3.2.2.1. Relation entre dose de semences et densité de plantes

Au niveau des trois sites, l'augmentation de la dose de semences se traduit par une augmentation significative ($Pr < 0,001$) de la densité de plantes levées (Tableau 32). Cependant, le croît de densité n'est pas proportionnel à l'augmentation de la quantité de semences utilisées par ha. En effet, la dose de semences de 15 kg/ha a permis une densité de 1 067 plantes/ha alors qu'une densité de 3 791 plantes/ha est obtenue avec la dose de 90 kg/ha. Cette densité croît de 3,5 fois avec la dose de semis 90 kg/ha, soit 5 fois que la dose de 15 kg/ha.

Tableau 32 : Densité de plantes en fonction de la dose de semences du fonio en 2011.

Dose de semences (kg de grains/ha)	Densité de plantes (plante/m ²)			
	Bandafassi	Séfa	Sinthiou Malème	Moyenne intersite
15	836 ^c	1 739 ^d	626 ^d	1 067
30	2 415 ^b	2 159 ^d	835 ^c	1 803
45	2 918 ^b	2 888 ^c	1 010 ^{bc}	2 272
60	2 808 ^b	3 282 ^{bc}	1 047 ^{ab}	2 379
75	4 063 ^a	3 848 ^{ab}	1 087 ^{ab}	2 999
90	5 916 ^a	4 230 ^a	1 226 ^a	3 791
Moyenne ± Ecart-type	3 159 ± 312	3 024 ± 300	972 ± 68	
Probabilité et signification	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}	

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

3.3.2.2. Effets de la dose de semences sur le tallage et la biomasse aérienne

Le nombre de talles par plante est présenté dans le tableau 33. Il est de $6,3 \pm 0,9$ en 2010 et de $2,1 \pm 0,2$ en 2011 à Bandafassi ; de $4,0 \pm 0,6$ et de $2,7 \pm 0,3$ respectivement en 2010 et 2011 à Séfa et de $1,7 \pm 0,4$ en 2010 et de $4,0 \pm 0,4$ en 2011 à Sinthiou Malème. A l'exception de l'année 2010 à Séfa et de 2011 à Sinthiou Malème, l'augmentation de la dose de semences affecte négativement le tallage chez les plantes de fonio à Bandafassi ($Pr = 0,001$ en 2010 et $Pr = 0,026$ en 2011), à Séfa en 2011 ($Pr = 0,036$) et à Sinthiou Malème en 2010 ($Pr = 0,005$).

Tableau 33 : Nombre de talles par plante en fonction de la dose de semences du fonio.

Dose de semences (kg de grains/ha)	Nombre de talles par plante					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
15	15,5 ^a	2,8 ^a	5,1	3,3 ^{ab}	2,4 ^{ab}	4,4
30	8,6 ^b	2,3 ^{ab}	3,8	3,4 ^a	2,6 ^a	4,2
45	8,7 ^b	2,0 ^b	4,2	2,1 ^c	1,6 ^{abc}	3,8
60	6,0 ^c	1,7 ^b	3,7	2,1 ^c	1,7 ^{abc}	3,9
75	3,2 ^d	2,1 ^b	3,8	2,8 ^{abc}	1,3 ^{bc}	4,1
90	4,0 ^d	1,9 ^b	4,2	2,3 ^{bc}	1,3 ^{bc}	3,9
105	2,5 ^d	-	4,2	-	1,4 ^{bc}	-
120	1,8 ^d	-	3,2	-	1,0 ^c	-
Moyenne ± Ecart-type	6,3 ± 0,9	2,1 ± 0,2	4,0 ± 0,6	2,7 ± 0,3	1,7 ± 0,4	4,0 ± 0,4
Probabilité et signification	0,001 ^{***}	0,026 [*]	0,201 ^{ns}	0,036 [*]	0,005 ^{**}	0,886 ^{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%.

Tableau 34 : Biomasse aérienne sèche en fonction de la dose de semences du fonio.

Dose de semences (kg de grains/ha)	Biomasse aérienne sèche (kg MS/ha)					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
15	3 250	3 125	3 525 ^b	3 800	4 175 ^b	9 300
30	3 300	4 375	3 875 ^b	4 150	4 700 ^b	9 600
45	3 400	4 250	4 925 ^{ab}	4 500	6 125 ^a	9 167
60	3 300	3 750	4 300 ^{ab}	5 200	6 175 ^a	9 400
75	3 200	4 958	5 950 ^a	5 450	6 025 ^a	9 667
90	3 350	4 208	4 700 ^{ab}	4 300	5 900 ^a	10 800
105	2 850	-	3 775 ^b	-	6 700 ^a	-
120	3 150	-	4 225 ^{ab}	-	6 850 ^a	-
Moyenne ± Ecart-type	3 225 ± 292	4 111 ± 511	4 409 ± 637	4 567 ± 510	5 831 ±	9 656 ± 539
Probabilité et signification	0,681 ^{ns}	0,234 ^{ns}	0,018 [*]	0,219 ^{ns}	0,000 ^{***}	0,337 ^{ns}

MS = matières sèches (quantité de pailles sèches). ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; *** = différence significative à 0,1% ;
Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Le tableau 34 présente l'évolution de la biomasse aérienne en fonction de la dose de semences. En 2010, la quantité de grains semés a eu un effet significatif sur la biomasse aérienne à Séfa (Pr = 0,018) et à Sinthiou Malème (Pr = 0,000). En effet, les parcelles semées avec les doses de 15 ou de 30 kg/ha ont les valeurs de biomasse les plus faibles tandis que les doses de 75 kg/ha à Séfa et les doses au moins supérieures à 45 kg/ha à Sinthiou Malème ont donné les plus importantes valeurs de biomasse sèche. Par contre en 2011, la biomasse aérienne est de $4\ 111 \pm 511$ kg de matière sèche (MS) par ha à Bandafassi, de $4\ 567 \pm 510$ kg MS/ha à Séfa et de $9\ 656 \pm 539$ kg MS/ha à Sinthiou Malème, quelle que soit la dose de semences appliquée.

3.2.2.3. Effets de la dose de semences sur le rendement grain et le calibre des grains

Les rendements grains en fonction de la dose de semences sont présentés dans le tableau 35. La quantité de semences épandues à l'hectare a un effet significatif sur le rendement grain en 2010 à Bandafassi (Pr = 0,023) et à Sinthiou Malème (Pr = 0,008) et en 2011 seulement à Sinthiou Malème (Pr = 0,032). Les rendements en grain les plus élevés sont notés dans les parcelles semées entre 45 et 75 kg/ha alors que la dose de 15 kg/ha ou les fortes doses de semences (90-120 kg/ha) ont donné les plus faibles rendements grain paddy.

Le calibre des grains paddy de fonio n'est pas affecté par la dose de semences appliquée et ce, quel que soit le site (Tableau 36). Les lots de 1 000 grains paddy pèsent en moyenne $0,67 \pm 0,02$ gramme à Bandafassi, $0,69 \pm 0,02$ gramme à Séfa et $0,79 \pm 0,02$ gramme à Sinthiou Malème.

Tableau 35 : Rendement grain paddy en fonction de la dose de semences du fonio.

Dose de semences (kg de grains/ha)	Rendement grain paddy (kg/ha)					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
15	1 426 ^{ab}	809	1 400	635	1 503 ^{ab}	1 220 ^b
30	1 489 ^a	1 114	1 550	810	1 352 ^b	1 358 ^{ab}
45	1 510 ^a	878	1 775	760	1 773 ^{ab}	1 178 ^b
60	1 372 ^{ab}	804	1 475	696	1 720 ^{ab}	1 376 ^{ab}
75	1 430 ^{ab}	1 165	1 975	818	1 920 ^a	1 440 ^{ab}
90	1 499 ^{ab}	981	1 675	686	1 920 ^a	1 612 ^a
105	1 142 ^b	-	1 425	-	1 752 ^{ab}	-
120	1 406 ^{ab}	-	1 525	-	1 836 ^a	-
Moyenne ± Ecart-type	1 409 ± 99	958 ± 118	1 600 ± 199	734 ± 61	1 722 ± 151	1 364 ± 91
Probabilité et signification	0,023 [*]	0,166 ^{ns}	0,096 ^{ns}	0,239 ^{ns}	0,008 ^{**}	0,032 [*]

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

Tableau 36 : Calibre des grains paddy en fonction de la dose de semences du fonio en 2010.

Dose de semences (kg de grains/ha)	Poids de 1000 grains paddy (gramme)		
	Bandafassi	Séfa	Sinthiou Malème
15	0,67	0,68	0,81
30	0,67	0,67	0,77
45	0,67	0,69	0,79
60	0,68	0,70	0,81
75	0,66	0,72	0,79
90	0,67	0,67	0,79
105	0,65	0,69	0,79
120	0,64	0,69	0,79
Moyenne ± Ecart-type	0,67 ± 0,02	0,69 ± 0,02	0,79 ± 0,02
Probabilité et signification	0,488 ^{ns}	0,616 ^{ns}	0,803 ^{ns}

ns = différence non significative à 5%

3.2.3. Etude du mode de semis et du sarclage

3.2.3.1. Effets du mode de semis sur la dose de semences et la densité de plantes levées

La dose de semences de fonio varie significativement ($Pr < 0,001$) en fonction du mode de semis à Séfa et à Sinthiou Malème (Tableau 37). Dans ces deux sites, la quantité de semences utilisées est de 30 kg/ha pour le semis à la volée (pratique paysanne). Par contre, les semis en lignes continues ou ceux en poquets ont permis de réduire cette dose à 46-60% à Séfa et à 37-50% à Sinthiou Malème.

Tableau 37: Quantité de semences de fonio par ha en fonction du mode de semis en 2012.

Mode de semis	Dose de semences (kgde grains/ha)	
	Séfa	Sinthiou Malème
A la volée	30 ± 0 ^a	30 ± 0 ^a
En ligne continue de 25 cm	18 ± 1 ^b	15 ± 2 ^b
En ligne continue de 20 cm	18 ± 1 ^b	12 ± 2 ^b
En ligne continue de 15 cm	30 ± 0 ^a	14 ± 3 ^b
En ligne continue de 10 cm	30 ± 0 ^a	12 ± 2 ^b
En poquet de 25 cm x 20 cm	14 ± 1 ^c	11 ± 3 ^b
En poquet de 25 cm x 10 cm	30 ± 0 ^a	11 ± 2 ^b
Moyenne ± Ecart-type (n = 5)	24 ± 1	15 ± 2
Probabilité et signification du test	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}

*** : différence significative à 0,1% ; Sur la colonne, les moyennes ayant les mêmes lettres sont statistiquement équivalentes au seuil de 5%.

Tableau 38 : Densité de plantes en fonction du mode de semis du fonio.

Mode de semis	Densité de plantes (plante/ha)			
	Séfa		Sinthiou Malème	
	2011	2012	2011	2012
A la volée	1 595	739 ^{bc}	1 190 ^a	770 ^a
En ligne continues distantes de 25 cm	1 514	611 ^{bc}	722 ^b	314 ^b
En ligne continues distantes de 20 cm	1 600	495 ^{bc}	680 ^b	341 ^b
En ligne continues distantes de 15 cm	-	905 ^{ab}	-	377 ^b
En ligne continues distantes de 10 cm	-	1 268 ^a	-	520 ^b
En poquets 25 cm x 20 cm	1 464	329 ^c	457 ^b	293 ^b
En poquets 25 cm x 10 cm	1 228	662 ^{bc}	554 ^b	398 ^b
Moyenne ± Ecart-type (n = 5)	1 480 ± 159	716 ± 147	721 ± 70	413 ± 72
Probabilité et signification du test	0,478 ^{ns}	0,005 [*]	< 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%.

Le tableau 38 indique l'évolution de la densité de plantes de fonio en fonction du mode de semis. A Séfa, la densité de plantes est de 1 480 ± 159 plantes/ha quel que soit le mode de semis appliqué en 2011. Par contre, dans ce même site en 2012, les parcelles semées en lignes continues distantes de 10-15 cm ont eu les densités de plantes les plus élevées alors que les plus faibles densités sont notées avec les semis en poquets et les semis en lignes continues

distantes de 20-25 cm ($Pr = 0,005$). A Sinthiou Malème, le mode de semis a une influence sur la densité de plantes levées aussi bien en 2011 ($Pr < 0,001$) qu'en 2012 ($Pr = 0,001$). Dans ce site, les parcelles semées à la volée ont des densités de plantes statistiquement plus élevées que celles obtenues avec les semis en lignes continues ou les semis en poquets.

3.2.3.2. Effets du mode de semis sur la croissance et le développement des plantes

La hauteur des plantes de fonio n'est pas affectée par le mode de semis (Tableau 39). A Séfa, les plantes âgées de 60 jours après semis (JAS) mesurent en moyenne $40,1 \pm 1,7$ cm, $35,9 \pm 1,7$ cm et $53,7 \pm 1,0$ cm respectivement en 2010, 2011 et 2012, indépendamment du mode de semis considéré. De même à 60 JAS, les plantes ont une taille de $49,8 \pm 2,5$ cm en 2010, $53,3 \pm 1,6$ cm en 2011 et $63,7 \pm 1,3$ cm en 2012 à Sinthiou Malème quel que soit le mode semis. La taille des plantes est plus grande à Sinthiou qu'à Séfa durant ces trois ans.

Le tableau 40 présente le nombre de talles par plante en fonction du mode semis dans les sites de Séfa et de Sinthiou Malème. Le tallage n'est pas affecté par le mode de semis à Séfa en 2010 ($3,6 \pm 0,1$ talles/plante), 2011 ($5,0 \pm 0,5$ talles/plante) et 2012 ($4,6 \pm 0,3$ talles/plante) et en 2010 à Sinthiou Malème ($1,8 \pm 0,1$ talles/plante). Par contre, le mode de semis influence statistiquement le nombre de talles par plante à Sinthiou Malème en 2011 ($Pr = 0,011$) et en 2012 ($Pr = 0,032$). En effet, le tallage y est plus développé avec les semis en poquets ou ceux en lignes continues en 2011 et avec les semis en poquets de 25 cm x 10 cm et ceux en lignes continues distantes de 20 cm en 2012.

3.2.3.3. Effets de la fréquence de sarclage sur le rendement grain paddy

La fréquence de sarclage n'a pas d'effet sur le tallage à Séfa et Sinthiou Malème (Tableau 43). Par contre, la biomasse aérienne et le rendement grain paddy fonio sont significativement influencés par le nombre de sarclage ($Pr < 0,001$) durant le cycle cultural. Le maximum de biomasse est obtenu dans les parcelles sarclées une seule fois à 15 jours après semis (JAS) et celles sarclées deux fois à 15 et 30 JAS. Au contraire, les parcelles non sarclées et celles désherbées 3 fois (15, 30 et 45 JAS) ont produit moins de biomasse aérienne. Il en est de même pour les rendements en grain où les valeurs les plus élevées sont enregistrées. En effet, le sarclage avec un passage à 15 JAS a permis un gain de 20% et de 37% de rendement grain paddy par rapport au témoin non désherbé à Séfa et Sinthiou Malème, respectivement.

L'analyse de la variance a mis en évidence une interaction positive et significative entre le mode semis et le nombre de sarclages (Tableau 44). En effet, l'augmentation du nombre de sarclages n'affecte pas négativement les rendements grain paddy avec les modes de semis en lignes ou en poquets. Par contre, les meilleurs rendements grain sont notés avec au maximum deux passages de sarclage dans les parcelles semées à la volée.

3.2.3.4. Effets du mode de semis sur la biomasse aérienne et le rendement grain

Les moyennes de biomasse aérienne sèche en fonction du mode semis sont présentées dans le tableau 41. L'analyse de la variance met en évidence un effet significatif du mode de semis sur la biomasse aérienne, à Séfa en 2012 ($Pr = 0,009$) et Sinthiou Malème en 2011 ($Pr = 0,001$) et 2012 ($Pr = 0,015$). Les plus grandes quantités de biomasse aérienne sèche ont été notées à Sinthiou Malème notamment dans les parcelles semées à la volée, suivies de celles semées en lignes continues. Les plus faibles productions de biomasse ont été observées à Séfa quel que soit le mode de semis.

Le tableau 42 indique les rendements grain paddy en fonction du mode de semis dans les deux sites. En 2010 et en 2011, les rendements grains paddy ne sont pas influencés par le mode de semis. Ils sont en moyenne respectivement de $1\ 256 \pm 53$ kg/ha et 614 ± 71 kg/ha à Séfa et respectivement de $1\ 365 \pm 54$ kg/ha et $1\ 028 \pm 160$ kg/ha à Sinthiou Malème. Par contre, en 2012, les semis en lignes continues de 25 cm ont donné statistiquement les rendements en grain les plus élevés : 762 ± 58 kg/ha à Séfa et 556 ± 52 kg/ha à Sinthiou Malème. Les autres modes de semis ont en général donné des rendements significativement supérieurs à ceux obtenus avec le semis à la volée.

En conclusion, sur la base des résultats obtenus en 2010 et 2011, nous pouvons recommander de semer les cultivars de fonio de cycle 75-90 jours autour du 15 juillet.

Cette période optimale de semis permet d'avoir une bonne croissance et un développement satisfaisant des plantes et de bons rendements en grain.

Concernant le test sur la dose de semences mené entre 2010 et 2011, il a été mis en évidence un effet dépressif des fortes quantités de grains semés à la volée mais aussi un développement plus rapide des adventices avec les faibles doses de semences (15 kg/ha). Par conséquent, la quantité de semences semées à l'hectare doit tenir compte des potentielles contraintes (ruissellement, fourmis, etc.) et de la qualité des semences. Il est recommandé de semer à des doses variant entre 30 et 45 voire 75 kg/ha selon la qualité germinative des semences.

S'agissant du test de sarclage et du mode de semis, il est ressorti des résultats obtenus que le mode de semis n'affecte pas globalement les paramètres morphologiques et agronomiques suite aux essais menés entre 2010 et 2012. Cependant, les semis en lignes continues ou ceux en poquets favorisent un enherbement précoce des parcelles, en comparaison au semis à la volée. Du fait des faibles densités de plantes engendrées, les semis en poquets exigeraient un effort de sarclage plus important surtout dans des parcelles où la flore adventive est à croissance rapide. Cependant, les semis en lignes continues pourraient donner de bons résultats à condition de minimiser la compétition entre le fonio et les mauvaises herbes. Pour cela, les écartements pour un semis en lignes continues peuvent se situer entre 15 et 20 cm entre les lignes.

Tableau 39 : Hauteur des plantes en fonction du mode de semis du fonio.

Mode de semis	Hauteur des plantes à 60 JAS (cm)					
	Séfa			Sinthiou Malème		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012
A la volée	39,5	35,5	53,9	45,7	51,8	63,9
En lignes continues distantes de 25 cm	40,3	36,1	53,9	51,6	52,5	63,2
En lignes continues distantes de 20 cm	-	38,0	55,1	-	52,8	63,5
En lignes continues distantes de 15 cm	-	-	52,4	-	-	66,2
En lignes continues distantes de 10 cm	-	-	52,4	-	-	62,3
En poquets 25 cm x 20 cm	40,4	36,2	55,7	52,2	55,6	64,3
En poquets 25 cm x 10 cm	-	33,9	52,3	-	53,7	62,8
Moyenne ± Ecart-type (n = 4-5)	40,1 ± 1,7	35,9 ± 1,7	53,7 ± 1,0	49,8 ± 2,5	53,3 ± 1,6	63,7 ± 1,3
Probabilité et signification	0,915 ^{ns}	0,545 ^{ns}	0,116 ^{ns}	0,204 ^{ns}	0,501 ^{ns}	0,472 ^{ns}

JAS (nombre de jours après semis), ns = différence non significative à 5%

Tableau 40 : Nombre de talles par plante en fonction du mode de semis du fonio.

Mode de semis	Nombre de talles par plante					
	Séfa			Sinthiou Malème		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012
A la volée	3,6	5,2	4,9	1,6	4,1 ^b	4,0 ^b
En lignes continues distantes de 25 cm	3,5	4,8	4,4	1,7	5,5 ^{ab}	4,2 ^b
En lignes continues distantes de 20 cm	-	4,8	4,7	-	5,0 ^{ab}	4,4 ^{ab}
En lignes continues distantes de 15 cm	-	-	4,7	-	-	3,8 ^b
En lignes continues distantes de 10 cm	-	-	4,4	-	-	4,0 ^b
En poquets 25 cm x 20 cm	3,7	5,6	4,4	1,9	6,2 ^a	4,2 ^b
En poquets 25 cm x 10 cm	-	4,6	4,5	-	5,3 ^{ab}	5,0 ^a
Moyenne ± Ecart-type (n = 4-5)	3,6 ± 0,1	5,0 ± 0,5	4,6 ± 0,3	1,8 ± 0,1	5,2 ± 0,4	4,2 ± 0,2
Probabilité et signification	0,838 ^{ns}	0,716 ^{ns}	0,870 ^{ns}	0,076 ^{ns}	0,011 [*]	0,032 [*]

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

Tableau 41 : Biomasse aérienne en fonction du mode de semis du fonio.

Mode de semis	Biomasse aérienne (kg MS/ha)					
	Séfa			Sinthiou Malème		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012
A la volée	4 953	4 500	3 250 ^b	6 148	13 900 ^a	10 100 ^{ab}
En lignes continues distantes de 25 cm	5 390	4 850	4 550 ^a	5 516	12 200 ^a	10 650 ^a
En lignes continues distantes de 20 cm	-	5 350	4 150 ^a	-	11 650 ^a	9 100 ^{abc}
En lignes continues distantes de 15 cm	-	-	4 200 ^a	-	-	10 150 ^a
En lignes continues distantes de 10 cm	-	-	4 550 ^a	-	-	9 300 ^{abc}
En poquets 25 cm x 20 cm	5 937	4 500	4 000 ^a	5 438	8 250 ^b	7 750 ^c
En poquets 25 cm x 10 cm	-	3 700	3 850 ^{ab}	-	8 550 ^b	8 300 ^{bc}
Moyenne ± Ecart-type (n = 4-5)	5 427 ± 452	4 580 ± 415	4 079 ± 233	5 701 ± 236	10 910 ± 881	9 336 ± 572
Probabilité et signification	0,367 ^{ns}	0,127 ^{ns}	0,009 ^{**}	0,144 ^{ns}	0,001 ^{**}	0,015 [*]

MS = matières sèches (quantité de pailles sèches), ns = différence non significative à 5% ; * = différence significative à 5% ; ** = différence significative à 1% ;
Sur la colonne, les moyennes ayant des lettres identiques sont statistiquement équivalentes à 5%.

Tableau 42 : Rendement grain paddy en fonction de la méthode de semis du fonio.

Mode de semis	Rendement grain paddy (kg/ha)					
	Séfa			Sinthiou Malème		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012
A la volée	1 168	511	627 ^b	1 485	908	612 ^{ab}
En lignes continues distantes de 25 cm	1 234	662	942 ^a	1 328	1 126	678 ^a
En lignes continues distantes de 20 cm	-	760	781 ^{ab}	-	1 124	562 ^{abc}
En lignes continues distantes de 15 cm	-	-	639 ^b	-	-	597 ^{ab}
En lignes continues distantes de 10 cm	-	-	803 ^{ab}	-	-	411 ^c
En poquets 25 cm x 20 cm	1365	618	786 ^{ab}	1 283	1 042	481 ^{bc}
En poquets 25 cm x 10 cm	-	518	754 ^b	-	940	549 ^{abc}
Moyenne ± Ecart-type (n = 4-5)	1 256 ± 53	614 ± 71	762 ± 58	1 365 ± 54	1 028 ± 160	556 ± 52
Probabilité et signification	0,092 ^{ns}	0,120 ^{ns}	0,015 [*]	0,085 ^{ns}	0,805 ^{ns}	0,029 [*]

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

Tableau 43 : Effet du sarclage sur le tallage, la biomasse aérienne et le rendement grain paddy fonio en 2010.

Nombre de sarclages	Nombre de talles par plante		Biomasse aérienne sèche (kg MS ha ⁻¹)		Rendement grain (kg ha ⁻¹)	
	Séfa	Sinthiou Maleme	Séfa	Sinthiou Maleme	Séfa	Sinthiou Maleme
0 (néant)	3,6	1,5	5 229 ^c	4 625 ^c	1 190 ^b	981 ^b
1 (15 JAS)	3,5	1,4	6 469 ^a	5 885 ^{ab}	1 435 ^a	1 494 ^a
2 (15 et 30 JAS)	3,7	1,4	6 323 ^b	6 698 ^a	1 447 ^a	1 547 ^a
3 (15, 30 et 45 JAS)	3,6	1,7	3 688 ^d	5 594 ^b	951 ^c	1 438 ^a
Moyenne ± Ecart-type (n = 4)	3,6 ± 0,4	1,5 ± 0,4	5 427 ± 831	5 701 ± 691	1 256 ± 133	1 365 ± 141
Probabilité et signification	0,838 ^{ns}	0,529 ^{ns}	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}

JAS (jours après semis). MS (matière sèche). Dans chaque colonne, les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes à 5% ;
 ns: différences non significatives au seuil 5%; *** = différences significatives au seuil de probabilité de 0,1%.

Tableau 44 : Effet de l'interaction mode de semis x sarclage sur le rendement grain paddy fonio en 2010.

Nombre de sarclages	Rendement grain (kg ha ⁻¹)			
	Semis à la volée	Semis en lignes continues (interligne de 25 cm)	Semis en poquets (25 cm x 25 cm)	Moyenne générale (kg ha ⁻¹)
0 (néant)	1 403 ^b	786 ^b	755 ^b	981 ^b
1 (15 JAS)	1 514 ^a	1 529 ^a	1 440 ^a	1 494 ^a
2 (15 et 30 JAS)	1 610 ^a	1 661 ^a	1 371 ^a	1 547 ^a
3 (15, 30 et 45 JAS)	1 411 ^c	1 335 ^a	1 566 ^a	1 438 ^a
Moyenne ± Ecart-type (n = 4)	1 4585 ±	1 328 ± 141	1 283 ± 141	1 365 ± 141

JAS (jours après semis). MS (matière sèche). Dans chaque colonne, les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes à 5% ;

3.3. Etude des effets de l'amendement et de la fertilisation

3.3.1. Effets de la fertilisation organo-minérale

3.3.1.1. Effets de la fumure sur la croissance et le tallage

La production de talles par plante n'est pas statistiquement influencée par les apports d'amendements et/ou d'engrais chimiques, à l'exception de Bandafassi ($P < 0,001$) en 2010 (Tableau 45). Dans ce site, le nombre de talles par plante est passé de 3,5 à 8,7 lorsque les doses d'engrais évoluent de 0 à 200 kg/ha de NPK (15-15-15). En revanche, le fumier seul ou associé au phosphate naturel n'a pas d'effet sur le tallage dans aucun des trois sites.

La hauteur des plantes était en moyenne de $60,7 \pm 2,8$ cm à Bandafassi, de $63,4 \pm 2,8$ cm à Séfa, de $50,6 \pm 2,2$ cm à Sinthiou Malème (Tableau 46). L'analyse de la variance révèle un effet significatif de l'amendement et de la fertilisation minérale sur la hauteur des plantes à Bandafassi. La taille des plantes augmente seulement avec les apports d'engrais minéraux ($P < 0,001$) à Bandafassi et à Sinthiou Malème en 2010 et avec les apports de fumier d'étable et de phosphate naturel ($P = 0,023$) à Bandafassi en 2011.

Tableau 45 : Tallage du fonio en fonction de l'amendement et de la fertilisation.

	Nombre de talles plante					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Amendement						
0 tonne/ha de FE	7,6 ^a	3,3	-	4,7	1,5	5,6
2 tonnes/ha de FE (A1)	6,3 ^b	3,2	-	5,0	1,4	5,1
A1 + 400 kg/ha PN	-	3,2	-	5,5	-	5,2
Fertilisation (NPK : 15-15-15)						
0 kg/ha	3,5 ^b	3,0	-	5,7	1,8	5,6
25 kg/ha	6,3 ^{ab}	-	-	-	1,4	-
50 kg/ha	6,4 ^{ab}	3,6	-	4,6	1,7	5,8
75 kg/ha	6,0 ^{ab}	2,9	-	4,9	1,1	5,0
100 kg/ha	7,1 ^a	3,4	-	5,1	1,3	4,8
125 kg/ha	7,5 ^a	-	-	-	1,6	-
150 kg/ha	7,7 ^a	-	-	-	1,5	-
175 kg/ha	9,5 ^a	-	-	-	1,5	-
200 kg/ha	8,7 ^a	-	-	-	1,2	-
Moyenne ± Ecart-type (n = 4)	7,0 ± 1,6	3,2 ± 0,7	-	5,1 ± 0,8	1,5 ± 0,4	5,3 ± 0,6
Probabilité et signification						
Amendement (A)	0,009 ^{**}	0,979 ^{ns}	-	0,425 ^{ns}	0,849 ^{ns}	0,150 ^{ns}
Fertilisation (F)	< 0,001 ^{***}	0,583 ^{ns}	-	0,486 ^{ns}	0,267 ^{ns}	0,209 ^{ns}
Interaction A * F	0,458 ^{ns}	0,267 ^{ns}	-	0,211 ^{ns}	0,891 ^{ns}	0,504 ^{ns}

FE = fumier brut d'étable (poudrette de bovin) ; PN = phosphate naturel ; NPK = Engrais ternaire (15% N, 15% P₂O₅ et 15% K₂O) ;

ns: différence non significative au seuil de probabilité de 0,05; *, ** and *** = différences significatives au seuil de probabilité de 0,05, 0,01, et 0,001, respectivement.

Dans chaque colonne, valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes selon le Test de LSD au seuil de probabilité de 0,05.

Tableau 46 : Hauteur plante fonio en fonction de l'amendement et de la fertilisation.

	Taille plante (cm)					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Amendement						
0 tonne/ha de FE	96,6	57,3 ^b	-	60,4	44,6	50,8
2 tonnes/ha de FE (A1)	100,9	61,0 ^{ab}	-	62,7	46,7	49,9
A1 + 400 kg/ha PN	-	63,9 ^a	-	67,1	-	51,0
Fertilisation (NPK : 15-15-15)						
0 kg/ha	77,1 ^c	54,1 ^c	-	63,0	40,1 ^c	49,8
25 kg/ha	95,2 ^b	-	-	-	44,8 ^{bc}	-
50 kg/ha	92,5 ^b	60,2 ^b	-	62,7	40,0 ^c	51,3
75 kg/ha	95,7 ^b	62,6 ^{ab}	-	63,6	44,7 ^{bc}	49,7
100 kg/ha	98,2 ^b	66,0 ^a	-	64,3	45,0 ^{bc}	51,5
125 kg/ha	99,6 ^b	-	-	-	46,1 ^{bc}	-
150 kg/ha	109,8 ^a	-	-	-	49,3 ^{ab}	-
175 kg/ha	110,3 ^a	-	-	-	48,0 ^{ab}	-
200 kg/ha	110,0 ^a	-	-	-	52,9 ^a	-
Moyenne ± Ecart-type (n = 4)	98,7 ± 3,5	60,7 ± 2,8	-	63,4 ± 2,8	45,7 ± 2,4	50,6 ± 2,2
Probabilité et signification						
Amendement (A)	0,102 ^{ns}	0,023 [*]	-	0,095 ^{ns}	0,274 ^{ns}	0,907 ^{ns}
Fertilisation (F)	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}	-	0,835 ^{ns}	< 0,001 ^{***}	0,324 ^{ns}
Interaction A * F	0,473 ^{ns}	0,617 ^{ns}	-	0,558 ^{ns}	0,583 ^{ns}	0,679 ^{ns}

FE = fumier brut d'étable (poudrette de bovin) ; PN = phosphate naturel ; NPK = Engrais ternaire (15% N, 15% P₂O₅ et 15% K₂O) ;

ns: différence non significative au seuil de probabilité de 0,05; *, ** and *** = différences significatives au seuil de probabilité de 0,05, 0,01, et 0,001, respectivement.

Dans chaque colonne, valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes selon le Test de LSD au seuil de probabilité de 0,05.

3.3.1.2. Effets de la fumure sur la biomasse aérienne et le rendement grain

Le tableau 47 indique l'évolution de la biomasse aérienne sèche en fonction des niveaux d'amendement et de fertilisation minérale. A Bandafassi, la biomasse est de $2\,713 \pm 762$ kg MS/ha en 2010 et de $3\,691 \pm 643$ kg MS/ha en 2011. A Séfa, elle est de $8\,573 \pm 1\,079$ kg MS/ha en 2010 et de $6\,079 \pm 961$ kg MS/ha en 2011. En 2010 et 2011, elle est de $6\,079 \pm 961$ kg MS/ha et $7\,500 \pm 701$ kg MS/ha à Sinthiou Malème. La biomasse aérienne sèche n'est pas influencée par les amendements et l'apport d'engrais minéral, au niveau des trois sites.

Les moyennes de rendement grain paddy en fonction des apports d'amendements et d'engrais minéraux sont présentées dans le tableau 48. L'analyse de la variance n'a pas mis en évidence des interactions significatives sur le rendement grain. Par contre, l'étude des effets simples de l'amendement et de la fertilisation a montré des réponses variables d'un site à un autre et d'une année à une autre.

A Bandafassi, en 2011, une réponse significative sur le rendement grain a été notée avec les apports d'amendement ($Pr = 0,027$) d'une part et d'autre part avec les apports d'engrais minéral ($Pr = 0,034$). Cependant, le phosphate naturel n'a pas eu d'effet propre ou combiné par rapport au fumier apporté seul. Considérant l'engrais minéral NPK (15-15-15), un gain de rendement en grain de 27% a été noté avec la dose de 50 kg/ha en comparaison aux parcelles témoin non fertilisées. Les rendements grain notés avec les doses d'engrais NPK (15-15-15) de 75 et 100 kg/ha étaient statistiquement équivalents à ceux obtenus dans les parcelles fertilisées à 50 kg/ha.

A Séfa, en 2011, aucun effet significatif n'a été mis en évidence sur le rendement grain avec une moyenne de 508 ± 86 kg ha⁻¹ ni par l'amendement, ni par la fertilisation minérale. Le phosphate naturel n'a pas eu d'effet immédiat ou supplémentaire par rapport au fumier apporté seul ou au témoin absolu.

A Sinthiou Malème, en 2010, seuls les apports de fumier ont engendré un effet bénéfique significatif ($Pr = 0,016$) de 17,3% de rendement grain par rapport au témoin non amendé. Dans ce même site, en 2011, le fumier apporté seul ou associé au phosphate naturel et les engrais minéraux n'ont pas statistiquement influencé le rendement grain.

Tableau 47 : Biomasse aérienne sèche du fonio en fonction de l'amendement et de la fertilisation.

	Biomasse aérienne (kg MS/ha)					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Amendement						
0 tonne/ha de FE	2 481	2 327	-	8 086	5 361	9 290
2 tonnes/ha de FE (A1)	2 944	3 401	-	8 461	6 796	9 723
A1 + 400 kg/ha PN	-	3 131	-	9 171	-	9 112
Fertilisation (NPK : 15-15-15)						
0 kg/ha	2 542	2 454	-	6 818	5 521	8 619
25 kg/ha	2 542	-	-	-	5 833	-
50 kg/ha	2 500	3 310	-	9 509	5 583	9 686
75 kg/ha	3 042	3 003	-	8 924	6 167	9 396
100 kg/ha	2 958	3 047	-	9 041	6 167	9 799
125 kg/ha	2 542	-	-	-	6 521	-
150 kg/ha	2 500	-	-	-	6 063	-
175 kg/ha	2 708	-	-	-	6 188	-
200 kg/ha	3 083	-	-	-	6 667	-
Moyenne ± Ecart-type (n = 4)	2 713 ± 762	3 691 ± 643	-	8 573 ± 1 079	6 079 ± 961	7 500 ± 701
Probabilité et signification						
Amendement (A)	0,090 ^{ns}	0,144 ^{ns}	-	0,816 ^{ns}	0,209 ^{ns}	0,810 ^{ns}
Fertilisation (F)	0,903 ^{ns}	0,133 ^{ns}	-	0,099 ^{ns}	0,737 ^{ns}	0,177 ^{ns}
Interaction A * F	0,661 ^{ns}	0,117 ^{ns}	-	0,925 ^{ns}	0,458 ^{ns}	0,916 ^{ns}

FE = fumier brut d'étable (poudrette de bovin) ; PN = phosphate naturel ; NPK = Engrais ternaire (15% N, 15% P₂O₅ et 15% K₂O) ;

ns: différence non significative au seuil de probabilité de 0,05; *, ** and *** = différences significatives au seuil de probabilité de 0,05, 0,01, et 0,001, respectivement.

Dans chaque colonne, valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes selon le Test de LSD au seuil de probabilité de 0,05.

Tableau 48 : Rendement grain paddy fonio en fonction de l'amendement et de la fertilisation.

	Rendement grain paddy (kg/ha)					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2010	2011	2010 ^m	2011	2010	2011
Amendement						
0 tonne/ha de FE	1 054	493 ^b	-	406	1 044 ^b	1 141
2 tonnes/ha de FE (A1)	1 174	721 ^a	-	568	1 225 ^a	1 201
A1 + 400 kg/ha PN	-	698 ^a	-	551	-	1 154
Fertilisation (NPK : 15-15-15)						
0 kg/ha	967	525 ^b	-	457	1 196	1 161
25 kg/ha	987	-	-	-	1 142	-
50 kg/ha	1 118	664 ^a	-	552	1 132	1 160
75 kg/ha	1 160	680 ^a	-	474	1 093	1 145
100 kg/ha	1 131	680 ^a	-	550	1 067	1 195
125 kg/ha	1 063	-	-	-	1 133	-
150 kg/ha	1 195	-	-	-	1 092	-
175 kg/ha	1 241	-	-	-	1 177	-
200 kg/ha	1 168	-	-	-	1 176	-
Moyenne ± Ecart-type (n = 4)	1 114 ± 200	637 ± 72	-	508 ± 86	1 134 ± 110	1 165 ± 212
Probabilité et signification						
Amendement (A)	0,262 ^{ns}	0,027 [*]	-	0,125 ^{ns}	0,016 [*]	0,961 ^{ns}
Fertilisation (F)	0,560 ^{ns}	0,034 [*]	-	0,531 ^{ns}	0,735 ^{ns}	0,986 ^{ns}
Interaction A * F	0,446 ^{ns}	0,190 ^{ns}	-	0,061 ^{ns}	0,167 ^{ns}	0,853 ^{ns}

FE = fumier brut d'étable (poudre de bovin) ; PN = phosphate naturel ; NPK = Engrais ternaire (15% N, 15% P₂O₅ et 15% K₂O) ;

ns: différence non significative au seuil de probabilité de 0,05; *, ** and *** = différences significatives au seuil de probabilité de 0.05, 0.01, et 0.001, respectivement.

Dans chaque colonne, les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de 0,05.

3.3.2. Reponses du fonio aux fertilisants minéraux

Les densités de plantes étaient sensiblement différentes et variables d'un site à un autre et d'une année à une autre (Erreur ! Source du renvoi introuvable.). Le site de Séfa a enregistré la population de plantes la plus élevée en 2010. Par contre en 2011, la densité la plus importante a été notée dans le site de Sinthiou Malème. Ces variations de densités ont été corrigées lors des analyses statistiques de la biomasse aérienne totale et du rendement grain.

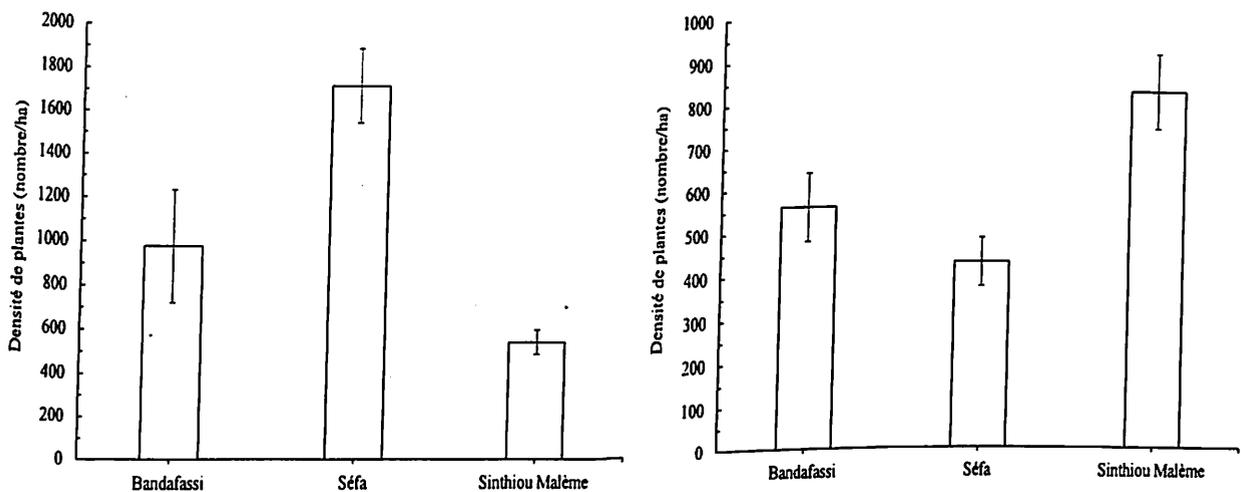


Figure 16 : Densité de plantes de fonio en fonction du site et de l'année

3.3.2.1. Influence de N, P et K sur la croissance des plantes

L'influence des apports d'azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K) sur la taille de plantes est présentée dans le tableau 49 et le tableau 50. Les effets combinés des trois facteurs (N*P*K) n'avaient pas d'influence significative sur la croissance des plantes quelque soit le site pour les deux années. Par contre, l'interaction N*P a eu des effets significatifs ($P = 0,002$) sur la taille des plantes âgées de 30 jours dans le site de Bandafassi en 2011. Les plantes les plus hautes ont été notées dans les parcelles fertilisées avec 23 kg de N par hectare + 9 kg de P_2O_5 par ha et dans celles ayant reçu 46 kg de N par ha + 9 kg de P_2O_5 par ha et dans celles ayant reçu 46 kg de N par ha + 9 kg de P_2O_5 par ha et dans celles ayant reçu 46 kg de N par ha + 9 kg de P_2O_5 par ha. Considérant les effets directs des fertilisants, seuls les apports croissants d'azote se sont traduits par une croissance significative des plantes, excepté en 2011 dans les sites de Séfa et de Sinthiou Malème. Les plantes ont statistiquement la même taille lorsque les parcelles ont été fertilisées avec 23 ou 46 kg de N par ha. Le phosphore ou le potassium n'ont pas généralement influencé la croissance des plantes aussi bien en 2011 qu'en 2012 dans les trois sites.

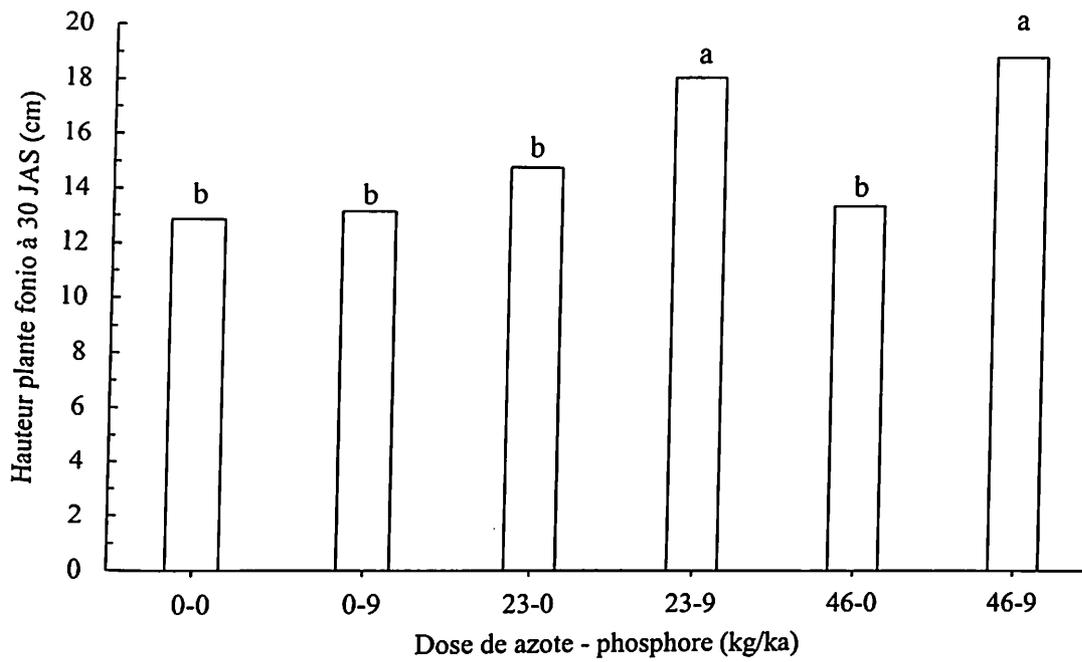


Figure 17 : Taille des plantes âgées de 30 en fonction de l'interaction N * P en Séfa en 2011.
Les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes (Test de DMR à 5%).

Tableau 49 : Hauteur plante de fonio à 30 JAS en fonction de la dose de N, P et K.

	Hauteur plante (cm) à 30 JAS					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2011	2012	2011	2012	2011 ^{nm}	2012
Azote (kg N/ha)						
0	13,0 ^b	13,8 ^c	33,0	12,3 ^c		23,6 ^c
23	16,5 ^a	17,4 ^b	33,9	23,0 ^b		29,2 ^b
46	16,0 ^a	20,0 ^a	36,0	26,8 ^a		32,0 ^a
Phosphore (kg P₂O₅/ha)						
0	13,7 ^b	16,4 ^b	34,3	20,6		28,0
9 (18)	16,7 ^a	17,7 ^a	34,3	20,8		28,6
Potassium (kg K₂O/ha)						
0	15,0	16,3 ^b	35,1	19,6 ^b		28,9 ^a
15 (30)	15,4	17,8 ^a	33,5	21,7 ^a		27,7 ^b
Moyenne ± Ecart-type (n = 5)	15,2 ± 1,0	17,0 ± 0,9	34,3 ± 1,9	20,7 ± 1,0		28,3 ± 1,0
Probabilité et signification						
N	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}	0,085 ^{ns}	< 0,001 ^{***}		< 0,001 ^{***}
P	< 0,001 ^{***}	0,017 [*]	0,995 ^{ns}	0,791 ^{ns}		0,287 [*]
K	0,498 ^{ns}	0,010 [*]	0,138 ^{ns}	< 0,001 ^{***}		0,028 [*]
N * P	0,002 ^{**}	0,371 ^{ns}	0,686 ^{ns}	0,617 ^{ns}		0,187 ^{ns}
N * K	0,172 ^{ns}	0,357 ^{ns}	0,994 ^{ns}	0,238 ^{ns}		0,760 ^{ns}
P * K	0,577 ^{ns}	0,199 ^{ns}	0,420 ^{ns}	0,911 ^{ns}		0,751 ^{ns}
N * P * K	0,715 ^{ns}	0,774 ^{ns}	0,586 ^{ns}	0,847 ^{ns}		0,127 ^{ns}

nm (non mesuré), N (azote), P (phosphore) et K (potassium) ; ns: différences non significatives au seuil 5%; *, ** et *** = différences significatives au seuil de probabilité de 5%, 1% et 0,1%, respectivement. Dans chaque colonne, et par facteur, les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes à 5%.

Tableau 50 : Hauteur plante de fonio à 60 JAS en fonction de la dose et source de fertilisant minéral.

	Hauteur plante (cm) à 60 JAS					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Azote (kg N/ha)						
0	61,5 ^b	50,1 ^b	63,5 ^b	50,1 ^c	50,5	64,1 ^b
23	68,5 ^a	55,2 ^a	70,9 ^a	55,1 ^b	51,7	66,4 ^a
46	71,6 ^a	56,8 ^a	72,9 ^a	57,1 ^a	53,1	66,6 ^a
Phosphore (kg P₂O₅/ha)						
0	65,5 ^b	53,3	70,0	54,0	51,6	65,8
9 (18)	68,9 ^a	54,8	68,1	54,2	52,0	65,5
Potassium (kg K₂O/ha)						
0	66,1	53,6	68,0	54,1	51,4	65,2
15 (30)	68,2	54,5	70,1	54,1	52,2	66,2
Moyenne ± Ecart-type (n = 5)	67,2 ± 2,7	54,1 ± 1,7	69,1 ± 2,4	54,1 ± 1,1	51,8 ± 1,8	65,7 ± 1,5
Probabilité et signification						
N	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}	< 0,001 ^{***}	0,139 ^{ns}	0,039 [*]
P	0,042 [*]	0,133 ^{ns}	0,192 ^{ns}	0,756 ^{ns}	0,679 ^{ns}	0,702 ^{ns}
K	0,194 ^{ns}	0,358 ^{ns}	0,139 ^{ns}	0,904 ^{ns}	0,451 ^{ns}	0,224 ^{ns}
N * P	0,535 ^{ns}	0,555 ^{ns}	0,486 ^{ns}	0,779 ^{ns}	0,135 ^{ns}	0,618 ^{ns}
N * K	0,743 ^{ns}	0,328 ^{ns}	0,420 ^{ns}	0,613 ^{ns}	0,906 ^{ns}	0,910 ^{ns}
P * K	0,656 ^{ns}	0,116 ^{ns}	0,470 ^{ns}	0,912 ^{ns}	0,661 ^{ns}	0,391 ^{ns}
N * P * K	0,420 ^{ns}	0,923 ^{ns}	0,587 ^{ns}	0,328 ^{ns}	0,953 ^{ns}	0,865 ^{ns}

N (azote), P (phosphore) et K (potassium) ; ns: différences non significatives au seuil 5%; *, ** et *** = différences significatives au seuil de probabilité de 5%, 1% et 0,1%, respectivement. Dans chaque colonne, et par facteur, les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes à 5%.

3.3.2.2. Influence de N, P et K sur le tallage et la production de panicules

Les productions de talles et de panicules sont présentées respectivement dans le tableau 51 et le tableau 52. Le nombre de talles par plante variait entre 3 et 5 alors que le nombre de panicules par plante était entre 2 et 4 indépendamment du site et de l'année. Cependant, en 2012, le tallage a été significativement plus développé dans les parcelles non fertilisées ni en azote et ni en phosphore dans le site de Bandafassi (Figure 18).

Par contre, la production de panicules par plante a été nettement plus élevée dans les parcelles ayant reçu 23 kg N/ha et 9 kg de P₂O₅/ha ou celles fertilisées seulement avec 46 kg N/ha, en 2011 à Sinthiou Malème (Figure 19). L'augmentation de l'azote a significativement amélioré le nombre de panicules par plante en 2011 à Séfa (Tableau 52).

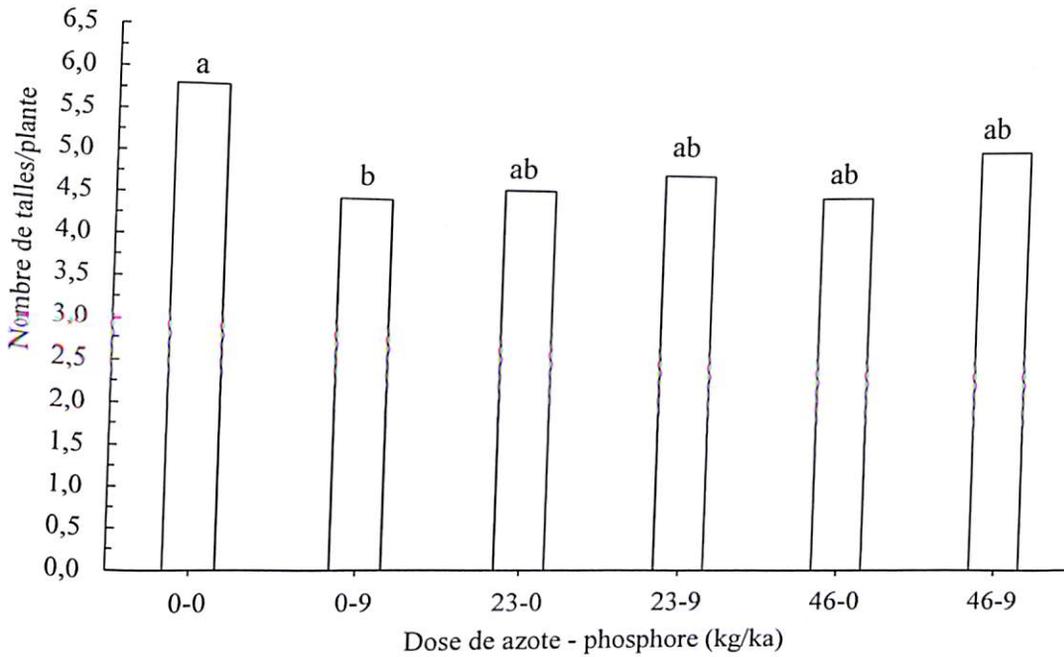


Figure 18 : Nombre de talles/plante en fonction de l'interaction N * P à Bandafassi en 2012
 Les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes (Test LSD à 5%).

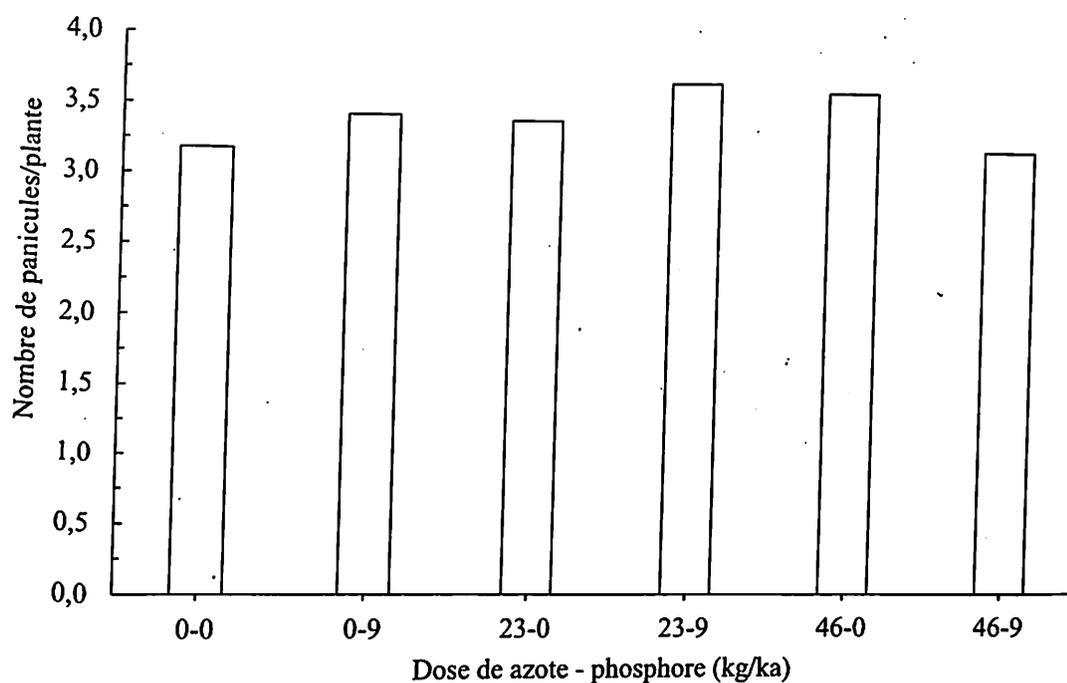


Figure 19 : Nombre de panicules/plante en fonction de l'interaction N * P à Sinthiou en 2011
Les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes (Test LSD à 5%)

Tableau 51 : Production de talles de fonio en fonction de la dose de N, P et K.

	Nombre de talles/plante					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Azote (kg N/ha)						
0	3,1	5,1	3,7	4,5	4,2	2,9
23	3,1	4,7	3,7	4,3	4,2	3,0
46	3,0	4,9	4,1	4,6	4,3	3,0
Phosphore (kg P₂O₅/ha)						
0	3,2	5,0	3,8	4,4	4,3	3,0
9 (18)	3,0	4,8	3,7	4,5	4,1	3,0
Potassium (kg K₂O/ha)						
0	3,2	4,9	3,8	4,6	4,2	3,1
15 (30)	3,0	5,0	3,9	4,3	4,2	2,9
Moyenne ± Ecart-type (n = 5)	3,1 ± 0,6	4,9 ± 0,6	3,8 ± 1,2	4,4 ± 0,4	4,2 ± 0,6	3,0 ± 0,2
Probabilité et signification						
N	0,956 ^{ns}	0,573 ^{ns}	0,945 ^{ns}	0,466 ^{ns}	0,966 ^{ns}	0,565 ^{ns}
P	0,571 ^{ns}	0,561 ^{ns}	0,545 ^{ns}	0,375 ^{ns}	0,678 ^{ns}	0,803 ^{ns}
K	0,571 ^{ns}	0,819 ^{ns}	0,558 ^{ns}	0,194 ^{ns}	0,916 ^{ns}	0,076 ^{ns}
N * P	0,397 ^{ns}	0,046 [*]	0,392 ^{ns}	0,477 ^{ns}	0,861 ^{ns}	0,701 ^{ns}
N * K	0,378 ^{ns}	0,374 ^{ns}	0,881 ^{ns}	0,829 ^{ns}	0,265 ^{ns}	0,788 ^{ns}
P * K	0,451 ^{ns}	0,201 ^{ns}	0,350 ^{ns}	0,910 ^{ns}	0,642 ^{ns}	0,456 ^{ns}
N * P * K	0,701 ^{ns}	0,528 ^{ns}	0,604 ^{ns}	0,533 ^{ns}	0,970 ^{ns}	0,921 ^{ns}

N (azote), P (phosphore) et K (potassium) ; ns: différences non significatives au seuil 5%; *, ** et *** = différences significatives au seuil de probabilité de 5%, 1% et 0,1%, respectivement. Dans chaque colonne, et par facteur, les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes à 5%.

Tableau 52 : Production de panicules de fonio en fonction de la dose de N, P et K.

	Nombre de panicules/plante					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Azote (kg N/ha)						
0	2,6	4,4	2,8 ^b	3,4	3,3	2,5
23	2,7	4,1	2,9 ^b	3,3	3,5	2,5
46	2,4	4,2	3,1 ^a	3,5	3,4	2,6
Phosphore (kg P₂O₅/ha)						
0	2,7	4,3	2,9	3,3	3,4	2,5
9 (18)	2,4	4,2	2,9	3,5	3,4	2,5
Potassium (kg K₂O/ha)						
0	2,7	4,2	2,9	3,5	4,2	2,6
15 (30)	2,4	4,3	3,0	3,3	4,2	2,5
Moyenne ± Ecart-type (n = 5)	2,5± 0,4	4,2± 0,5	2,9± 0,1	3,4 ± 0,3	3,4± 0,1	2,5± 0,2
Probabilité et signification						
N	0,600 ^{ns}	0,583 ^{ns}	0,008 ^{**}	0,816 ^{ns}	0,053 ^{ns}	0,886 ^{ns}
P	0,183 ^{ns}	0,815 ^{ns}	0,703 ^{ns}	0,198 ^{ns}	0,692 ^{ns}	0,734 ^{ns}
K	0,135 ^{ns}	0,907 ^{ns}	0,256 ^{ns}	0,148 ^{ns}	0,194 ^{ns}	0,343 ^{ns}
N * P	0,356 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,640 ^{ns}	0,649 ^{ns}	< 0,001 ^{***}	0,271 ^{ns}
N * K	0,353 ^{ns}	0,186 ^{ns}	0,269 ^{ns}	0,959 ^{ns}	0,171 ^{ns}	0,856 ^{ns}
P * K	0,695 ^{ns}	0,236 ^{ns}	0,186 ^{ns}	0,635 ^{ns}	0,717 ^{ns}	0,946 ^{ns}
N * P * K	0,751 ^{ns}	0,393 ^{ns}	0,544 ^{ns}	0,705 ^{ns}	0,552 ^{ns}	0,605 ^{ns}

N (azote), P (phosphore) et K (potassium) ; ns: différences non significatives au seuil 5%; *, ** et *** = différences significatives au seuil de probabilité de 5%, 1% et 0,1%, respectivement. Dans chaque colonne, et par facteur, les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes à 5%.

Tableau 53 : Effet de l'azote, du phosphore et du potassium sur la biomasse aérienne du fonio.

Source de variation	Biomasse aérienne (kg MS/ha)					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Dose d'azote (kg N/ha)						
0	2 042 ^b	2 441 ^c	5 578 ^c	3 299 ^c	9 231	8 918
23	3 039 ^a	3 200 ^b	8 310 ^b	5 059 ^b	9 328	9 593
46	3 231 ^a	3 749 ^a	10 987 ^a	5 967 ^a	10 401	9 619
Dose de phosphore (kg P₂O₅/ha)						
0	2 664	2 919 ^b	8 507	4 888	9 646	9 370
9 (18)	2 878	3 342 ^a	8 077	4 662	9 661	9 383
Dose de potassium (kg K₂O/ha)						
0	2 718	3 059	8 070	4 626	9 411	9 488
15 (30)	2 824	3 201	8 514	4 924	9 896	9 265
Moyenne ± Ecart-type (n=5)	2 771 ± 618	3 130 ± 265	8292 ± 1 044	4 775 ± 371	9 653 ± 1 065	9 377 ± 469
Probabilité et signification						
N	0,016 [*]	<0,001 ^{***}	<0,001 ^{***}	<0,001 ^{***}	0,216 ^{ns}	0,081 ^{ns}
P	0,535 ^{ns}	0,009 ^{**}	0,465 ^{ns}	0,321 ^{ns}	0,991 ^{ns}	0,976 ^{ns}
K	0,819 ^{ns}	0,311 ^{ns}	0,473 ^{ns}	0,168 ^{ns}	0,445 ^{ns}	0,597 ^{ns}
N * P	0,878 ^{ns}	0,401 ^{ns}	0,174 ^{ns}	0,966 ^{ns}	0,919 ^{ns}	0,733 ^{ns}
N * K	0,590 ^{ns}	0,839 ^{ns}	0,719 ^{ns}	0,810 ^{ns}	0,781 ^{ns}	0,380 ^{ns}
P * K	0,312 ^{ns}	0,764 ^{ns}	0,615 ^{ns}	0,514 ^{ns}	0,605 ^{ns}	0,394 ^{ns}
N * P * K	0,607 ^{ns}	0,738 ^{ns}	0,668 ^{ns}	0,902 ^{ns}	0,430 ^{ns}	0,069 ^{ns}

Les moyennes ont été corrigées avec le nombre de plante par mètre carré. N (azote), P (phosphore) et K (potassium) ; ns: différences non significatives au seuil 5%; *, ** et *** = différences significatives au seuil de probabilité de 5%, 1% et 0,1%, respectivement. Dans chaque colonne, et par facteur, les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes à 5%.

3.3.2.4. Influence de N, P et K sur le rendement et ses composantes

Aucune interaction significative entre les facteurs étudiés n'a été mise en évidence sur le rendement grain paddy dans les trois sites en 2011 et 2012 (Tableau 54). Par contre, la fertilisation azotée, prise individuellement, a positivement influencé les rendements grain paddy de 19% à Séfa et de 20% à Bandafassi en 2012 en comparaison aux parcelles non fertilisées en azote. Cependant dans ces deux sites, l'augmentation des apports d'azote à 46 kg/ha ne s'est pas traduite par un surplus significatif par rapport à la dose de 13 kg d'azote par ha. Les rendements grain paddy n'ont pas été affectés par la fertilisation potassique dans aucun des trois sites quelle que soit l'année. Par contre, les parcelles ayant reçu 18 kg de P_2O_5 par ha ont une augmentation de 10% sur le rendement grain paddy en comparaison aux témoins non fertilisés en phosphore en 2012 à Bandafassi.

Les effets de la fertilisation azotée, phosphorée et potassique sur le poids des grains sont présentés dans le tableau 55. Le calibre des grains était similaire dans les trois sites : le poids de mille grains paddy est de $0,561 \pm 0,029$ g à Bandafassi, $0,569 \pm 0,024$ g à Séfa et $0,567 \pm 0,023$ g à Sinthiou Malème. Cependant en 2011 à Séfa, l'interaction positive entre l'azote et le phosphore a montré que les plus gros grains paddy ont été notés dans les parcelles fertilisées seulement en azote à 23 kg/ha ou celles fertilisées en azote et en phosphore aux doses respectives de 46 et 9 kg/ha alors que les grains les plus petits ont été notés dans les parcelles ayant seulement reçu 46 kg d'azote par ha (Figure 20). De même, le poids de 1 000 grains paddy le plus élevé a été obtenu dans les parcelles fertilisées seulement avec 15 kg de K_2O par hectare ou avec 9 kg de P_2O_5 par ha (Figure 21).

L'influence des apports d'azote, de phosphore et de potassium sur le poids de la panicule de fonio est indiquée dans le tableau 56. Globalement, les panicules sont mieux développées à Sinthiou Malème (221 ± 11 mg/panicule) et moins grosses à Bandafassi (155 ± 12 mg/panicule). L'analyse des données a montré que les interactions N*P*K et P*K ont été significatives sur le poids des panicules à Sinthou Malème en 2012 tandis que la fertilisation azotée a une influence significative ($Pr = 0,010$) sur le poids de 1000 grains paddy en 2012 à Séfa. Le poids des panicules n'augmente avec ou sans apport d'azote que dans les parcelles témoin non fertilisées en phosphore et en potassium ou dans celles fertilisées avec 18 kg de P_2O_5 par ha et 30 kg de K_2O par ha (Figure 22 et Figure 23).

Tableau 54 : Effet de l'azote, du phosphore et du potassium sur le rendement grain paddy fonio.

Source de variation	Rendement grain paddy (kg/ha)					
	Bandafassi		Séfa		Sinthiou Malème	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Dose d'azote (kg N/ha)						
0	393	485 ^b	510	585 ^b	944	984
23	466	584 ^a	623	696 ^a	939	1 011
46	482	593 ^a	706	596 ^b	897	983
Dose de phosphore (kg P₂O₅/ha)						
0	419	527 ^b	612	654	916	986
9 (18)	474	581 ^a	606	598	938	999
Dose de potassium (kg K₂O/ha)						
0	448	562	597	620	891	979
15 (30)	445	546	630	632	962	1 006
Moyenne ± Ecart-type (n=5)	447 ± 90	554 ± 46	613 ± 115	626 ± 43	927 ± 135	993 ± 88
Probabilité et signification						
N	0,326 ^{ns}	0,003 ^{**}	0,110 ^{ns}	0,031 [*]	0,870 ^{ns}	0,897 ^{ns}
P	0,280 ^{ns}	0,046 [*]	0,809 ^{ns}	0,126 ^{ns}	0,807 ^{ns}	0,772 ^{ns}
K	0,939 ^{ns}	0,501 ^{ns}	0,622 ^{ns}	0,730 ^{ns}	0,380 ^{ns}	0,851 ^{ns}
N * P	0,745 ^{ns}	0,581 ^{ns}	0,437 ^{ns}	0,640 ^{ns}	0,208 ^{ns}	0,255 ^{ns}
N * K	0,203 ^{ns}	0,078 ^{ns}	0,563 ^{ns}	0,418 ^{ns}	0,264 ^{ns}	0,645 ^{ns}
P * K	0,614 ^{ns}	0,349 ^{ns}	0,922 ^{ns}	0,656 ^{ns}	0,295 ^{ns}	0,279 ^{ns}
N * P * K	0,809 ^{ns}	0,904 ^{ns}	0,366 ^{ns}	0,067 ^{ns}	0,518 ^{ns}	0,747 ^{ns}

Les moyennes ont été corrigées avec le nombre de plante par mètre carré. N (azote), P (phosphore) et K (potassium) ; ns: différences non significatives au seuil 5%; *, ** et *** = différences significatives au seuil de probabilité de 5%, 1% et 0,1%, respectivement. Dans chaque colonne, et par facteur, les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes à 5%.

Tableau 55 : Poids 1000 grains de fonio selon l'apport de N, P et K en 2011.

	Poids 1000 grains (gramme)		
	Bandafassi	Séfa	Sinthiou Malème
Azote (kg N/ha)			
0	0,575	0,575	0,583
23	0,542	0,575	0,567
46	0,567	0,558	0,550
Phosphore (kg P₂O₅/ha)			
0	0,550	0,561	0,567
9	0,572	0,578	0,567
Potassium (kg K₂O/ha)			
0	0,567	0,567	0,567
15	0,556	0,572	0,567
Moyenne ± Ecart-type (n =5)	0,561 ± 0,029	0,569 ± 0,024	0,567 ± 0,023
Probabilité et signification			
N	0,264 ^{ns}	0,533 ^{ns}	0,147 ^{ns}
P	0,200 ^{ns}	0,240 ^{ns}	1,000 ^{ns}
K	0,516 ^{ns}	0,691 ^{ns}	1,000 ^{ns}
N * P	0,897 ^{ns}	0,003 ^{**}	1,000 ^{ns}
N * K	0,478 ^{ns}	0,533 ^{ns}	0,147 ^{ns}
P * K	0,200 ^{ns}	0,240 ^{ns}	0,003 ^{**}
N * P * K	0,478 ^{ns}	1,000 ^{ns}	0,083 ^{ns}

N (azote), P (phosphore) et K (potassium) ; ns: différences non significatives au seuil 5%; *, ** et *** = différences significatives au seuil de probabilité de 5%, 1% et 0,1%, respectivement.

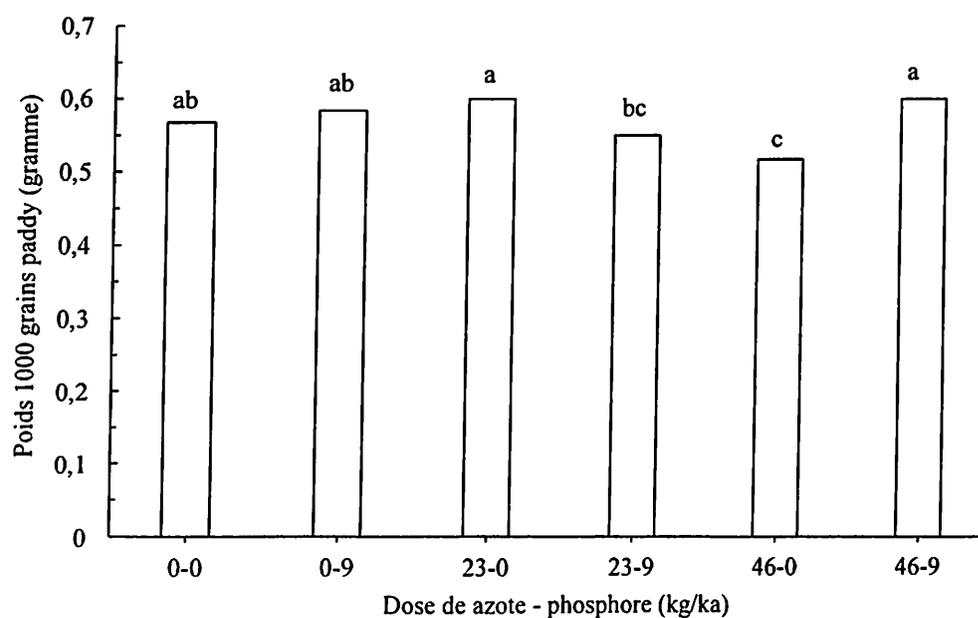


Figure 20 : Poids grains de fonio en fonction de l'interaction N * P en Séfa en 2011.

Les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes (Test de DMR à 5%).

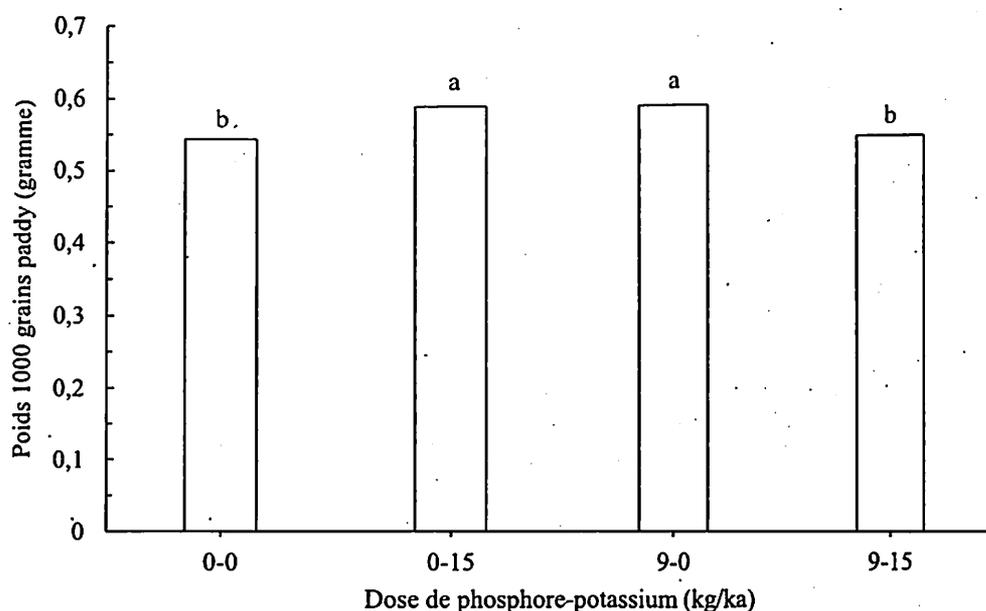


Figure 21 : Poids grains de fonio en fonction de l'interaction P * K en Sinthiou en 2011. Les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes (Test de DMRA 5%).

Tableau 56 : Poids panicule de fonio selon l'apport d'azote, de phosphore et de potassium en 2012.

	Poids moyen paniculaire (mg)		
	Bandafassi	Séfa	Sinthiou Malème
Azote (kg N/ha)			
0	179	146 ^b	218
23	173	149 ^b	223
46	190	170 ^a	223
Phosphore (kg P₂O₅/ha)			
0	184	153	218
18	177	156	225
Potassium (kg K₂O/ha)			
0	176	157	224
30	185	153	219
Moyenne ± Ecart-type (n =5)	181 ± 14	155 ± 12	221 ± 11
Probabilité et signification			
N	0,260 ^{ns}	0,010 [*]	0,762 ^{ns}
P	0,443 ^{ns}	0,657 ^{ns}	0,302 ^{ns}
K	0,244 ^{ns}	0,588 ^{ns}	0,468 ^{ns}
N * P	0,860 ^{ns}	0,129 ^{ns}	0,245 ^{ns}
N * K	0,233 ^{ns}	0,220 ^{ns}	0,429 ^{ns}
P * K	0,840 ^{ns}	0,522 ^{ns}	0,012 [*]
N * P * K	0,160 ^{ns}	0,469 ^{ns}	0,006 ^{**}

N (azote), P (phosphore) et K (potassium) ; ns: différences non significatives au seuil 5%; *, ** et *** = différences significatives au seuil de probabilité de 5%, 1% et 0,1%, respectivement. Dans chaque colonne, et par facteur, les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes à 5%.

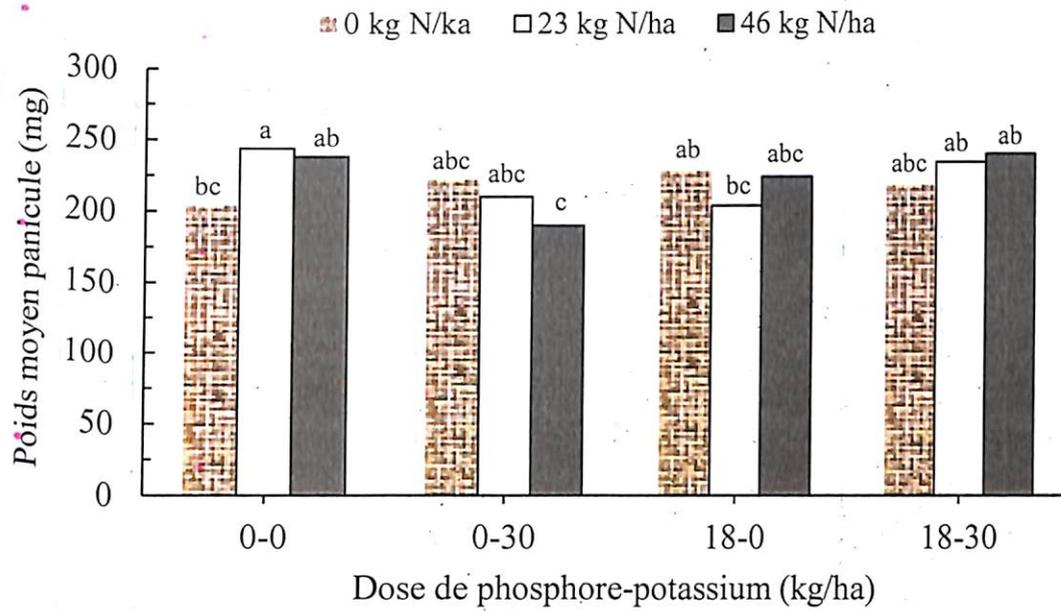


Figure 22 : Poids panicule de fonio en fonction de l'interaction N * P * P à Sinthiou Malème en 2012. Les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes (Test de DMR à 5%).

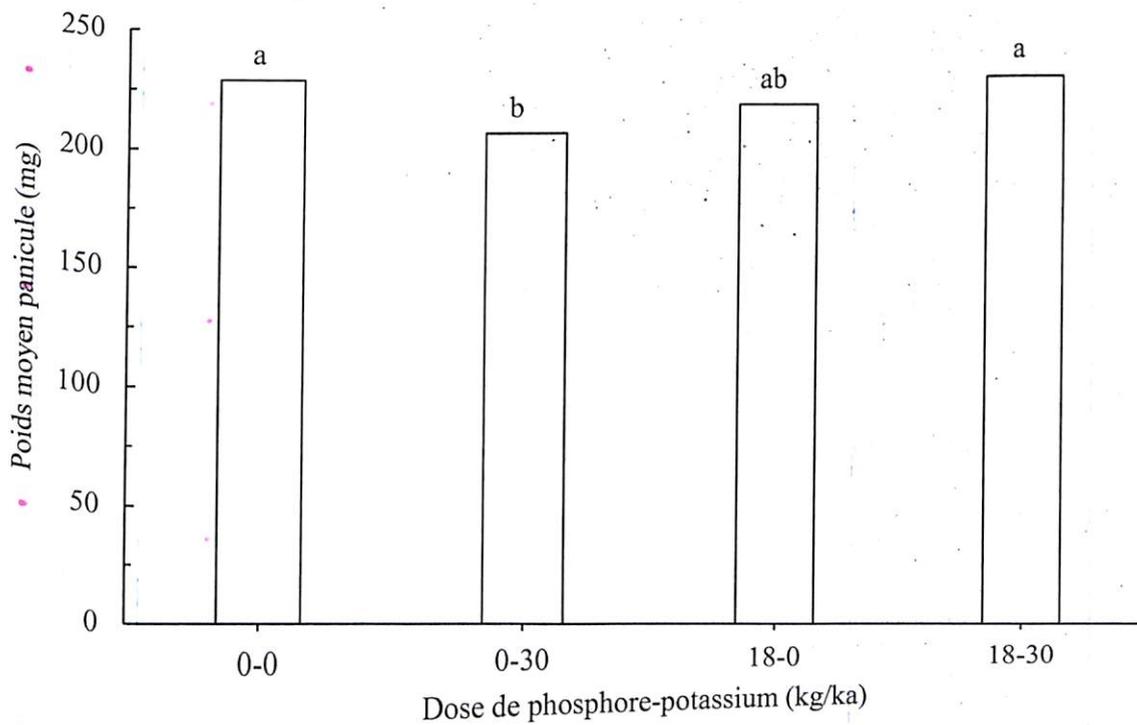


Figure 23 : Poids panicule de fonio en fonction de l'interaction P * K à Sinthiou en 2012. Les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes (Test de LSD à 5%).

Les résultats pluri-annuels et multi-sites ont montré que le fonio est une céréale qui valorise faiblement l'amendement et la fertilisation. L'apport combiné fumier d'étable-phosphate naturel ne se traduit pas par un effet positif comparé à un amendement avec du fumier d'étable seul à la même dose. En outre, l'utilisation de quantité modérée d'engrais NPK (15-15-15) à la dose de 50 kg/ka permet d'augmenter le rendement en grain par rapport au témoin sans apport de fumure. Par contre, les doses élevées d'engrais minéral, au delà de 100 kg/ha, n'ont pas enregistré des gains statistiquement supérieurs à ceux obtenus avec un apport de 50 kg d'engrais NPK par ha pour les recommander aux producteurs de fonio.

L'étude des réponses du fonio aux apports de différentes sources et doses de fertilisants simples a mis en évidence une réaction positive par rapport aux apports azotés. Par contre, les apports en P et K n'ont généralement pas amélioré la croissance et le rendement grain de fonio dans aucun des trois sites.

3.4. Etude de la période de récolte

3.4.1. Effets de la période de récolte sur la biomasse aérienne

Le tableau 57 indique les effets de la période de récolte (nombre de jours après semis) sur la biomasse aérienne totale. En 2010, la date de récolte n'a pas affecté la production de paille. Par contre, en 2011, le rendement de biomasse aérienne est fonction de la date de récolte ($P < 0,001$). Les récoltes avant la maturité des plantes occasionnent une réduction significative de la production de paille tandis que le maximum de paille sèche est obtenu au fur et à mesure que les récoltes sont tardives. Cependant, l'augmentation de la biomasse n'est plus significative au delà de 97-111 jours après semis soit 1-2 semaines après la maturité physiologique.

3.4.2. Effets de la période de récolte sur le rendement grain et le calibre des grains

Les rendements grain paddy dependent également de la période à laquelle les récoltes sont effectuées aussi bien en 2010 qu'en 2011 (Tableau 57). Les rendements grain paddy les plus élevés sont notés lorsque les récoltes ont eu lieu à 90 et 90-97 jours après semis respectivement en 2010 et 2011. Les récoltes précoces et celles très tardives se sont traduites par une réduction de rendement grain paddy de 12% et 48% en 2010 et de 41% et 32% en 2011, respectivement. L'évolution du poids de 1000 grains paddy en fonction de la période de semis est indiquée dans le tableau 57. Le poids de 1 000 grains est de $0,66 \pm 0,01$ g indépendamment de la date de récolte. Par contre, en 2011, le calibre des grains est significativement influencé par la période de récolte. Les plus faibles poids de 1 000 grains sont notés dans les parcelles récoltées à 76 ($0,43 \pm 0,03$ g) et à 132 jours après semis ($0,50 \pm 0,00$ g).

La synthèse des résultats de 2010 et 2011 permet de conclure que la période de récolte du fonio induit des effets significatifs sur la biomasse et la production de grains paddy. Les rendements en grain les plus élevés sont enregistrés lorsque la récolte est effectuée dans les 15 jours après maturité physiologique des plantes. A cette période, les pertes par égrenage sont significativement réduites. Cette période de fauche permet également d'obtenir sensiblement le maximum de pailles. Des investigations futures pourraient élucider davantage les effets de la période récolte sur la qualité du fourrage et le taux de germination des grains.

Tableau 57 : Effet de la période de récolte sur la biomasse aérienne et la production de grains de fonio.

Date de récolte (jour après semis)	Biomasse aérienne total (kg MS ha ⁻¹)		Rendement grain (kg ha ⁻¹)		Poids de 1000 grains (g)	
	Bandafassi	Sinthiou Maleme	Bandafassi	Sinthiou Maleme	Bandafassi	Sinthiou Maleme
76	-	3100 ± 208 ^b	nt	262 ± 42 ^b	nt	0,43 ± 0,03 ^c
83	3185 ± 159	5400 ± 1013 ^{ab}	950 ± 79 ^{ab}	739 ± 133 ^{ab}	0,67 ± 0,01	0,60 ± 0,00 ^a
90	3445 ± 220	5300 ± 625 ^{ab}	1080 ± 89 ^a	1042 ± 144 ^a	0,66 ± 0,02	0,53 ± 0,03 ^{ab}
97	3412 ± 442	6350 ± 386 ^a	955 ± 101 ^{ab}	1025 ± 62 ^a	0,67 ± 0,01	0,60 ± 0,00 ^a
104	3380 ± 264	5600 ± 627 ^{ab}	707 ± 115 ^{bc}	974 ± 148 ^a	0,65 ± 0,01	0,60 ± 0,00 ^a
111	3185 ± 298	6650 ± 574 ^a	614 ± 46 ^c	811 ± 120 ^{ab}	0,66 ± 0,01	0,53 ± 0,03 ^{ab}
118	2640 ± 200	7500 ± 466 ^a	508 ± 19 ^c	862 ± 62 ^a	0,66 ± 0,02	0,60 ± 0,00 ^a
125	-	7300 ± 444 ^a	nt	929 ± 134 ^a	nt	0,60 ± 0,00 ^a
132	-	7000 ± 529 ^a	nt	809 ± 183 ^{ab}	nt	0,50 ± 0,00 ^{bc}
Moyenne ± Ecart-type	3208 ± 256	6022 ± 569	802 ± 66	828 ± 121	0,66 ± 0,01	0,56 ± 0,02
Pr et signification	0,275 ^{ns}	<0,001 ^{***}	<0,001 ^{***}	0,005 ^{**}	0,912 ^{ns}	<0,001 ^{***}
LSD (5%)	755	1662	195	352	0,04	0,06

MS (matière sèche), Dans chaque colonne, les valeurs représentent la moyenne et l'écart-type (n=4 en 2010 et 5 en 2011). Dans chaque colonne, les valeurs ayant des lettres identiques ne sont pas statistiquement différentes à 5% ; nt (modalité de date de récolte non testée en 2010); ns: différences non significatives au seuil 5%; *, ** et *** = différences significatives au seuil de probabilité de 5%, 1% et 0,1%, respectivement.

CHAPITRE IV : DISCUSSION GENERALE

4.1. Etude des pratiques et des contraintes culturelles en milieu réel

Les enquêtes agricoles auprès des producteurs et le suivi des champs de fonio ont montré une diversité de pratiques culturelles traditionnelles dans la zone d'étude. Les petites superficies allouées à la culture du fonio confirment le caractère marginal ou localisé de cette céréale tant au niveau national que sous régional (Lo, 2003 ; Vodouhe *et al.*, 2003 ; Fall et Lo, 2009 ; Paraïso *et al.*, 2011). Ces petits champs de fonio sont aussi retrouvés dans plusieurs autres pays (Vietmeyer *et al.*, 1996 ; Vodouhé *et al.*, 2003 ; Dansi *et al.*, 2010 ; Paraïso *et al.*, 2011). La taille des parcelles de fonio dans l'assolement témoigne en effet de la place de cette céréale dans le système de culture selon Vall *et al.* (2011). Notre étude confirme ces résultats car c'est dans les grandes zones de production (Moyenne Casamance et Sud du Sénégal Oriental) où le fonio occupe 22-26% des superficies totales cultivées.

Une étude de la chaîne de valeurs du fonio a montré une baisse des emblavements en fonio dans les zones de production au Sénégal (Gueye, 2008). Cette situation peut s'expliquer par entre autres par l'absence de référentiels techniques cultureux, la pénibilité des opérations post récoltes et l'enclavement des zones de production par rapport aux circuits de commercialisation.

La plupart des semences utilisées sont d'origine paysanne mais peuvent parfois être acquises dans les marchés inter villageois. Ce système local de conservation ou d'approvisionnement de semences est dû à la forte connotation ethnico-culturelle de cette céréale d'une part (Adoukonou-Sagbadja *et al.*, 2006 ; Dansi *et al.*, 2010) et d'autre part à l'absence de variétés améliorées (Fall *et al.*, 2005 ; MAER, 2012). Ce système d'échange de semences d'un paysan à un autre ou d'une localité à une autre pourrait expliquer la grande diversité morpho phénotypique notée au sein des écotypes de fonio dans tous les pays producteurs de cette céréale (Vodouhe *et al.*, 2005 ; Adoukonou-Sagbadja *et al.*, 2007b ; Kwon-Ndung and Dachi, 2007 ; Dansi *et al.*, 2010 ; Idi Saisou *et al.*, 2014).

Les entretiens avec les producteurs font ressortir trois types de cultivars dans la zone d'étude. Cependant, leur préférence pour les cultivars précoces et intermédiaires est fortement expliquée par la réduction de la période des pluies utiles durant l'hivernage (Diédhiou, 2008 ; Dansi *et al.*, 2010 ; Vall *et al.*, 2011). En effet, le confinement ou la disparition progressive des écotypes tardifs de fonio sont en étroite relation avec la régression progressive de la pluviométrie car ces derniers ne parviennent pas à boucler leur cycle cultural dans les zones de production du pays, en particulier en Haute Casamance et au Nord Sénégal Oriental. Ce comportement paysan est confirmé par Idi Saisou *et al.* (2014) qui ont rapporté la faible productivité des cultivars tardifs de fonio au Niger. Ces faibles rendements rapportés lors des entretiens avec les paysans sont fortement liés aux attaques d'insectes piqueurs suceurs tels que les cantharides qui apparaissent en fin de saison des pluies (Kanfany, 2008 ; Camara, 2011).

Le suivi des pratiques locales dans les parcelles paysannes a montré que l'épandage de matière organique d'origine animale et d'engrais minéraux est presque inexistant dans les champs alloués au fonio. Selon la perception locale, les producteurs de fonio affirment que l'amendement et/ou la fertilisation des parcelles de fonio ne favorisent qu'un développement végétatif aérien au détriment de la production de grains. L'absence d'amendement et de fertilisation s'expliquerait certainement par le choix de l'arachide comme précédent ou l'utilisation de nouvelle défriche pour la culture de fonio. En effet, il a été montré l'importance agronomique des légumineuses comme précédent cultural des céréales (Piéri, 1989 ; Ngoran & Kanga, 2000 ; Cattan *et al.*, 2001). Par exemple, Bationo & Ntare (2000) ont démontré que la rotation légumineuse/mil avec un apport de 30 kg/ha d'urée permet l'obtention de bons rendements en grain chez le mil pennicilaire.

Dans la zone étudiée, les rotations culturales sont essentiellement de type biennal avec une succession arachide-fonio, une réduction ou une absence de la jachère dans un contexte des systèmes de culture à faible utilisation de facteurs de production (Ndiaye & Boulet, 2003). De tels systèmes de production ont été décrits par plusieurs auteurs et ont pour conséquence un abandon progressif des terres devenues incultes même pour des cultures autrefois très adaptées (Milleville *et al.*, 2000). Cependant, il faut noter la rareté ou la disparition des jachères dans les systèmes de culture sous pluies (Nkamleu *et al.*, 2003) avec la forte pression anthropique et les besoins alimentaires de plus en plus importants.

Le suivi des adventices a montré une diversité floristique dans les champs de fonio dans toute la zone d'étude. En outre, les affinités bio-géographiques et les types biologiques des espèces d'adventices du fonio sont très similaires à celles du maïs dans le sud du bassin arachidier selon les travaux de Bassène (2014). Cependant, la dominance des espèces annuelles ou à cycle court confirme la forte corrélation entre le système de culture et la composition floristique. En effet, plusieurs études floristico-écologiques ont montré la dominance des thérophytes (espèces annuelles) dans les systèmes de culture à base de céréales au Sénégal (Noba, 2002 ; Mbaye, 2012 ; Bassène, 2014) et au Maroc (Taleb *et al.* 1998 ; Zidane *et al.*, 2010). De même, cette prédominance des thérophytes a été aussi confirmée dans les parcelles de canne à sucre (Taleb *et al.*, 1997). Cette caractérisation devrait être approfondie pour une meilleure connaissance de la biologie des adventives du fonio et surtout par rapport à leur nuisibilité. Ainsi, la méthodologie développée avec succès par Noba (2002) et Mbaye (2013) pourrait être appliquée ou adaptée pour l'identification des espèces préoccupantes et la détermination de leur nuisibilité dans les champs de fonio.

L'estimation de la production a montré que les rendements grain sont faibles dans toute la zone étudiée. Cette faible production confirme les résultats de Fall *et al.* (2005), de USAID (2008) et de Fall & Lo (2009) et est généralisée dans presque tous les autres pays producteurs de fonio (Vietmeyer *et al.*, 1996 ; Vodouhe *et al.*, 2003, Paraïso *et al.*, 2011). La majeure partie de la production de fonio est essentiellement destinée à l'autoconsommation et la part destinée à la commercialisation est faible. Le niveau de production et le rôle social des grains de fonio semblent expliquer cette situation.

Un important volet de recherche d'accompagnement est nécessaire pour faire du fonio à la fois une culture vivrière de subsistance et de rente.

4.2. Etude des techniques de semis

Les conditions pluviométriques durant les hivernages 2010, 2011 et 2012 étaient bonnes en comparaison à celles de la normale climatique (1981-2010). Cependant, la saison des pluies de 2010 était meilleure en termes de quantité et de répartition par rapport à celles de 2011 et de 2012. Plusieurs auteurs ont rappelé la plasticité et l'adaptation du fonio sous diverses conditions pluviométriques, d'altitude et de sols en région tropicale (Vandenput, 1981 ; Vodouhe & Achigan Dako, 2006 ; Cruz *et al.* 2011). Ces variations pluviométriques, d'une année à l'autre et d'un site à un autre, semblent expliquer les variations notées sur les rendements grain fonio.

Nos résultats sur les dates de semis ont montré que, quelle que soit l'allure de la saison des pluies, la période optimale de semis se situe dans la première quinzaine de juillet. Plus la date de semis est précoce, plus les paramètres de croissance et de développement sont meilleurs. En revanche, les parcelles tardivement semées ont de faibles densités de plantes à la levée et une croissance lente. Malik & Yadav (2014) ont rapporté que la vigueur des plantes est maximale lorsque le semis est précoce.

Dans notre étude, le nombre de jours ayant reçu d'importantes quantités de pluies (au moins 10 mm par jour) était aussi important chez les semis précoces et ceux tardifs. Les effets négatifs des grosses pluies sur la levée et la vigueur des jeunes plantes ont été notés chez l'herbe de Buffalo (Frank *et al.*, 1998).

La diminution de la durée d'ensoleillement est liée à la présence des nuages durant la saison des pluies. Cette réduction de l'ensoleillement est plus marquée avec les plantes tardivement semées et expliquerait la réduction des phénophases (épiaison, floraison et maturité). Ces observations sont similaires chez la plupart des céréales locales dans des conditions de jours courts (Azam-Ali & Squire, 2002). Par conséquent, le cultivar utilisé dans notre essai semble être sensible aux jours courts comme l'ont rapporté Aliero & Morakinyo (2005) et Cruz *et al.* (2011) sur d'autres écotypes de fonio.

La croissance des plantes était ralentie avec les semis tardifs en comparaison à celle obtenue avec les semis précoces. Cette observation a été similairement décrite en Ethiopie chez l'herbe Tef (*Eragrostis tef* [Zucc.] par Juraimi *et al.* (2009). De même, cette réduction de la taille des plantes a été aussi observée avec les semis tardifs aussi bien chez le maïs que le sorgho (Azam-Ali & Squire, 2002) que chez d'autres espèces cultivées (Malik & Yadav, 2014; Meena *et al.*, 2015).

Dans notre étude, le tallage total n'est pas affecté par la date de semis, ce qui est en accord avec les conclusions d'Abou Khalifa (2009) sur le riz. Par contre, les semis précoces ont enregistré les rendements en biomasse aérienne et en grain les plus élevés en comparaison aux semis tardifs. En effet, les semis autour du 15 juillet ont donné les valeurs de biomasse aérienne et de rendement grain les plus importantes pour les deux années de test. Avant et particulièrement après cette date de semis, la densité de plantes et leur taille, la biomasse aérienne et le rendement grain sont drastiquement réduits. Des résultats similaires ont été précédemment rapportés chez plusieurs types de céréales cultivées sous différentes conditions

(Dokuyucu *et al.*, 2004; Kamara *et al.*, 2009; Aslani & Mehrvar, 2012). Ces auteurs ont montré que les semis retardés réduisent la durée semis-épiaison et celle semis-floraison ; ce qui affecte négativement la durée d'exposition des plantes à la lumière et d'absorption des nutriments dans le sol. Par conséquent, ce raccourcissement du cycle de développement se traduit par une réduction de la canopée chez les plantes tardivement semées. Cette diminution de la canopée expose ces plantes tardives durant les périodes de stress hydrique en fin de cycle, en particulier durant les phases de formation et de remplissage des grains. La proportion de grains de petite taille et de grains immatures augmentent chez les plantes de céréales tardivement semées lorsque le manque d'eau et les fortes températures interviennent durant la phase de remplissage des grains (Dokuyucu *et al.*, 2004; Yang and Zhang, 2006; Aslani & Mehrvar, 2012).

Le mode semis a eu des effets sur l'essentiel des paramètres étudiés sur le fonio. Les quantités de semences épanchées ont été réduites en moyenne de 40 à 58% pour les semis en lignes ou en poquets en comparaison au semis à la volée qui est la pratique paysanne en vigueur. Cette réduction significative confirme les travaux de Kanfany (2008) qui a rapporté un gaspillage de grains de fonio lors des semis à la volée dans les champs paysans. Par contre, quelque soit le mode de semis considéré, la taille des plantes, le tallage et les caractéristiques des panicules n'ont pas été globalement affectés au niveau des deux sites. La capacité de tallage est fonction de beaucoup de paramètres liés à l'écotype cultivé, aux conditions pédoclimatiques et à l'itinéraire technique. Des phénomènes de compétitions ont été mis en évidence chez le fonio par Kanfany & Gueye (2011). Selon ces auteurs, les fortes doses de semis affectent la production de panicules.

Les observations sur le désherbage ont montré que seulement deux sarclages (à 15 et 30 jours après semis) suffisent pour la maîtrise de l'enherbement et l'obtention de meilleurs rendements grain. Kamanga *et al.* (2013) ont aussi montré que le nombre de sarclages avait une influence sur le rendement grain du maïs. En effet, deux passages de sarclage sont plus bénéfiques qu'un seul dans les parcelles de céréales au Malawi (Kamanga *et al.*, 2013) et au Sénégal (Noba, 2002 ; Mbaye, 2013 ; Bassène, 2014). De même, les travaux de Noba (2002) et de Bassala *et al.* (2009) ont précédemment montré l'importance du sarclage précoce, entre 15 et 20 jours après semis du cotonnier au Cameroun ou de l'arachide au Sénégal et entre 20 et 40 jours chez le mil au Sénégal.

Ces expériences devront être envisagées sur le fonio dans le cadre de l'élaboration de stratégie de gestion intégrée de l'enherbement dans les champs paysans. Par conséquent, une meilleure connaissance du système de culture et du cycle cultural du fonio mais aussi de la bio-écologie des adventices permettrait de proposer un itinéraire de désherbage raisonné et sans effets notoires négatifs sur la biodiversité (Noba, 2002 ; Mbaye, 2013 ; Bassène, 2014). En effet, il existe un processus de sélection de groupe d'espèces d'adventices favorisé par les pratiques de désherbage ou le niveau d'intensification dans le système de culture (Fried *et al.*, 2008). L'intensification des cultures a une influence négative sur la diversité floristique et fait apparaître des espèces d'adventices nitrophiles et plus compétitives (Fried *et al.*, 2008).

La comparaison des doses de semences met en exergue des différences très marquées d'un site à un autre. La variation de la biomasse aérienne et du rendement grain est fortement liée à la variation de la dose de semences, donc de la densité de plantes dans les parcelles étudiées. Malgré cette corrélation, le semis en lignes continues distantes de 25 cm a donné les meilleurs rendements grains aussi bien à Sinthiou Malème qu'à Séfa. Cette situation favorable à ce mode de semis peut s'expliquer par un phénomène de compensation par rapport au semis à volée. Les différences notées sur les rendements entre les deux stations pourraient provenir du niveau de fertilité des sols.

4.3. Etude de l'amendement et de la fertilisation

Dans les conditions d'essai, les résultats obtenus sur l'amendement et la fertilisation semblent confirmer la perception paysanne qui considère que la fumure n'est pas bénéfique à la culture du fonio. Cette faible réponse du fonio aux amendements et aux fertilisants semble être liée à la faible capacité de valorisation des cultivars locaux à ce type d'intrants. Cette absence de réponse s'expliquerait par la mauvaise qualité des sols dédiés à cette culture, surtout à Bandafassi et Séfa. A Bandafassi, les sols sont très poreux en surface alors qu'ils sont très sableux, très acides et de très faible capacité de rétention à Séfa. Sur de tels sols, des pertes d'éléments minéraux, soit par volatilisation ou lixiviation, pourraient aussi réduire la disponibilité de ces éléments dans la rhizosphère. La faible valorisation des engrais par les cultivars locaux peut aussi expliquer cette absence de réponses du fonio aux apports croissants en fertilisants minéraux.

Dans notre étude, les sites expérimentaux sont caractérisés par des sols au pH variant entre 4,5-5,5, donc faiblement acides à acides. L'acidité des sols pourrait expliquer cette absence d'effet des fertilisants organiques et/ou inorganiques. L'effet acidifiant des engrais minéraux a été noté sur sols de textures légères ou de faible niveau de fertilité par Piéri (1989), Zingore *et al.* (2008) et Karfo *et al.* (2011). La texture du sol, la composition du fertilisant et le mode d'apport des engrais a une influence sur ce phénomène d'acidification des sols (Halvin *et al.*, 2005).

L'apport de fortes quantités de matières organiques et les amendements alcalins peuvent jouer dans la réduction de l'acidification des sols (Piéri, 1989). L'effet positif de la matière organique sur la taille des plantes, le tallage et la biomasse aérienne a été rapporté sur l'arachide et le mil par Cissé (1988). De même, les propriétés du sol et la séquestration du carbone dans le sol sont améliorées par les apports de matière organique (Cissé, 1988 ; Lenka *et al.*, 2013). Par contre, Kaho *et al.* (2011) ont rapporté l'absence d'amélioration des propriétés du sol par l'amendement organique et la fertilisation dans une parcelle de maïs sur sol ferrallitique au Cameroun. Le maintien de la fertilité des sols ou la restauration des sols de texture légère ne sont obtenus qu'à la suite de l'application de forte dose d'amendements organiques (Zingore *et al.*, 2008). En outre, en fonction de la durée de minéralisation de la matière organique, les amendements organiques ne libèrent pas toujours immédiatement les éléments nutritifs qu'ils contiennent pour la plante (Segnou *et al.*, 2012).

L'absence d'effet suite à l'amendement organique pourrait être liée soit aux faibles doses appliquées (Gebremeskel & Pieterse, 2008) ou à la qualité du fumier utilisé (Kaho *et al.*, 2011). En effet, la valeur fertilisante de la matière organique dépend de la source et le stockage du fumier (Odhiambo & Magandini, 2008). Par exemple, la fiente de volaille est généralement meilleure que les autres sources de matière organique d'origine animale (Amanullah & Khalid, 2015). En effet, l'amendement avec de la fiente de volaille a donné de meilleurs résultats agronomiques par rapport à la fertilisation minérale chez le piment au Cameroun (Senou *et al.*, 2012). De même, Diallo *et al.* (2010) ont montré des effets significatifs de fortes doses de fumier (60 tonnes de terreau/ha) sur la taille des plantes de riz et la production de paddy chez le riz de plateau, surtout en semis tardif (sur sol sablo-agrileux pauvre en minéraux et à pH acide). Néanmoins, les traitements de fumure organo-minérale ayant donné les meilleurs rendements en grain chez le maïs n'améliorent pas forcément le niveau de fertilité des sols (Mucheru-Muna *et al.*, 2013).

L'apport de phosphate naturel n'a pas eu d'effet significatif sur la croissance et la production dans les différents sites. Des apports en phosphate naturel sans transformation ont montré de très faibles réponses chez le maïs selon les travaux de Govere *et al.* (2003). Les apports d'engrais phosphoré doivent être répétés annuellement ou tous les deux ans selon les quantités apportées et en fonction du niveau d'acidité (Kisinyo *et al.*, 2013). Amanullah & Khalid (2015) ont rapporté chez le maïs le rôle important des bactéries pour une meilleure solubilisation du phosphore inorganique. Cependant, il faut noter que la fertilisation phosphorée réduit le taux de colonisation mycorhizien (Onguene *et al.*, 2012).

L'absence d'interaction matière organique et engrais minéraux a été notée dans les sites. Cette faible réponse aux effets combinés de l'amendement organique et de la fertilisation minérale a été montrée sur une espèce fourragère *Cenchrus ciliaris* dans le nord-est de l'Éthiopie par Gebremeskel & Pieterse (2008). En revanche, Hu *et al.* (2015) ont montré les effets combinés de la fertilisation organo-minérale sur le rendement dans un système riz-blé, la flore microbienne du sol et la séquestration du carbone organique et de l'azote total. Dans notre travail, l'absence de réponses du fonio aux apports croissants d'engrais NPK semble être liée au type de matériel végétal. En effet, sur plusieurs variétés améliorées de blé, la forte fumure a donné les meilleurs rendements grain en comparaison à la fertilisation moyenne à faible (Hussain *et al.*, 2002). De même, la réponse aux engrais minéraux était meilleure sur les variétés améliorées que celles traditionnelles de riz de plateau dans la région nord du Laos (Saito *et al.*, 2005).

Dans notre cas, les effets de l'azote se traduisent par l'augmentation de la biomasse aérienne et les composantes de rendement chez le colza (Ngezimana & Agenbag, 2008). L'efficacité de faibles doses d'azote et de phosphore est améliorée avec le respect de bonnes pratiques agricoles telles que le contrôle des mauvaises herbes (Kamanga *et al.*, 2013). L'effet positif de la fertilisation azotée sur la taille des plantes a été rapporté sur *Brachiaria ruziziensis* par Tendonkeng *et al.* (2011) et sur le blé par Annabi *et al.* (2013). La corrélation positive entre le rendement grain et l'apport d'azote a été rapportée par Annabi *et al.* (2013). Ces auteurs ont suggéré le fractionnement de la fertilisation azotée durant le cycle cultural.

L'absence de réponse à la fertilisation phosphorée pourrait s'expliquer aux faibles doses de phosphore apportées par rapport au seuil critique dans le sol comme l'ont rapporté les travaux de Kisiyo *et al.* (2014). En effet, aucun effet est obtenu si la teneur en éléments dans les sols est supérieure au seuil critique de l'élément pour la plante (Bado *et al.*, 2008). Les sols ferrugineux certes, à très faible pouvoir fixateur et faiblement carencés en phosphore, devraient très favorablement réagir aux faibles doses d'engrais phosphaté.

Les trois types de fertilisants n'ont pas influencé le rendement en grain dans aucun des trois sites. Il a été démontré un effet significatif de l'interaction P * N sur le riz de plateau dans le nord de Laos avec un surplus de production de 500 kg/ha en comparaison à l'apport seul en azote (Saito *et al.*, 2005). Seuls les apports azotés ont statiquement influencé la production de grain et ceci seulement à Bandafassi et Séfa. En comparaison au traitement non azoté, la dose de 23 kg/ha d'azote a permis un gain de 16 et 13% sur le rendement grain, respectivement à Bandafassi et Séfa. L'augmentation des apports azotés de 23 à 46 kg/ha d'urée ne se traduit pas par un gain proportionnel sur le rendement grain. A Sinthiou Malème, le fonio n'a montré aucune réponse significative lorsque la fertilisation azotée passe de 0 à 46 kg/ha. Cette situation n'est pas en accord avec les travaux de Gebrekidan & Seyoum (2006) qui ont montré une réponse positive et significative d'apports modérés sur le rendement et ses composantes du riz de bas fond sur des vertisols en Ethiopie. L'effet de la jachère pourrait aussi expliquer cette absence de réponse à la fertilisation azotée dans ce site.

Au niveau des trois sites étudiés, ni les interactions, ni les apports de phosphore et de potassium seuls n'ont eu des effets sur la biomasse aérienne et la production de grain. Gigou *et al.* (2009) ont rapporté des résultats similaires sur le fonio en Guinée et au Mali. Au niveau de Sinthiou Malème, l'absence d'effet de la fertilisation minérale pourrait être liée aux avantages de la longue jachère. Seuls les apports d'azote avaient significativement amélioré la biomasse aérienne et le rendement grain à Bandafassi et Séfa. D'une manière générale, la dose de 23 kg/ha d'azote a permis de noter des augmentations variant entre 13 et 16% sur le rendement grain paddy par rapport aux parcelles non fertilisées en azote. Cependant, le rendement en grain n'augmente pas proportionnellement lorsque les apports azotés sont doublés, passant de 23 à 46 kg/ha d'azote. L'équivalence de la dose de 23 kg/ha d'azote par rapport à celle de 46 kg/ha pourrait être expliquée par la diminution de l'efficacité d'utilisation de l'azote (Omokanye *et al.*, 2011).

Des apports modérés en N, P et K ont été recommandés sur le fonio surtout dans des zones à haut risque de pluviométrie ou à faible fertilité des sols (Gigou *et al.*, 2009). Le recours aux petites quantités de fumier de parc à bovin et/ou l'application de faibles quantités d'engrais minéraux n'ont pas d'effet bénéfique dans les systèmes traditionnels à faible utilisation d'intrants (Piéri, 1989). En effet, le système de culture à faible utilisation d'intrants agricoles ou itinérant sur abattis-brulis pose de sérieuses contraintes de gestion durable de la fertilité des sols et de maintien des rendements agricoles escomptés (Pieri, 1989 ; Milleville *et al.*, 2000).

Ces acquis sur la réponse du fonio à la fumure peuvent servir aux investigations futures sur la microbiologie et les processus de minéralisation dans les sols consacrés à la culture de cette céréale. Ces futures investigations pourront porter sur une diversité de sources d'amendement et de fertilisants locaux à moindres coûts, en rapport avec les combinaisons, les doses et les modalités d'apport et de fractionnement durant le cycle cultural (Segnou *et al.*, 2012).

4.4. Etude de la période de récolte

Les résultats sur les dates de récolte ont montré que les récoltes tardives influencent négativement les rendements grain. De même, les récoltes avant la maturité complète encouragent l'augmentation des grains laitoux ou immatures. Ces effets dûs aux récoltes tardives confirment ceux précédemment obtenus sur d'autres espèces tropicales sous diverses conditions climatiques (Gilbert *et al.*, 1979; Denekew *et al.*, 2005).

Dans notre étude, les meilleurs rendements grain sont notés lorsque la production de biomasse aérienne atteint son maximum. Cette observation n'est pas en accord avec la significative régression linéaire entre la biomasse aérienne et le rendement grain rapportée chez le sorgho par Howell (1990) and le riz irrigué par Ying *et al.* (1998).

Les résultats ont montré que le calibre des grains n'est pas lié à la période de récolte du fonio. Par conséquent, les faibles rendements grain sont essentiellement dus aux pertes significatives en grains par égrenage à partir d'un certain stade de maturité physiologique et par les attaques des oiseaux granivores, surtout lorsque les récoltes sont tardivement effectuées. Les pertes de rendements grain liées à l'égrenage peuvent atteindre 36% selon une étude menée en Guinée par Vodouhe *et al.* (2005).

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le fonio est certes une céréale négligée et essentiellement cultivée dans les régions de la Casamance et du Sénégal Oriental. Cependant, son rôle dans la sécurité alimentaire et ses valeurs ethnico-sociales interpellent de la part des politiques nationales et des structures de recherche et de développement un accompagnement significatif pour l'amélioration de la production et de la productivité du fonio dans ces zones à fortes potentialités agricoles.

C'est dans ce cadre que nos recherches sur la phytotechnie ont été menées pour une meilleure connaissance des systèmes de culture à base de fonio et la mise au point de bonnes pratiques de semis, de fumure et de récolte. Ainsi, un diagnostic agronomique des pratiques locales a été mené entre 2009 et 2010 auprès de 88 parcelles paysannes répartis dans 34 villages dans ces deux zones. Ensuite, sur la base des contraintes de production et des gaps technologiques, des expérimentations sur les techniques de semis, le plan de fumure et la période de récolte ont été conduites entre 2010 et 2012 dans les stations de recherche de Séfa (Casamance) et de Sinthiou Malème et dans le village de Bandafassi (Sénégal Oriental). Ces recherches présentées dans cette thèse avaient pour objectif d'améliorer les connaissances et les techniques de culture du fonio, en particulier les techniques de semis, le plan de fumure et la période de récolte en Casamance et au Sénégal Oriental (Sénégal).

Le diagnostic agronomique mené auprès de parcelles paysannes de fonio réparties dans ces deux principales zones de production de fonio au Sénégal a permis de constituer une base de données sur les pratiques locales de culture et les facteurs explicatifs des faibles niveaux de productivité et de production dans ces zones. Ce suivi parcellaire a montré que la culture du fonio se fait généralement sur de petits champs dépassant rarement la moitié d'hectare. Les pratiques culturales étaient basées sur les connaissances traditionnelles avec peu ou pas d'utilisation de facteurs agricoles d'intensification. En effet, l'utilisation de variétés traditionnelles, la pénibilité des opérations post récolte et l'insuffisance des services de conseil agricole ainsi que l'absence de référentiel agronomique font que le fonio continuera d'être cultivé de manière traditionnelle avec une absence totale de facteurs de production.

Les essais sur la date de semis ont montré que la période optimale de semis est recommandée dans les 15 premiers jours du mois de juillet. En effet, les semis précoces ont permis une bonne croissance des plantes et les meilleurs rendements grain paddy.

Le test sur les doses de semences a révélé une corrélation positive entre la maîtrise des adventices et les quantités de grains semés/ha. Cependant, la dose de 30-45 kg semences/ha est recommandée pour une bonne densité de plantes et une bonne maîtrise des adventices.

Les modes de semis en lignes continues ou en poquets n'ont pas montré de résultats satisfaisants pouvant recommander la mécanisation du semis du fonio en alternative à la pratique paysanne qui est le semis à la volée. En effet, le semis à la volée permet une bonne maîtrise des adventices en comparaison aux modes de semis en lignes ou en poquets. Néanmoins, ces différents modes de semis ont une incidence sur le nombre et la périodicité du désherbage durant le cycle cultural du fonio. Deux passages de sarclage, à 15 et à 30 jours après semis, permettent une bonne maîtrise de l'enherbement dans les parcelles de fonio.

Les essais sur la fumure ont confirmé que la culture du fonio n'est pas exigeante par rapport à la qualité des sols. Cependant, en suivant les réponses du fonio aux fertilisants minéraux, des apports modérés d'azote, de phosphore et de potassium ont enregistré des effets agronomiques similaires par rapport à ceux engendrés par les fortes doses d'engrais minéraux. Néanmoins, un apport de 50 kg/ha d'engrais NPK (15-15-15) est recommandé pour assurer de meilleurs rendements en grain sans appauvrissement continu des sols.

L'évaluation de dates de récolte a montré que les récoltes tardives peuvent engendrer une réduction de 32-48% sur le rendement grain. La période optimale de récolte se situe entre 97 et 104 jours après semis ou entre 1 et 2 semaines après le début de maturité des plantes chez les cultivars précoces.

Cependant, compte tenu des limites méthodologiques et/ou des contraintes financières durant la mise en œuvre de nos travaux de recherches, des investigations futures ou complémentaires sont nécessaires afin de prendre en charge ou de compléter les éléments constitutifs de l'itinéraire technique global pour la culture du fonio (dont une version provisoire est en annexe). En perspective, il serait souhaitable dans un contexte d'intensification et de diversification des céréales locales : (i) de poursuivre les tests sur le mode de semis en relation avec la biologie et la gestion des adventices, (ii) d'affiner les tests de fertilisation organo-minérale avec des sources locales de fertilisants et (iii) d'étudier la qualité des semences et du fourrage aérien de fonio en rapport avec la période optimale de récolte.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abou Khalifa A.A.B. (2009). Physiological evaluation of some hybrid rice varieties under different sowing dates. *Australian Journal of Crop Science* 3(3):178-183.
- Adoukonou-Sagbadja H. (2010). Genetic characterization of traditional fonio millet (*Digitaria exilis*, *D. iburua* Stapf) landraces from west-Africa: implication for conservation and breeding. Dissertation of doctor of agricultural science, Faculty of agricultural sciences, nutritional sciences and environmental management, Justus-Liebig University Giessen (Germany), 97 pages.
- Adoukonou-Sagbadja H., Dansi A., Vodouhè R. and Akpagana K. (2006). Indigenous knowledge and traditional conservation of fonio millet (*Digitaria exilis*, *Digitaria iburua*) in Togo. *Biodiversity and Conservation* 5:2379-2395. (DOI 10.1007/s10531-004-2938-3).
- Adoukonou-Sagbadja H., Schubert V., Dansi A., Jovtchev G., Meister A., Pistrick K., Akpagana K. and Friedt W. (2007a). Flow cytometric analysis reveals different nuclear DNA contents in cultivated fonio (*Digitaria* spp.) and some wild relatives from West-Africa. *Plant Systematics and Evaluation* 267: 163-176. (DOI 10.1007/s00606-007-0552-z).
- Adoukonou-Sagbadja H., Wagner C., Dansi A., Ahlemeyer J., Daïnou O., Akpagana K., Ordon F. and Friedt W. (2007b). Genetic diversity and population differentiation of traditional fonio millet (*Digitaria* spp.) landraces from different agro-ecological zones of West Africa. *Theoretical and Applied Genetics* 115 (7): 917-931. (DOI 10.1007/s00122-007-0618-x)
- Adoukonou-Sagbadja H., Wagner C., Ordon F., Friedt W. (2010). Reproductive system and molecular phylogenetic relationships of fonio millets (*Digitaria* spp., Poaceae) with some polyploidy wild relatives. *Tropical Plant Biology* 3: 240-251.
- Alessi J. and Power J.F. (1975). Response on an early-maturity corn hybrid to planting date and population in the Northern Plains. *Agronomy Journal* 67:762-765.
- Aliero A.A. and Morakinyo J.A. (2005). Photoperiodism in *Digitaria exilis* (Kipp) Stapf accessions. *African Journal of Biotechnology* 4(3):241-243.
- Amanullah and Khalid S. (2015). Phenology, growth and biomass yield response of maize (*Zea mays* L.) to integrated use of animal manures and phosphorus application with and without phosphate solubilizing Bacteria. *Journal Microb Biochem Technol* 7: 439-444.
- Andrews D. J. (1973). Effects of date of sowing on photosensitive Nigerian sorghums. *Experimental Agriculture* 9:337-346.
- Animasaun D.A, Morakinyo J.A. and Moustapha O.T. (2014). Assessment of the effects of gamma irradiation on the growth and yield of *Digitaria exilis* (Haller). *Journal of Applied Biosciences* 75: 6164-6172.
- Annabi M., Bahri H., Behi O., Sfayhi D. and Cheikh Mhamed H. (2013). La fertilization azotée du blé en Tunisie: evolution et principaux determinants. *Tropicicultura* 31(4): 247-252.
- Anonymous (2011). Missing crop: the case of post harvest grain losses in Sub Saharan Africa. Report no. 60371-AFR. Report jointly published by The World Bank, FOA and Natural Research Institute/University of Greenwich, 96 pages. (available at www.worldbank.org/INTRAD, verified on March 28, 2012)
- ANSD (2010). Banque de Données des Indicateurs Sociaux du Sénégal (Edition 2007-2009), BADIS, Dakar (Sénégal).
- 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.
- Aslani F. and Mehrvar M.R. (2012). Responses of wheat genotypes as affected by different sowing dates. *Asian Journal of Agricultural Sciences* 4:72-74.

- Azam-Ali S.N., Gregory P.J. and Monteith J.L. (1984).** Effects of planting density on water use and productivity of pearl millet (*Pennisetum typhoides*) grown on stored water. I. Growth of roots and shoots. *Experimental Agriculture* 20: 203-214.
- Azam-Ali S.N. and Squire G.R. (2002).** Principle of tropical agronomy. 236p. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom.
- Bado B.V., de Vries M.E., Haefele S.M., Marco M.C.S. and Ndiaye M.K. (2008).** Critical limit of extractable phosphorous in a gleysol for rice production in the Senegal River Valley of West Africa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39: 202-206.
- Bakare O. (2005).** Influence of time of harvest on grain yield of Acha, *Digitaria exilis* and farmers' perspectives. *Int. J. Agric. Rural Dev.* 6: 132-135.
- BAME (2008).** Point sur l'agriculture sénégalaise. Edition ISRA-BAME, 21 pages.
- Banque Mondiale (2010).** Développement local, institutions et changement climatique au Sénégal : analyse de la situation et recommandations opérationnelles. Rapport final, du Projet « Institutions Sociales et Changement Climatique », Edité par le Département du Développement Social de la Banque Mondiale, 80 pages.
- Bassala J.-P.O., Lenzemo V.W. et Marmotte P. (2009).** Désherbage chimique et gestion de l'enherbement du cotonnier au Nord-Cameroun. In : Actes du colloque « Savanes africaines en développement : innover pour durer », Seiny-Boukar L. et Boumard P. (Eds), 20-23 avril 2009, Garouma (Cameroun). PRASAC, Ndjaména (Tchad) et Cirad, Montpellier (France), cédérom.
- 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 de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal), 149 pages + Annexes.
- Bationo, A. and Ntare, B. R. (2000).** Rotation and nitrogen fertilizer effects on pearl millet, cowpea and groundnut yield and soil chemical properties in a sandy soil in the semi-arid tropics. *Journal of Agricultural Science* 134 : 277-284.
- Bello N.J. (1999).** Investigating the optimum planting date for sorghum in the forest-savanna transition zone of Nigeria. *Experimental Agriculture* 35:461-470.
- Berhaut J. (1967).** Flore du Sénégal. 2ème Ed. Clairafrique, Dakar (Sénégal), 257 pages.
- Bosch C.H., Siemomonsma J. S. and Lemmens R.H.M.J. (2002).** Plant Resources of Tropical Africa. Basic list of species and commodity grouping. Wageningen, (Netherlands), 339 pages
- Bouhot D. et Mallamaire A. (1965).** Les principales maladies des plantes cultivées au Sénégal, Tome II. Dakar (Sénégal), 159 pages+ annexes.
- Buysse W., Stern R., Coe R. and Matere C. (2007).** GenStat Discovery Edition 3 for everyday use. ICRAF Nairobi, Kenya. 117 pages.
- Camara M. (2011).** Détermination du focus parasitaire du fonio (*Digitaria exilis* Stapf) en Casamance continentale et au Sénégal oriental. Diplôme d'Etudes Approfondies. Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Thiès. 58 pages.
- Carberry P.S., Campbell L.C. (1985).** The growth and development of pearl millet as affected by photoperiod. *Field Crops Research* 11:207-217.
- Cattan Ph., Letourmy Ph., Zagre B., Minougou A. et Compaoré E. (2001).** Rendement de l'arachide et du sorgho en rotation sous différents itinéraires techniques au Burkina Faso. *Cahiers agricultures* 10, 59-72.
- Cisse L. (1988).** Influence d'apports de matière organique sur la culture de mil et d'arachide sur un sol sableux du nord Sénégal: II. Développement des plantes et mobilisations minérales. *Agronomie* 8(5) : 411-417.

- Cruz J.-F., Beavogui F. et Drame D. (2011). Le fonio, une céréale africaine. Éditions Quae, Versailles ; Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux (Belgique), CTA, Wageningen (Netherlands, Pays-Bas), 160 pages.
- Dagnelie. P. (2012). Planification des expériences et analyse de leurs résultats. Principes d'expérimentation. 413 pages.
- Dansi A., Adoukonou-Sagbadja H. and Vodouhe R. (2010). Diversity, conservation and related wild species of Fonio millet (*Digitaria* spp.) in the northwest of Benin. *Genet. Resour. Crop Evol.* 57 : 827-839. DOI : 10.1007/s10722-099-9522-3.
- DAPS (2007). Résultats définitifs de la campagne 2006-2007. DISA/DAPS/MAE, Dakar (Sénégal)
- DAPS (2008). Résultats définitifs de la campagne 2007-2008. DISA/DAPS/MAE, Dakar (Sénégal)
- DAPS (2009). Résultats définitifs de la campagne 2008-2009. DISA/DAPS/MAE, Dakar (Sénégal)
- Dean A. and Voss D. (1999). Design and analysis of experiments. *Springer International Edition*, New York (USA), 740 pages.
- Denekew Y., Tamir B. and Melaku S. (2005). Effect of harvesting date on composition and yield of natural pasture in northwestern Ethiopia. *Tropical Science.* 45: 19-22.
- Diallo D., Tamini Z., Barry B. et Faya A.O. (2010). Effet de la fumure organique sur la croissance et le rendement du riz NERICA 3 (WAB 450 IBP 28HB) à Faranah. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4(6): 2017-2025.
- Diatta L. (2013). Comparaison de méthodes de semis chez le fonio (*Digitaria exilis* Stapf) dans les régions sud du Sénégal. Mémoire d'ingénieur des travaux agricoles, Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale de Bambey, Université de Thiès (Sénégal), 30 pages + annexes.
- Diedhiou C.T. (2008). Analyse des systèmes de cultures à base de fonio en Casamance et au Sénégal oriental. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Thiès, Thiès (Sénégal), 49 pages.
- Diop B. (2011). Suivi agromorphologique et caractérisation moléculaire de 64 écotypes de fonio (*Digitaria exilis* Stapf) du Sénégal à l'aide des marqueurs RAPD. DEA, Ecole Nationale Supérieure D'Agriculture de Thiès. Université de Thiès (Sénégal). 58 Pages + annexes.
- Diouf M. (1990). Analyse de l'élaboration du rendement du mil (*Pennisetum typhoides* Stapf et Hubb.) : mise au point d'une méthode de diagnostic en parcelles paysannes. Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris (France), 226 pages.
- Dokuyucu T., Akkaya A. and Yigitoglu D. (2004). The effect of different sowing dates on growing periods, yield and yield components of some bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars grown in the East-Mediterranean region of Turkey. *Journal of Agronomy* 3:126-130.
- Duteurtre G. et Dieye P.N. (2010). Introduction Générale. In : L'agriculture sénégalaise à l'épreuve du marché, 17-53. Eds : Duteurtre G., Faye M.D. et Dieye P.N., ISRA et Editions KARTHALA, Dakar/Paris.
- ENDA (1999). Synthèse et plan d'action de l'atelier sur le développement des fonios (*Digitaria exilis* Stapf.) cultivés au Sénégal. Dakar, Sénégal, 10 pages.
- Fakorede A.B. (1985). Response of maize to planting dates in a tropical rainforest location. *Experimental Agriculture* 21:19-30.
- Fakorede A.B. and Opeke B.O. (1985). Weather factors affecting the response of maize to planting dates in a tropical rainforest location. *Experimental Agriculture* 21:31-40.
- Fall A.A. (2010). Riz : désengagement de l'Etat, flambée des importations et retour de l'Etat ? In : L'agriculture sénégalaise à l'épreuve du marché, 57-81. Eds : Duteurtre G., Faye Mb.D. et Dièye P.N., ISRA-KARTHALA, Dakar (Sénégal).

- Fall A.A. et Lo M. (2009). Etude de référence du Programme sur la productivité agricole au Sénégal dans le cadre du WAAPP. Cas des céréales : mil, sorgho, maïs et fonio. CORAF, PSAOP II, 38 pages.
- Fall C.A. et Fofana. A. (2003). Collecte des ressources phylogénétiques des Fonios (*Digitaria exilis* Stapf.) cultivés au Sénégal : perspectives de développement de la culture. Rapport de mission. ISRA Dakar (Sénégal), 26 pages.
- Fall C.A., Fofana A., Baldé S. (2005). Recherche agronomique sur le Fonio (*Digitaria exilis* Stapf.) au Sénégal : diagnostic des systèmes de production et sélection de variétés performantes. ISRA Dakar (Sénégal), 12 pages.
- Fall S.M. (2012). Caractérisation physico chimique et aptitude au décorticage manuel de dix écotypes de fonio cultivés au Sénégal. Mémoire de Diplôme d'Ingénieur Technologue, Ecole Supérieure Polytechnique, UCAD, Dakar (Sénégal), 48 Pages + annexes.
- Faye P.M. (1998). Etude diagnostic des contraintes de la culture du mil sanio en parcelles paysannes : enquêtes et observations parcellaires ; identification des contraintes avec l'approche IPM. Mémoire d'ingénieur agronome, ENSA, Thiès (Sénégal), 43 pages + annexes.
- Fofana A. (2003). Le fonio au Sénégal. In : Actes du séminaire régional sur le renforcement de la contribution du fonio à la sécurité alimentaire et aux revenus des paysans en Afrique de l'Ouest, 39-43. Bamako, Mali, 19-22 novembre 2011. Eds : IPGRI, Nairobi (Kenya).
- Fofana A. et Fall C.A (2004). Problématique de la production du fonio au Sénégal. Communication présentée à la Journée Nationale du FONIO, 7 décembre 2004 à Dakar (Sénégal), Document ISRA, 8 pages.
- Fogny-Fanou N., Koreissi Y., Dossa R.A.M. and Brouwer I.D. (2009). Consumption of, and beliefs about fonio (*Digitaria exilis*) in urban area in Mali. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development* 9 (9): 1927-1944.
- Frank K.W., Gaussoin R.E., Riordan T.P. and Miltner E.D. (1998). Date of planting effects on seeded turf-type buffalograss. *Crop Science* 38:1210-1213.
- FRAO (1994). Etude préliminaire pour la mise en place d'un programme de recherché/action sur le fonio avec l'UGAPS, Dakar, Sénégal, 39 pages.
- Fried G., Chauvel B. et 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.
- Gebrekidan H. and Seyoum M. (2006). Effects of mineral N and P fertilizers on yield and yield components of flooded lowland rive on vertisols of Fogera Plain, Ethiopia. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* 107(2): 161-176.
- Gebremeskel K. and Pieterse P.J. (2008). The effect of mulching and fertilising on growth of over-sown grass species in degraded rangeland in north-eastern Ethiopia. *African Journal of Rangeland and Forage Science* 25(1): 37-41. DOI: 10.2989/AJRF.2008.25.1.5.383.
- Gilbert W.L., Perry Jr. L.J. and Stubbendieck J. (1979). Dry matter accumulation of four warm season grasses in the Nebraska Sandhills. *Journal of Range Management* 32 (1): 52-54. Available at <http://www.jstor.org/stable/3897385>, Accessed on 29/03/2012.
- Gomez K.A. and Gomez A.A. (1984). Statistical procedures for agricultural research. Second Edition. John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 680 pages.
- Govere E.M., Chien S.H. and Fox R.H. (2003). Agronomic effectiveness of novel phosphate fertilisers derived from an igneous Zimbabwe phosphate rock. *African Crop Science Journal* 11(3): 235-243.

- Gueye A. et Faye Mb. D. (2010). Mils et sorghos : l'émergence d'un artisanat agro alimentaire. In : L'agriculture sénégalaise à l'épreuve du marché, 83-96. Eds : Duteurtre G., Faye Mb.D. et Dièye P.N., ISRA-KARTHALA, Dakar (Sénégal).
- Gueye M.T. and Delobel A. (1999). Relative susceptibility of stored pearl millet products and fonio to insect infestation. *Journal of Stored Products Research* 35 : 277-283.
- Havlin J.L., Beaton J.D., Tisdale S.L. and Nelson W.L. (2009). Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management, 7th edition. Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA, 515 pages.
- Howell T. A. (1990). Grain, dry matter yield relationships for winter wheat and grain sorghum – Southern High Plains. *Agronomy Journal* 82:914-918.
- Hu C., Li S.-L., Qiao Y., Liu D.-H. and Chen Y.-F. (2015). Effects of 30 years repeated fertilizer applications on soil properties, microbes and crop yields in rice-wheat cropping systems. *Experimental Agriculture* 51(3): 355-369.
- Hussain M.I., Shah S.H., Hussain S. and Iqbal K. (2002). Growth, yield and quality response of three wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties to different levels of N, P and K. *International Journal of Agriculture and Biology* 4(3): 362-364.
- Hutchinson J. and Dalziel J.M. (1972). Flora of West Tropical Africa, vol III, Part 2. London. millbank, s.w.1.
- Idi Saidou S., Bakasso Y., Inoussa M.M., Zaman-Allah M., Atta S., Barnaud A., Billot C. et Saadou M. (2014). Diversité agro-morphologique des accessions de fonio [*Digitaria exilis* (Kippist.) Stapf.] au Niger. *Int. J. Biol. Chemical Sci.* 8(4) : 1710-1729.
- ISRA (1998). Le projet d'entreprise de l'ISRA ou la recherche agricole sénégalaise à l'horizon 2015. Edition ISRA, Dakar, 82 pages.
- ISRA, ITA et CIRAD (2005). Le bilan de la recherche agricole et agro-alimentaire au Sénégal, Dakar (Sénégal), 524 pages.
- Juraimi A.S., Begum M., Sherif A.M. and Rajan A. (2009). Effects of sowing date and nutsedge removal time on plant growth and yield of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter]. *African Journal of Biotechnology* 8(22):6162-6167.
- Kaho F., Yemefack M., Feujio-Teguefouet et Tchanchaouang J.C. (2011). Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun. *Tropicultura* 29 (1) : 39-45.
- Kamanga B.C.G., Waddington S.R., Whitbread A.M., Almekinders C.J.M. and Giller K.E. (2013). Improving the efficiency of use of small amounts of nitrogen and phosphorus fertilizer on smallholder maize in central Malawi. *Experimental Agriculture* 50(2): 229-249.
- Kamara A.Y., Ekeleme F., Chikoye D. and Omoigui L.O. (2009). Planting date and cultivar effects on grain yield in Dryland corn production. *Agronomy Journal* 100: 91-98.
- 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), 45 pages + annexes.
- Kanfany G., Gueye M. (2011). Avantages de respecter la dose de 30 kg se semences par hectare pour le semis du fonio au Sénégal. *Les brochures du FNRAA*, n°01-2011: 17-18.
- Karbo N., Avornyo F., Addo-Kwafo A. and Bruce J. (2002). Preference study of untreated and urea-treated fonio and rice straws with sheep in the moist guinea savanna zone. *Ghana J. Sci.* 42: 41-48.
- Kassam A.H. and Andrews D.J. (1975). Effects of sowing date on growth, development and yield of photosensitive sorghum at Samaru, northern Nigeria. *Experimental Agriculture* 11:227-249.

- Kisinyo P.O., Othieno C.O., Gudu S.O., Okalebo J.R., Opala P.A., Ngetich W.K., Nyambati R.O., Ouma E.O., Agalo J.J., Kebeney S.J., Too E.J., Kisinyo E.J. and Opile W.R. (2013). Immediate and residual effects of lime and phosphorus fertilizer on soil acidity and maize production in western Kenya. *Experimental Agriculture* 50(1): 128-143.
- Kwon-Ndung E.H. and Dachi S.N. (2007). Acha (fonio) genotypic diversity and management in Nigeria. *African Crop Science Conference Proceedings* 8: 787-790.
- Lal R. (1973). Effects of seed bed preparation and time of planting on maize (*Zea mays*) in western Nigeria. *Experimental Agriculture* 9:303-313.
- Lauer J.G., Carter P.R., Wood T.M., Diezel G. and Wiersma D.W. (1999). Corn hybrid response to planting date in the northern corn belt. *Agronomy Journal* 91:834-839.
- Lebrun J. (1966). Les formes biologiques dans les végétations tropicales. Bull. Sco. Bot. France : pp.164- 175.
- Lebrun J. P. and Stork A. (1991; 1997). Enumération des plantes à fleurs d'Afrique Tropicale. Vol I, Vol II, Vol III, Vol IV. Edition des conservatoires et jardins botaniques de la ville de Genève.
- Lenka S., Singh A.K. and Lenka N.K. (2013). Soil aggregation and organic carbon as affected by different irrigation and nitrogen levels in the maize-wheat cropping system. *Experimental Agriculture* 50(2): 216-228.
- Lo M. (2003). La culture du fonio en Casamance : réalités et perspectives. In Actes du Premier Atelier sur la Diversité Génétique du Fonio (*Digitaria exilis*) en Afrique de l'Ouest, Conakry, Guinée, du 04 au 06 août 1998, Vodouhe SR, Zannou A, Achigan Dako E. (ed). Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI), Rome (Italie): 23-25.
- MacColl D. (1990). Studies on maize (*Zea mays*) at Bunda, Malawi. IV. Further investigations into the effects of planting date. *Experimental Agriculture* 26: 273-278.
- MAER (2012). Catalogue officiel des espèces et variétés cultivées au Sénégal. Edité par le Bureau de la Propriété Intellectuelle et des Ressources Génétiques de l'ISRA, Dakar (Sénégal), 191 pages.
- Mbaye M.S. (2013). Association mil [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] et niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] : arrangement spatio-temporel des cultures, structure, dynamique et concurrence de la flore adventice et proposition d'un itinéraire technique. Thèse d'Etat ès Sciences Naturelles, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal), 227 pages + Annexes.
- Merlier H. et Montegut J. (1982). Adventices tropicales. Flore aux stades plantule et adulte de 123 espèces africaines ou pantropicales. ORSTOM-GERDAT-ENSH Paris (France), 490 pages.
- Milleville P., Grouzis M., Razanaka S. et Razafindrandimby J. (2000). Systèmes de culture sur abattis-brûlis et déterminisme de l'abandon cultural dans une zone semi-aride du Sud-Ouest de Madagascar. In : La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement, alternatives, 59-72. Floret Ch. et Pontanier R. (Eds). Actes du Séminaire international sur la jachère en Afrique tropicale, 13-16 avril 1999, Dakar (Sénégal). Editions John Libbey Eurotext, Paris (France).
- Ministère de la Coopération Française (2002). Fonio, 824-825. In : « Mémento de l'agronome ». CIRAD-GRET, Paris (France), 1698 pages.
- Morakinyo J.A. and Adelakun A.A. (1997). Effect of gamma radiation on meiosis and pollen grain viability in *Digitaria exilis*. *Nigerian Journal of Genetics* 12:29-36.
- Mucheru-Muna M., Mugendi D., Pypers P., Mugwe J., Kung'u J., Vanlauwe B. and Merckx R. (2013). Enhancing maize productivity and profitability using organic inputs and mineral fertilizer in central Kenya small-hold farms. *Experiment Agriculture* 50(2): 250-269.
- Nafziger E.D. (1994). Corn planting date and plant population. *Journal of Production Agriculture* 7:59-62.

- Ndao A. (2011).** Diversité, abondance et prévalence des principaux coléoptères ravageurs de stocks de fonio, de maïs et de mil au Sénégal. Mémoire de Master II en Biologie Animale, Spécialité Entomologie. Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 30 pages + annexes.
- Ndiaye A. (1991).** Note sur l'expérimentation sur le fonio à Ndiol (Vallée du fleuve Sénégal). Document Interne, ISRA, DRPV, CRA Saint Louis (Sénégal), 5 pages.
- Ndiaye M., Termorshuizen J. and Bruggen H. C. (2008).** Effect of rotation of cowpea (*Vigna unguiculata*) with fonio (*Digitaria exilis*) and millet (*Pennisetum glaucum*) on *Macrophomina phaseolina* densities and cowpea yield. *African Journal of Agriculture Research* 3: 37-43.
- Ndiaye P. et Boulet J. (2000).** Organisation et dynamique des systèmes de production dans le terroir de Bandafassi (Sénégal). In : La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement et alternatives, 73-79. Floret Ch. et Pontanier R. (Eds). Actes du séminaire international, 13-16 avril 1999, Dakar (Sénégal). John Libbey Eurotext, Paris (France).
- Ngezimana W. and Agenbag G.A. (2013).** Effects of nitrogen (N) and Sulphur (S) on canola (*Brassica napus* L.) vegetative and reproductive growth under controlled conditions. *African Journal of Agricultural Research* 8(39): 4887-4894.
- Ngoran A. et Kanga A.Ng. (2000).** Influence d'un précédent de légumineuse herbacée et d'une jachère courte de deux ans sur la productivité du maïs au nord de la Côte d'Ivoire. In : La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement et alternatives, 616-621. Floret Ch. et Pontanier R. (Eds). Actes du séminaire international, 13-16 avril 1999, Dakar (Sénégal). John Libbey Eurotext, Paris (France).
- Niang Seydi M.F. (2010).** Analyse de la filière fonio en Casamance et au Sénégal oriental : Situation actuelle et opportunités de développement. Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome. Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Thiès. Université de Thiès (Sénégal), 60 pages + annexes.
- Nielsen R.L., Thomison P.R., Brown G.A., Halter A.L., Wells J. and Wuethrich K.L. (2002).** Delayed planting effects on flowering and grain maturation of dent corn. *Agronomy Journal* 94:549-558.
- Nkamleu G.B., Kamajou F. et Gockowski J. (2000).** La pratique de la jachère en Afrique tropicale : caractérisation comparée au Nigéria et au Cameroun. In : La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement et alternatives, 1-15. Floret Ch. et Pontanier R. (Eds). Actes du séminaire international, 13-16 avril 1999, Dakar (Sénégal). John Libbey Eurotext, Paris (France).
- 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 doctorat d'état en sciences naturelles. Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop, Dakar (Sénégal), 128 pages.
- Odhambo J.J.O. and Magandini V.N. (2008).** An assessment of the use of mineral and organic fertilizers by smallholder farmers in Vhembe district, Limpopo province, South Africa. *African Journal of Agricultural Research* 3(5): 357-362.
- Omokanye A.T., Kelleher F.M and McInnes A. (2011).** Low input cropping systems and nitrogen fertilizer effects on crop production: soil nitrogen dynamics and efficiency of nitrogen use in maize crop. *American-Eurasian J. Agric. And Environ. Sci.* 11(2): 282-295.
- Onguene N.A., Onana C.S.O. and Onana L.G.O. (2012).** Starter N and P fertilizers have dissimilar effects on native mycorrhizal and bradyrhizobial symbiosis of four promiscuous soybean varieties in acid soils of Cameroon. *Tropicultura* 30(3): 125-132.
- Pande H.K., Tran D.V. and That T.H. (1997).** Système améliorés de riziculture pluviale. FAO, Rome. www.fao.org/docrep/003/t0751f/t0751f00.htm (consulté le 31/12/2015).

- Paraïso A.A., Sossou A.C.G., Yegbemey R.N. et Biaou G. (2011). Analyse de la rentabilité de la production du fonio (*Digitaria exilis* S.) dans la commune de Boukombe au Bénin. *J. Rech. Sci. Univ. Lomé* (Togo) Série A 13(1) : 27-37.
- Philip T. and Itodo I. (2006). Acha (*Digitaria spp.*) a "Rediscovered" Indigenous Crop of West
- Pieri C. (1989). Fertilité des terres de savanes : bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, Paris (France), 444 pages.
- PNIA (2009). Bilan diagnostic du secteur agricole : revue des politiques, stratégies et programmes et performances du secteur. Document du Ministère de l'Agriculture, République du Sénégal, Dakar (Sénégal), 105 pages + annexes.
- Purseglove J.W. (1972). Tropical crops: monocotyledons, volume 1.. John Wiley & Sons, New York, NY (USA), 334 pages.
- Raunkier C. (1934). The life forms of plants and statistical plants geography. Clarendon, Press, Oxford, 623 pages.
- Saito K., Linquist B., Atlin G.N., Phanthaboon K., Shiraiwa T. and Horie T. (2005). Response of traditional and improved upland rice cultivars to N and P fertilizer in northern Laos. *Field Crops Research* (DOI:10.1016/j.fcr.2005.07.003).
- Sall M. (2010). Maïs : entre politique volontariste et incertitudes commerciales. In : L'agriculture sénégalaise à l'épreuve du marché 97-110. Eds : Duteurtre G., Faye Mb.D. et Dièye P.N., ISRA-KARTHALA, Dakar (Sénégal).
- Santens P. (1980). Agriculture spéciale, Fascicule n°13 : Sésame, Voandzou et Foïno. Document pédagogique, Institut Pratique Développement Rural de Kolo, Niger, 20 pages.
- Segnou J., Akoa A., Youmbi E. and Njoya J. (2012). Effet de la fertilisation minérale et organique sur le rendement en fruits du piment (*Capsicum annum* L. ; Solanaceae) en zone forestière de basse altitude au Cameroun. *Agronomie Africaine* 24(3) : 231-240.
- Sidibé A. (2003). Le fonio au Mali. In : Actes du Premier Atelier sur la Diversité Génétique du Fonio (*Digitaria exilis*) en Afrique de l'Ouest, 17-22. Vodouhe S.R., Zannou A., Achigan Dako E. (Eds). Conakry, Guinée, du 04 au 06 Août 1998. Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI), Rome, Italie. 73 pages.
- Squire G.R. (1990). The physiology of tropical crop production. CABI, Wallingford, United Kingdom, 236 pages.
- Swanson S.P. and Wilhelm W.W. (1996). Planting date and residue rate effects on growth, partitioning, and yield of corn. *Agronomy Journal*. 88:205-210.
- Taleb A., Bouhache M. et Rzozi S.B. (1997). Etude de la flore adventice de la canne à sucre dans la région de Loukkos. *Actes Inst. Agron. Vet.* (Maroc) 17(2) : 103-108.
- Taleb A., Bouhache M. et Rzozi S.B. (1998). Flore adventice des céréales d'automne au Maroc. *Actes Inst. Agron. Vet.* (Maroc) 18(2) : 121-130.
- Tendonkeng F., Boukila B., Pamo T.E., Mboko A.V. and Matumuini N.E.F. (2011). Effet direct et résiduel de différents niveaux de fertilization azotée sur la croissance et le rendement de *Brachiaria ruziziensis* à différents stades phénologiques: *Tropicultura* 29(4): 197-204.
- Thiam A.N. (2013). Insectes coléoptères prédateurs des stocks de fonio, de maïs et de mil : répartition et abondance dans différentes zones agro écologiques du Sénégal. Mémoire de Master II en Biologie Animale, Spécialité Entomologie. Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 29 pages + annexes.
- Trochain J.L. (1966). Types biologiques chez les végétaux intertropicaux (Angiospermes). *Bull. Soc. Bot. de France* : 188-196.

- Upadhyay P.N., Dixit A.G., Patel, J.R. and Chavda J.R. (2001). Response of summer pearl millet (*Pennisetum glaucum*) to time and method of planting, age of seedling and phosphorus grown on loamy sand soils of Gujarat. *Indian Journal of Agronomy* 46(1):126-130.
- USAID (2008). Chaîne de valeur de la filière fonio au Sénégal. International Resources Group, Washington D.C., 90 p.
- Vall E., Andrieu N., Beavogui F. and Sogodogo D. (2011). Les cultures de soudure comme stratégie de lutte contre l'insécurité alimentaire saisonnière en Afrique de l'Ouest : le cas du fonio (*Digitaria exilis* Stapf). *Cahier Agricultures* 20 (4) : 294-300. Doi : 10.1684/agr.2011.0499 (Décembre 2014).
- Vietmeyer N.D., Borlaugh N.E., Axtell J., Burton G.W., Harlan J.R. and Rachie K.O. (1996). Fonio (Acha). In: Lost crops of Africa, Volume I: Grains, 59-75 (Eds National Research Council). BOSTID Publication, National Academy Press, Washington, D.C.
- Vodouhe S.R. and Achigan Dako E.G. (2006). *Digitaria exilis* (Kippist) Stapf. [Internet] Record from Protabase. Brink M., Belay G. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa/Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands. <http://database.prota.org/search.htm>. (Accessed on May 30, 2012).
- Vodouhe S.R. and Dako E.A (2003). Renforcement de la contribution du fonio à la sécurité alimentaire et aux revenus des paysans en Afrique de l'Ouest. Actes du séminaire régional sur le fonio. Organisé par IPGRI, 19-22 novembre 2001 à Bamako (Mali), 71 pages.
- Vodouhe S.R., Sidibe A., Glele P., Kuta D. and Diallo A. (2005). Promoting fonio production in West and Central Africa through germplasm management and improvement of post harvest technology. Final Projet Report. Projet no. 2000.7860.0-001.00. IPGRI and CORAF/WECARD. 16 pages. (available at <http://www.underutilized-species.org>)
- Vodouhe S.R., Zannou A. and Achigan Dako E. (2003). Actes du Premier Atelier sur la Diversité Génétique du Fonio (*Digitaria exilis*) en Afrique de l'Ouest. Conakry, Guinée, du 04 au 06 Août 1998. Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI), Rome (Italie), 73 pages.
- Westerman R.L. (1990). Soil testing and plant analysis, Third Edition. *Soil Science Society of America Book Series* 3, Madison, Wisconsin (USA), 784 pages.
- Yang J., Zhang J. (2006). Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist* 169: 223-236.
- Yang J., Peng S., He Q., Yang H., Yang C., Visperas R.M. and Cassman K.G. (1998). Comparison of high-yield rice in tropical and sub tropical environments. I. Determinants of grain and dry matter yields. *Field Crops Research* 57: 71-84.
- Zidane L., Salhi S., Fadli M., El Antri M., Taleb A. et Douira A. (2010). Etude des groupements d'adventices dans le Maroc occidental. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 14(1) : 153-166.
- Zingore S., Delve R.J., Nyamangara J. and Giller K.E. (2008). Multiple benefits of manure: the key to maintenance of soil fertility and restoration of depleted sandy soils on African smallholder farms. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 80 : 267-282.

ANNEXES

Annexe I: Fiche technique culturale du fonio (Draft en cours d'illustration)

Type de sol :

Le fonio s'adapte à tous les types de sols : sablonneux, sablo-argileux, argileux ou gravillonnaire

Précédent cultural : Arachide ou jachère

Variétés : CFS 52, CVF 477 et Niata

Ecotype	50% floraison (Jour)	Hauteur plante (cm)	Poids 1 000 grain (g)	Rdt Station (kg/ha)	Rdt milieu paysan (kg/ha)	Rdt décor- ticage (%)	Rdt blanchi- ment (%)	Teneur protéines (% MS)
CFS 52	61	79,6	0,65	1 200	727	55	91	8,5
CVF 477	64	79,1	0,67	1 254	750	52	96	7,6
NIATA	67	78,6	0,72	1 288	744	52	95	8,6

Rdt = rendement ; MS = matière sèche

Préparation du sol

Pour avoir un bon lit de semis et optimiser les conditions de germination, il faut procéder de préférence à un labour profond à la charrue à une profondeur de 20-25 cm suivi d'un hersage ou à un grattage en humide à la houe sine. Le lit de semis doit être meuble et homogène pour assurer un bon établissement.

Fertilisation

Il est recommandé d'épandre 50 kg/ha de N-P-K (15 15 15) avant le hersage

Choix des semences

Utiliser des semences ayant un bon pouvoir germinatif, si possible des semences certifiées.

Date de semis :

La date optimale de semis se situe autour du 15 Juillet. Le semis durant cette période assure une bonne croissance et un rendement satisfaisant. Le semis précoce permet de diminuer la pression des mauvaises herbes.

Dose de semis

La dose optimale de semis varie entre 30 et 45 kg/ha

Mode de semis

Le semis se fait à la volée en humide, si possible par une seule personne afin d'assurer une homogénéité dans le semis. Les graines doivent être recouvertes à une profondeur de 2-3 cm à l'aide de branches d'arbres, d'un râteau ou d'une herse.

Il faut éviter de semer le fonio sur un sol engorgé ou un terrain en pente

Désherbage

Il consiste en un arrachage manuel des mauvaises herbes selon le calendrier suivant :

- 1^{er} désherbage à 30 jours le semis
- 2^e désherbage à 50 jours après le semis
- 3^e désherbage, au besoin en cas d'enherbement excessif

Après le désherbage, il faut prendre soin de ne pas laisser l'herbe dans le champ.

Protection phytosanitaire

- Fourmis : Faire un traitement du sol avec un insecticide homologué ou bien recouvrir les graines immédiatement après le semis
- Borers et insectes suceurs : Faire des traitements au Décis. Pour les insectes suceurs une solution à base de Neem peut aussi être utilisée
- Striga : Eviter les sols infestés de Striga. En cas d'infestation, procéder à l'arrachage dès plantes de Striga dès leur apparition
- Helminthosporiose : Faire un traitement de semence avec un fongicide systémique tel que métalaxyl-M à une dose 35-300g/100 kg de semence et faire un sarclage pour enlever les adventices réservoirs de pathogènes

Récolte

La récolte doit se faire à maturité quand les plants jaunissent et commencent à se coucher. Pour minimiser les pertes par égrenage la récolte doit se situer entre 1 et 2 semaines après la maturité physiologique.

Pour récolter, couper les tiges à 5 cm du sol à l'aide d'une faucille et rassembler les plants coupés en gerbes d'environ 2 à 3 kg.

Après la récolte, les gerbes doivent être séchées dressées, les panicules face au soleil pendant 3 à 5 jours.

Au cas où la récolte a lieu quand les pluies continuent à tomber, il faut suspendre les gerbes à l'envers le long d'une perche ou les disposer sur une plateforme en bois.

Battage et vannage

Le battage se fait au bâton ou par foulage sur un support propre exempt de sable ou de gravillons. Il est préférable d'utiliser une bâche pour éviter les impuretés plus particulièrement le sable.

Après le battage, le vannage est effectué pour séparer les graines des débris de pailles et des impuretés éventuelles.

Stockage

Le grain paddy propre doit être mis dans des sacs et stocké de préférence sur des claies dans un endroit propre, sec et aéré. Il faut éviter de surcharger les sacs

ANNEXE II : Mémoires encadrés et supports didactiques édités

- Diatta L. (2013). Comparaison de méthodes de semis chez le fonio (*Digitaria exilis* Stapf) dans les régions de Tambacounda et Sédhiou. Mémoire d'ingénieur des travaux agricoles, Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale de Bambey, Université de Thiès (Sénégal), 30 pages + annexes.
- Diédhiou C.T. (2008). Analyse des systèmes de cultures à base de fonio en Casamance et au Sénégal oriental. Mémoire d'ingénieur agronome, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Thiès (Sénégal), 49 pages + annexes.
- Kanfany G. et Gueye M. (2010). Support de formation. Techniques culturales et post récolte du fonio, 10 pages.
- 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), 45 pages.
- Kanfany G. (2009). Effets de la fertilisation organo minérale sur la croissance et le rendement du fonio (*Digitaria exilis* Stapf) en Casamance et au Sénégal Oriental. Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondie (DEA) en Agronomie et Protection des cultures. Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Thiès (Sénégal), 38 pages.
- Kanfany G. et Gueye M (2011). Avantages de respecter la dose de 30 kg de semences par hectare pour le semis du fonio au Sénégal. Brochures du FNRAA (2011), 17-18.

Annexe III : Manuscript n°1 pour publication scientifique (Abstract)

Titre : Agronomic constraints to the development of fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf) in Senegal

In Senegal, fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf) is grown mainly in Casamance and Eastern Senegal, agro-ecological zones located in the southern and eastern parts of the country and in respectively. Fonio consumption is in high demand in the urban centres of the country and in some developed countries. However, grain yields are still very low (200 - 700 kg ha⁻¹). A field survey was conducted in farmers' fields into 88 villages to identify the major constraints of low grain yields of fonio in the main producing areas: Sedhiou and Kolda provinces in Casamance and Tambacounda and Kedougou provinces in Eastern Senegal. The results showed that fonio is grown on sandy clay, sandy or gravelly soils. The fonio fields of 80% farmers were less than 0.5 ha in size. Groundnut is the best preferred previous crop for fonio rotation system. Most of farmers (70%) used medium maturing landraces (90-day cultivars). Soil was ploughed or scratched before sowing. The sowing techniques consisted of broadcasting seeds which allowed to introduce them later into the soil by scraping or hand using branches. Fonio fields receive little or no fertilizer while plant protection measures are absent. Weeds are controlled by hand pulling one month after planting. Highest grain yields (1160 kg ha⁻¹) were obtained in Kolda and Kedougou provinces while lowest yields were observed in Tambacounda province (780 kg ha⁻¹) and Sedhiou province (769 kg ha⁻¹). This field survey has allowed the identification of major constraints of fonio production in the southern and southeastern regions of Senegal and led to emphasize cultural practices that may improve fonio yield.

Key words: Fonio, *Digitaria exilis*, field survey, agronomic constraints, Senegal.

Annexe IV : Manuscrit n°2 pour publication scientifique (Abstract)

Titre : Effects of Harvest Date on Dry-matter and Grain Yields in Fonio Millet (*Digitaria exilis Stapf*) in Southeastern Senegal

Fonio millet (*Digitaria exilis*) is a small cereal crop mainly grown in Casamance and Senegal Oriental, agro-ecological zones situated in southern and southeastern Senegal (West Africa), respectively. Grain yields are low and variable and generally less than 500 kg per hectare. Low yields result from low-input cropping systems with poor-yielding landraces and high grain loss due to lodging, grain shattering, and insect damage, which increasingly affected grain yield when harvest occurred too late. In order to improve grain yield by limiting yield-related losses, successive harvesting times were compared in 2010 at Bandafassi and in 2011 at Sinthiou Maleme. The two sites are located respectively southward and northward in Sénégal Oriental. Harvesting times were arranged in a randomized complete block design with 5 replications. Aerial dry biomass and grain size were not negatively affected by the harvesting date, but significant variations were recorded in grain yield at both locations. Dry aerial matter increased with later harvest date. Maximum grain yields were recorded when fonio straw was harvested around 90-97 days after planting. Pre-maturity harvesting (between 76 and 83 days after sowing) and late harvesting (at least 111 days after sowing or 3 week after plant maturity) significantly reduced grain yield by 74% and 34%, respectively, in comparison to the optimal harvest period. These results suggested that fonio farmers should harvest fonio straws at 1-2 weeks after plant maturity for fonio landraces with maturity ranging 75-90 days. Further investigations are needed with respect to grain composition, seed quality, and forage quality.

Key Words: Fonio, *Digitaria exilis*, Harvest, Dry matter, Grain lost, Yield, Senegal.

Annexe V: Article publié dans IJBACS

Moustapha GUEYE, Ghislain KANFANY, Amadou FOFANA, Mamadou GUEYE, Kandioura NOBA and John H. GROVE (2015). Effect of planting date on growth and grain yield of fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf) in the Southeast of Senegal. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 9(2): 581-592.

ABSTRACT

Fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf) is an annual cereal grown in south part of Senegal (West Africa). Its small grains play an important role in food security and social values. Recently, fonio-based products are becoming an incentive income source for groups promoting women. However, grain yields are still low and unstable, basically due to poor-yielding landraces without consistent crop management. A field experiment was carried out during 2010 and 2011 rainy seasons in southeastern Senegal to study the effects of 8 weekly planting dates, from July 1st to August 12th, on a short-season local cultivar ('Momo') and to identify the optimal time of sowing for the maximum biomass and grain yields. In general, the plant growth features and the yield performances recorded significant maximum values with the early July sowings than that of the other dates. Late plantings resulted in shortening the maturity date and in reduction of grain size and grain yield, particularly in short and erratic rainy season. However, the tillering capacity and the grain size were not influenced irrespective of the date of sowing. The tallest plants and the maximum aerial biomass were recorded with the planting within the first fortnight of July. High rains during vegetative stage negatively affected seedling vigor for delayed plantings. In addition, the effect of decreasing photoperiod and rain scarcity during grain set and grain filling were among the main limiting factors for late planted plants. Maximum grain yields were obtained on 15-July planting which averaged 1,111 and 1,269 kg ha⁻¹ in 2010 and 2011, respectively. Compared to this optimal planting time (July 15), delaying sowings increasingly reduced the grain yield by 50% and 87% in 2010 and 2011, respectively. Consequently, based on this 2-year investigation, the first fortnight of July could be concluded as optimal sowing time for early-maturity cultivars in the South of Senegal.

Additional words: Fonio millet, *Digitaria exilis*, sowing time, plant growth, grain yield, Senegal.

Annexe VI: Résumé de la communication orale lors de la 3e conférence internationale sur les espèces et cultures négligées, Accra (Ghana), 25-27 septembre 2013.

Agronomic diagnosis on farmers' fields and effects of harvest date on fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf) in south-eastern Senegal

G. Kanfany^{1*}, M. Gueye² and K. Noba³

¹Africa Rice Center, Africa Rice Sahel Station, B.P. 96, Saint Louis, Senegal; ²Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), Sénégal; ³Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Sénégal

*Corresponding author: E-mail: kanfanyghislain@yahoo.fr

Fonio millet (*Digitaria exilis*) is a tropical cereal crop grown in Casamance and Senegal Oriental, two agro-ecological zones located in south and south-eastern Senegal, respectively. Research activities have been implemented in the production areas and at research stations in order to fill the knowledge gaps and improve the cultivation techniques. Firstly, a field survey was conducted in 2009 with 282 randomly selected farmers who used to crop fonio in their lands. Secondly, a trial on harvest date has been carried out during the rainy seasons 2010 and 2011, in Bandafassi and Sinthiou Maleme, respectively. The field diagnosis shows that fonio millet is cultivated on sandy soils or low fertility soils. In addition, around 80% of farmer fields are less than 0.5 hectare and the preceding crops are generally peanuts. Farmers use low-yielding landraces with low inputs. The seed are broadcast and crop husbandry is totally manual. The grain yields are variable and lower than 500 kg/ha. The grain losses become higher when harvest occurs too late. In order to improve grain yields by limiting yield-related losses, successive harvesting times were compared in 2010 at Bandafassi and in 2011 at Sinthiou Maleme. The results show no statistical effect of delayed harvest dates on aerial dry biomass and grain size. However, significant reductions were recorded in grain yield at both locations with successive harvest dates. The maximum grain yields were recorded when fonio straws were harvested between 90 and 97 days after the planting date. When fonio straws are mowed before 83 days after sowing or more than 111 days after sowing, the grain yields were reduced by 74% and 34%, respectively, in comparison to the optimal harvest period. Regarding these findings, farmers should harvest fonio straws at 1-2 weeks after plant maturity for fonio landraces with maturity ranging between 75-90 days.

Keywords: fonio, *Digitaria exilis*, harvest, dry matter, yield, Senegal.

Citation: Hall, R. A., P. Rudebjer, S. Padulosi. (eds.) 2013. 3rd International Conference on: Neglected and Underutilized Species (NUS): for a Food-Secure Africa. Accra, Ghana, 25-27 September 2013. Book of Abstracts. Bioversity International, Rome, Italy.

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE DOCTORALE : SCIENCES DE LA VIE,
DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT (ED-SEV/UCAD)

FACULTE : SCIENCES ET TECHNIQUES

Thèse de Doctorat Biologie, Physiologie et Productions Végétales
Spécialité : Protection et Production Végétales

Titre : Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et de récolte du fonio
blanc (*Digitaria exilis* Stapf ; Poaceae) au Sénégal Oriental et en Casamance (Sénégal)

Doctorant : M. Moustapha GUEYE

RESUME

Le fonio blanc (*Digitaria exilis*) est une céréale négligée et cultivée essentiellement dans les régions sud et sud-est du Sénégal. La production nationale en grain paddy fonio est faible alors que la consommation en produits à base de fonio s'accroît dans le pays. Cette situation est due aux faibles rendements grain et à l'absence de référentiel technique de production, en particulier sur la phytotechnie. L'objectif général de notre travail est de contribuer à l'augmentation de la production et de la productivité du fonio ; et plus spécifiquement de mettre au point des techniques améliorées pour le semis, le plan de fumure et la période de récolte. Pour cela, une étude des pratiques locales a été conduite dans 88 parcelles de fonio en milieu paysan dans les zones de production et des tests agronomiques sur (i) les techniques de semis, (ii) l'amendement et la fertilisation et (iii) la période de récolte ont été menés en condition semi contrôlée. Le diagnostic des pratiques paysannes a montré que le fonio est cultivé sur de petites superficies variant entre 0,4 et 1,5 ha par champ. La majorité des producteurs suivis (88%) pratiquent les rotations culturales bien que la monoculture est une pratique fréquente dans la région sud-est du pays. L'arachide est le principal précédent cultural du fonio dans toute la zone étudiée. Les rendements grain paddy dépassent rarement 500 kg/ha et cette faible production est liée entre autres au faible potentiel des cultivars locaux, à l'absence ou à la faible utilisation d'intrants agricoles et aux importantes pertes de grains entre la récolte et les opérations post récolte. Les résultats sur le test de semis montrent que la période de semis a une influence sur la densité de plantes, leur croissance et le rendement grain paddy. La période optimale de semis correspond à la première quinzaine du mois de juillet chez les cultivars précoces. Le test sur les doses de semences a révélé une corrélation positive entre la maîtrise des adventices et les quantités de grains semés/ha. La dose de 30-45 kg semences/ha est recommandée pour éviter le gaspillage de grains sans favoriser la compétition des adventices. La comparaison de modes de semis a montré que le semis à la volée permet une bonne maîtrise des adventices en comparaison aux modes de semis en lignes ou en poquets. Les essais sur l'amendement et la fertilisation ont confirmé que la culture du fonio n'est pas exigeante par rapport à la qualité des sols. Cependant, des apports modérés d'azote, de phosphore et de potassium ont des effets agronomiques similaires par rapport à ceux engendrés par les fortes doses d'engrais minéraux. Un apport de 50 kg/ha d'engrais NPK (15-15-15) est recommandé pour assurer de meilleurs rendements en grain sans appauvrissement continu des sols. L'évaluation de dates de récolte a montré que les récoltes tardives peuvent engendrer une réduction de 32-48% sur le rendement grain. La période optimale de récolte se situe entre 97 et 104 jours après semis ou entre 1 et 2 semaines après maturité des plantes chez les cultivars précoces. Ces résultats sur le semis, le plan de fumure et la période de récolte constituent des éléments importants pour la mise au point d'un itinéraire technique performant et adapté. Ces acquis pourraient être renforcés avec des investigations complémentaires sur la biologie et la physiologie de la plante dans le cadre de l'intensification et de la diversification des céréales.

Mots clés: Fonio, *Digitaria exilis*, pratiques paysanne, semis, fertilisation, récolte, Senegal

ABSTRACT

Fonio millet (*Digitaria exilis*) is a minor cereal crop mainly grown in southern and southeastern Senegal. National production is still low whereas fonio consumption is being increased. Low yields are due to low yielding local cultivars and lack of improved cultivation techniques, particularly in seeding, fertilizing and harvesting techniques. Our research comprising field surveys within 88 farmer's fields in fonio production zones and on-station trials regarding sowing techniques, amendment and fertilization and harvesting techniques aimed at improving grain yields of fonio in these two zones. Field surveys show that fonio millet is cultivated with small plot ranging between 0.4 and 1.5 ha. Of farmers monitored, 88% adopted crop rotation for fonio but continuous fonio cropping is relatively well adopted in south southeastern Senegal. Overall, peanut is the main preceding crop for fonio cropping system. Low yields result from low-input cropping systems with poor-yielding landraces and high grain loss due to lodging, grain shattering, and insect damage, which increasingly affected grain yield when harvest occurred too late. Planting time negatively affected plant density, plant growth and grain yield of fonio millet. Sowing in the first fortnight of July is considered as optimal time for seeding. Seed rates test revealed positive relationship between weed control and seed rate of fonio. Sowing at 30-45 kg/ha is reasonable for better plant growth, seed wastes and higher grain yield of fonio. Comparison of organic and inorganic fertilizers confirmed that fonio millet is a low uptake mineral nutrients crop and fertilizing at least 50 kg NPK per ha is recommended to sustain grain yield and restoring soil fertility. Harvest date trial showed that the dry aerial matter increased with later harvest date whereas maximum grain yields were recorded when fonio straw was harvested around 90-97 days after planting. Late harvesting (after 111 days after sowing or 3 weeks after plant maturity) significantly reduced grain yield by 32-48%, in comparison with the optimal harvesting date. Fonio farmers should harvest fonio straws at 97-104 days after planting or 1-2 weeks after plant maturity for fonio landraces with maturity ranging 75-90 days. These results are key elements for the development of enhanced cultivation techniques. Additional investigations on plant biology and plant physiology are recommended with respect to the improvement and the diversification of local cereals crops.

Additional words: Fonio, *Digitaria exilis*, farmer's practices, sowing, fertilization, harvesting, Senegal



Available online at <http://ajol.info/index.php/ijbcs>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 9(2): 581-592, April 2015

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

International Journal
of Biological and
Chemical Sciences

Original Paper

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Effect of planting date on growth and grain yield of fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf) in the Southeast of Senegal

Moustapha GUEYE^{1*}, Ghislain KANFANY^{2,3}, Amadou FOFANA², Mamadou GUEYE⁴,
Kandioura NOBA⁵ and John Hamman GROVE⁶

¹Centre de Recherches Zootechniques de Kolda, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles,
ISRA/CRZ Kolda, BP 53 Kolda, Sénégal.

²Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles,
ISRA/CNRA, BP 211 Bambey, Sénégal.

³West Africa Center for Crop Improvement, University of Ghana, PMB 30, Accra, Ghana.

⁴Académie Nationale des Sciences et Techniques du Sénégal, BP 4344 Dakar RP, Dakar, Sénégal.

⁵Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, BP 5005 Fann-Dakar, Sénégal.

⁶Department of Plant and Soil Sciences, University of Kentucky, Lexington, KY 40546-0091, USA.

*Corresponding author, E-mail: taffaguey@yahoo.fr; moustapha.gueye@isra.sn; Tel: (+221) 77 617 55 27

ABSTRACT

A field experiment was carried out during the rainy cropping seasons of 2010 and 2011 in Southeastern Senegal. The study aimed at investigating the effects of sowing dates on plant growth and grain yield of fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf). Seven planting times (from early July to mid August with 7-day interval) were laid out in a randomized complete block design. In general, plant growth and grain yield were significantly better for the early July sowing dates compared to other sowing dates. However, tillering capacity and grain size were not influenced by the sowing date. Highest grain yields were obtained on 15-July planting date with an average of 1,111 kg ha⁻¹ in 2010 and 1,269 kg ha⁻¹ in 2011. Compared to this planting date, the delay in sowing reduced grain yield by 50% in 2010 and 87% in 2011. Detrimental high rains to seedling vigor, decreasing sunshine during the plant growth, and rain deficit during the reproductive phase were among the main limiting factors for late sowings. Hence, the first fortnight of July could be recommended as optimal sowing period for early maturing cultivars of fonio in Southeastern Senegal.

© 2015 International Formulae Group. All rights reserved.

Key words: Fonio, *Digitaria exilis*, sowing date, growth, yield, Senegal.

INTRODUCTION

Fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf) is a cereal crop mainly grown in the southern and southeastern provinces of Senegal (Lo, 2003; USAID, 2008; Cruz et al., 2011). It plays an important role as a complementary staple food in rural areas (Diedhiou, 2008; Vall et al., 2011). In addition, more recently, fonio by-

products, like husked grains and parboiled grains, are being used for income generation for small scale farmers and women groups in these areas of the country. Unfortunately, grain yields are low with an average of less than 600 kg ha⁻¹ (Diedhiou, 2008; ANSD, 2010) and generally farmers failed in marketing the production surplus (USAID,

2008; Niang-Seydi, 2010). Recent field surveys revealed that farmers prefer planting the early or the intermediate maturing landraces instead of the late maturing ones (Diedhiou, 2008; Kanfany, 2008). The early cultivars help farmers to match the crop growth and development cycle to the duration of actual rainy season (Azam-Ali and Squire, 2002). With climatic changes, the Southern and Southeastern provinces of Senegal have experienced frequent erratic and scarce rainfalls, even though they remain the wettest areas of the country. Under such climate conditions, decision making on whether or not to sow become a real concern to farmers who must cope with a heavy workload over the crop calendar.

In addition, knowledge on the optimal time of sowing is lacking nationwide (USAID, 2008; Fall and Lo, 2009) and little research undertaken in other fonio producing countries mainly focused on germoplasm collections and characterizations, and post harvest technologies improvement (Vodouhe et al., 2003; Vodouhe et al., 2005; Vodouhe and Achigan Dako, 2006). The objective of this study was to investigate the effects of sowing dates on fonio plant growth and grain yield in Southeastern Senegal.

MATERIALS AND METHODS

Experimental sites

Field trials were carried out at two sites in Southeastern Senegal during the rainy seasons of 2010 and 2011. The sites were Bandafassi (12°32' N, 12°18' W, 215 m above sea level) and Sinthiou Maleme (13°49' N, 13°55' W, 6 m above sea level). Bandafassi is located in Kedougou province and Sinthiou Maleme is located in Tambacounda province (Figure 1). In this part of the country, the rainy season starts between mid May and June, and ends in October, with a unimodal pattern where August and September are the rainiest months. The trends of the main agro-meteorological parameters are shown in Figures 2 and 3. The long-term rainfall (1971-2000) averages are 1085 mm at Bandafassi and 677 mm at Sinthiou Maleme. For both

sites, air temperature is lower whereas air humidity is higher during the rainy season. Soil analyses show that the soils of both sites were acidic with low organic matter and low cation exchange capacity (Table 1). The soil in Bandafassi was sandy to clayey with small gravels in the topsoil layer and it was sandy to loamy in Sinthiou Maleme.

Experimental design

Seven (7) sowing dates were assigned in a randomized complete block design, with 4 and 5 replicates in 2010 and 2011, respectively. The first sowing dates started on July 1st in 2010 and on July 8th in 2011 and the following sowing dates were at a 7-day interval (Table 2).

Crop management

The experiment was carried out during the rainy season, from July to October in both years. Prior to sowing, plots were ploughed, manually weeded, and fertilized with NPK complex (15% N, 15% P₂O₅ and 15% K₂O) at a rate of 100 kg ha⁻¹. Seeds of the early maturing landrace of fonio known as 'Momo' (Diedhiou, 2008; Kanfany, 2008) were broadcasted in each plot at a rate of 30 kg ha⁻¹ as recommended by Kanfany and Gueye (2011). The weeding and insecticidal spraying against sucking insects and leaf worms were done when needed during each growing season. The plots were protected against domestic animals and birds from grain setting to harvest period. In 2010, all the plots were normally harvested but in 2011 the first sowing date began on July 8th, due to late onset of rainy season and dry spell; whereas the last two sowing dates were not harvested, due to poor plant growth and drought during grain filling. For each year, harvest time was done in agreement with the findings of Bakare (2005).

Data collection

Monthly air temperature, relative humidity, sunshine and long-term rainfall (1971-2000) data were collected at the Agence Nationale de Météorologie du Sénégal

(ANAMS) and from the Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey (CNRA). The daily rainfall was recorded by means of rain gauge placed next to experimental sites.

The plant growth parameters (plant population, plant height, and number of tillers per plant) were assessed in both years. The phenology data (date to 50% heading, date to 50% flowering, and date to 50% grain maturity) were only evaluated in 2010. The plant population was estimated in 3 small squares measuring 0.5 m by 0.5 m randomly taken and delimited in each plot. Plant height and number of tillers per plant were recorded on ten randomly selected plants per plot. The phenology data was only assessed in one replicate due to its high demand in time and labor for the recording.

At maturity, plant stems were cut using sickles at the closest ground possible and sun-dried for 30 days prior to weighing. Plant aerial biomass weight and grain yield were recorded for each plot in both years. Three 1000-grain samples were weighed by using a precision balance.

Statistical analyses

All data were subject to analyses of variance (ANOVA), except the phenological parameters. Mean separations were performed using Least Significant Difference Test if the *F*-test for treatment effects were significant ($P \leq 0.05$) according to Gomez and Gomez (1984). These statistical analyses were performed using GenStat Discovery Edition 4 (VSN International Ltd, United Kingdom).

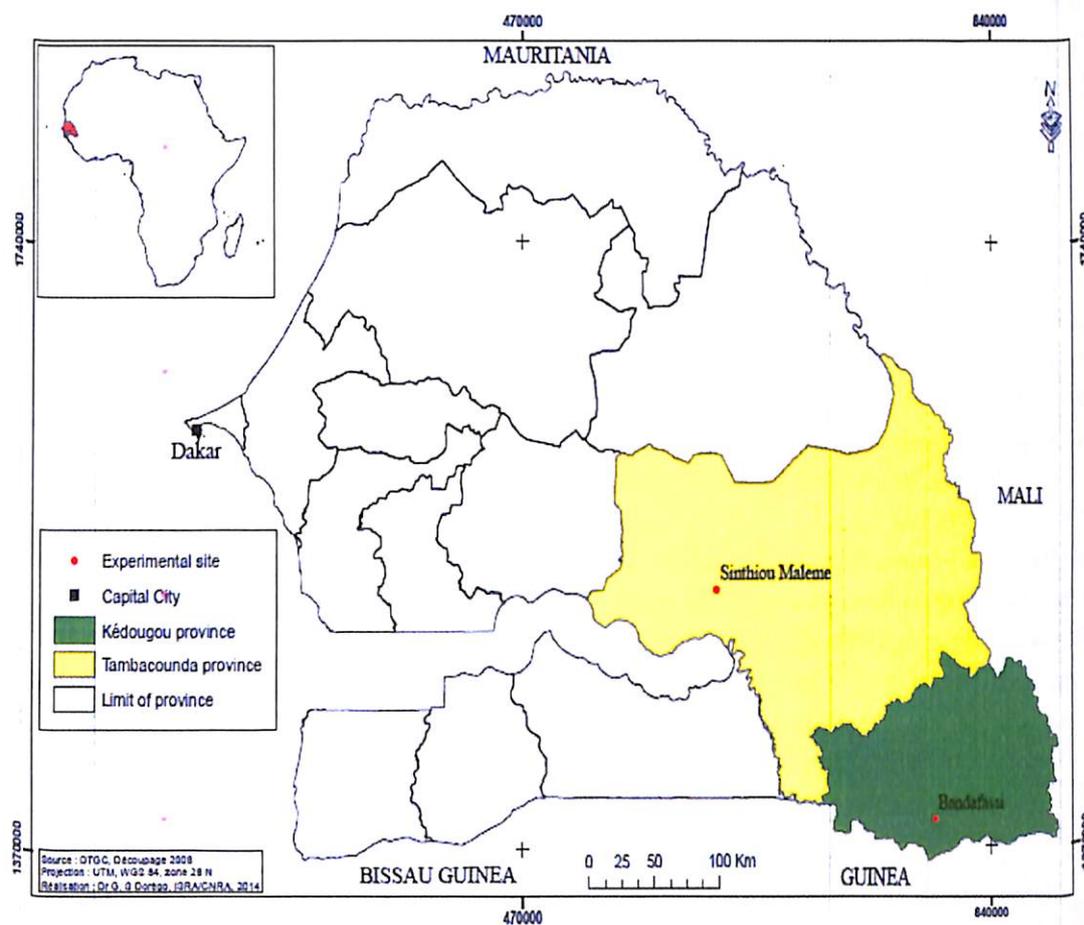


Figure 1: Localisation of the experimental sites in Southeastern Senegal. Courtesy from Dr Seraphin Dorego (CNRA Bambey).

RESULTS

Seasonal conditions

Air temperature and sunshine are shown in Figure 2 for years 2010 and 2011. During the rainy season of 2010, from May to October, the monthly minimum temperature ranged between 21.5 and 27.1 °C and the maximum between 31.0 and 39.4 °C. The minimum temperature ranged between 21.8 and 26.1 °C and the maximum between 32.4 and 41.0 °C, during the 2011 rainy season. The monthly duration of the sunshine averaged between 5.3 and 7.2 hours per day for 2010 and between 6.0 and 8.9 hours per day for 2011.

Higher air humidity was observed from May to October (Figure 3). Its minimum and maximum values ranged 38-66% and 91-98% in 2010, respectively; whereas they ranged 23-64% and 56-95% in 2011, respectively.

The rainfall for 2010 and 2011 were 1321 mm for 89 rainy days, and 784 mm in 45 rainy days, respectively. Both years were considered to have normal rainy season compared to the long-term rainfall from 1971 to 2000 at all sites (Figure 3). However, the rainy season globally was wetter and well-distributed in 2010 while the effective rain started later and ceased earlier in 2011. The early planting dates received more rain compared to the late plantings that had less rainfall during the entire growing season, but more heavy rains during their growth stage for each sowing date (Table 3).

Characteristics of plant growth

For both years, the planting date influenced fonio millet plant population, its vigor and phenology. The early sowing dates

generally resulted in better plant growth characteristics (Figures 4 and 5). In 2011, plant population averaged 1029, 661, 530, 275, and 551 plants m⁻² for respectively, the following sowing dates: July 8th, 15th, 22nd and 29th, and August 5th. Days to heading, days to flowering and plant maturity were slightly shortened with late plantings in 2010 (Data were not recorded in 2011). At maturity, as shown in Figure 5, the tallest plants were observed with sowing dates up to July 22nd whereas the shortest plants were observed when sowing dates placed at the end of July and in August ($P < 0.001$). The number of tillers per plant ranged from 2.6 to 4.4 in 2010 and from 3.7 to 4.5 in 2011 (Figure 5); but this number of tillers was not statistically influenced by the delayed sowing in both years.

Aerial biomass and grain production

Table 4 shows that sowing date significantly affected plant aerial biomass ($P < 0.05$ in 2010 and $P < 0.01$ in 2011) and grain yield ($P < 0.001$ for both years). Highest aerial biomass and grain yield were obtained with the July 15th sowing date. Sowing before and after this date led to a reduction in biomass and grain yield. Sowing after July 15th reduced aerial biomass and grain yield by 23% and 50% in 2010, respectively, whereas these reductions were respectively 54% and 87% in 2011. The 1000-grain weight ranged between 0.63 and 0.66 g in 2010 and from 0.50 to 0.60 g in 2011 (Table 4). Grain size was higher in 2010 compared to 2011, but was not affected by late planting dates for both years.

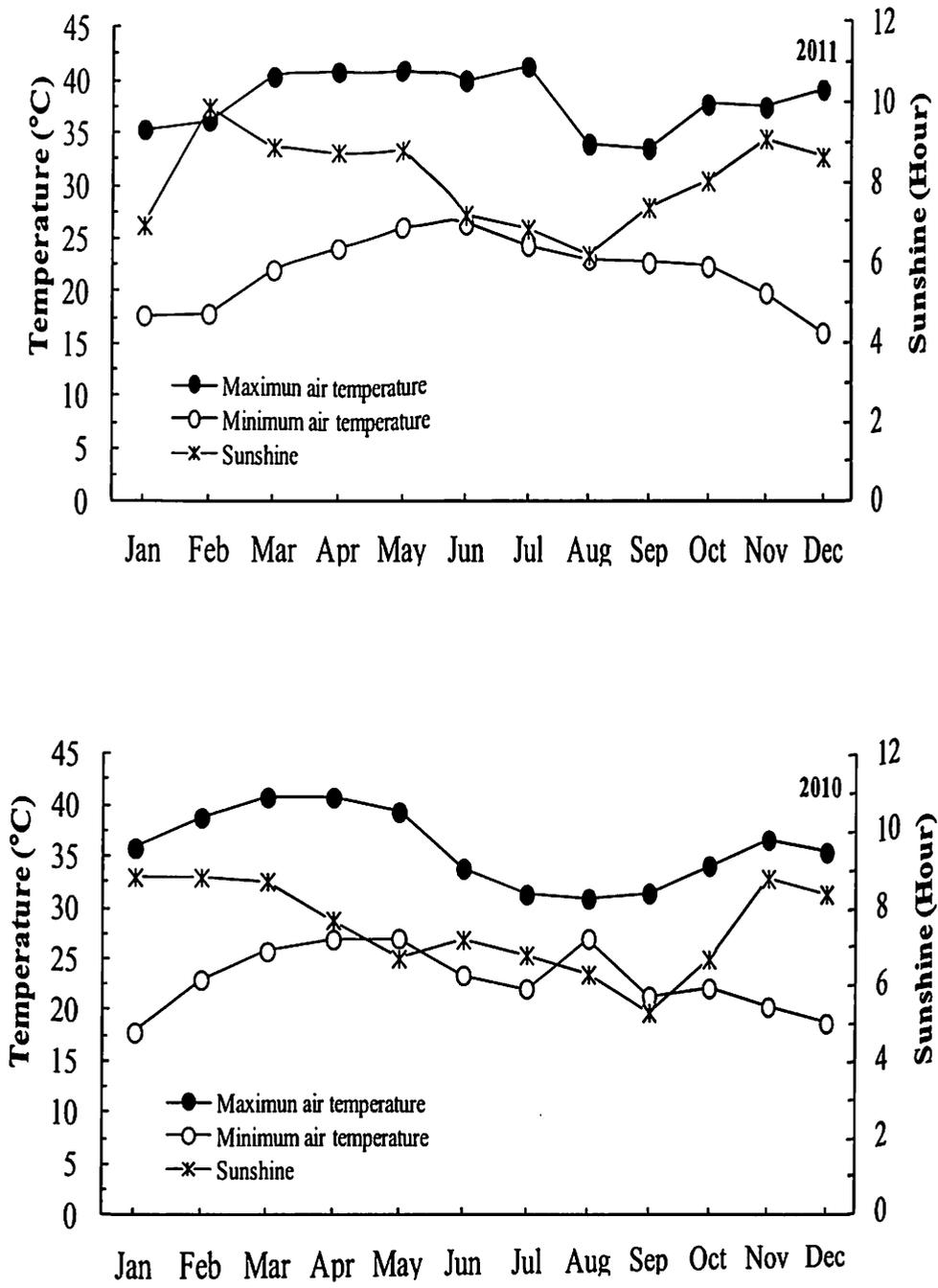


Figure 2: Air temperature and sunshine in Southeastern Senegal in 2010 and 2011.

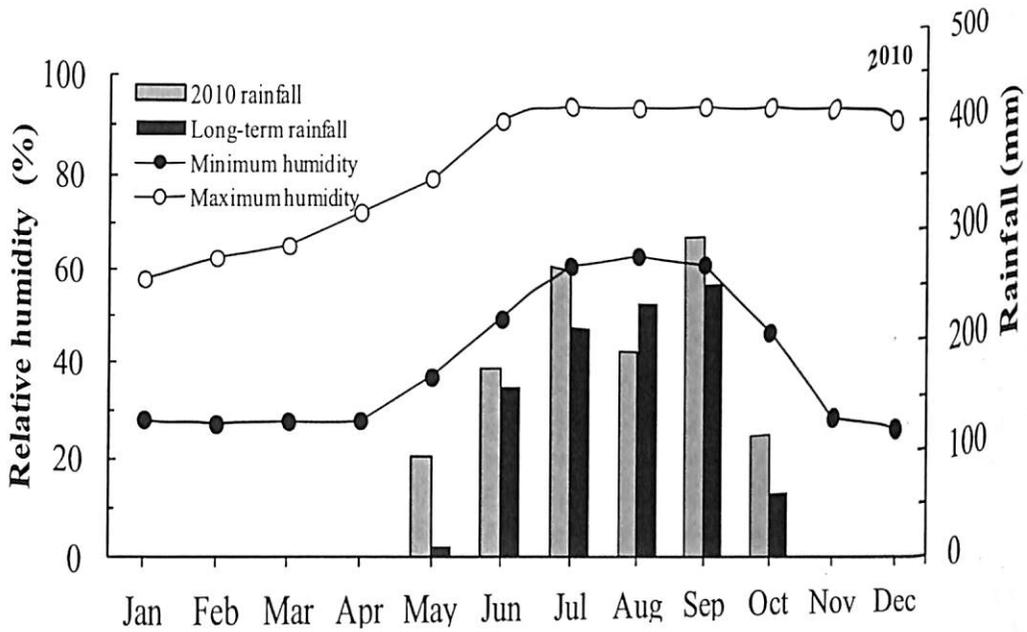
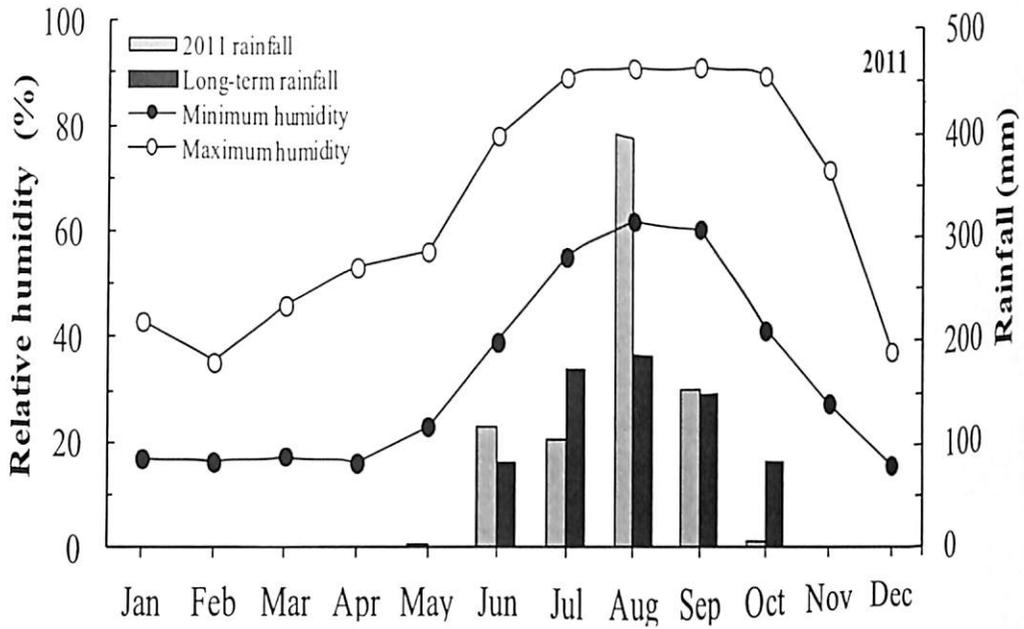


Figure 3: Relative humidity and rainfall in Southeastern Senegal in 2010 and 2011.

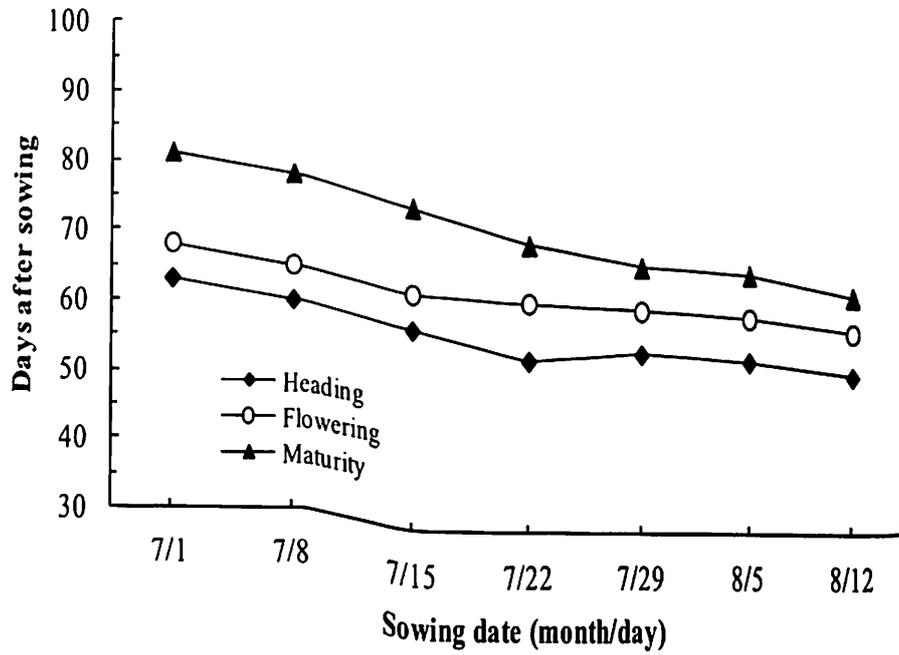
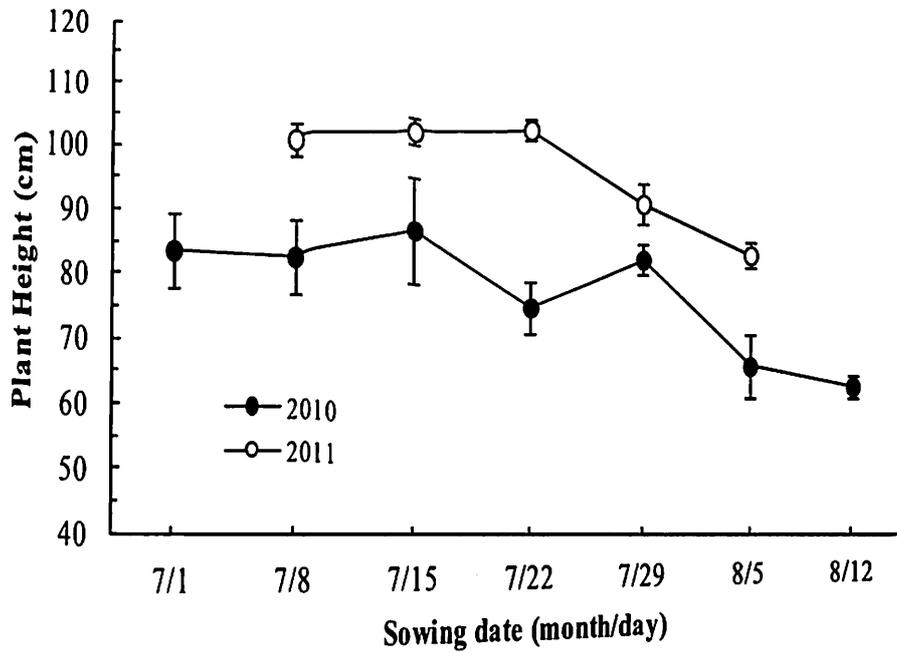


Figure 4: Effects of sowing date on plant phenological stages in fonio in 2010.



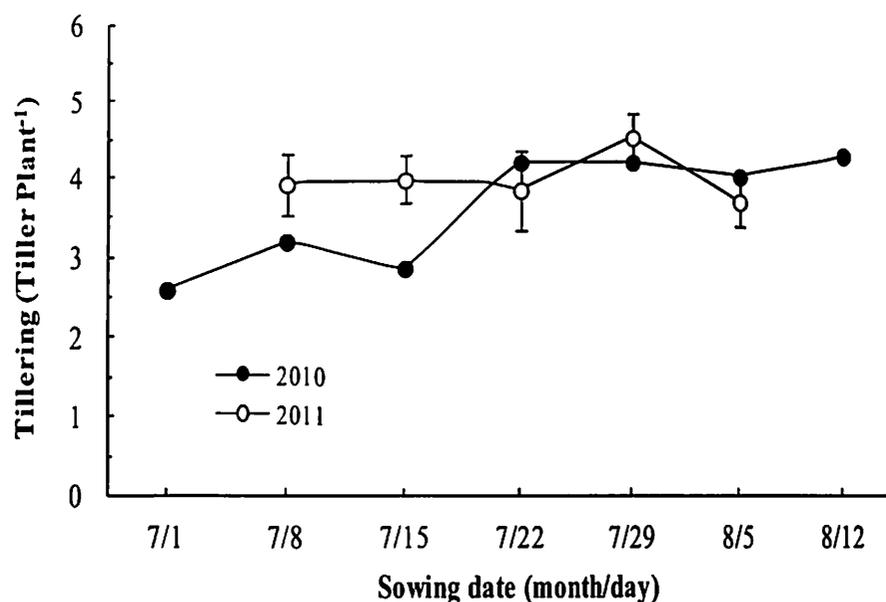


Figure 5: Effects of sowing date on plant height and tillering in fonio in 2010 and 2011. Bars indicate standard error of mean (values from 10 randomly plants for each measure).

Table 1: Characteristics of soils at experimental sites.

Sites	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	pH _{water}	Organic matter (%)	Available P (mg kg ⁻¹)	CEC (cmol kg ⁻¹)
Bandafassi	11,3 ± 2,1	8,5 ± 0,3	80,1 ± 2,4	5,8 ± 0,1	3,9 ± 0,2	24,1 ± 4,2	9,7 ± 1,0
Sinthiou Maleme	5,7 ± 1,5	3,5 ± 0,6	90,8 ± 1,6	5,8 ± 0,0	3,7 ± 0,6	22,0 ± 1,9	7,6 ± 1,0

P (Phosphorus), CEC (Cation Exchange Capacity). Depth of samples was 0-40 cm and soil samples were taken before planting; In each column, values indicate mean ± standard error of mean (n = six composite soil samples).

Table 2: Planting dates tested in 2010 and 2011.

	Planting date	
	2010	2011
Date 1	July 1 st	July 8 th
Date 2	July 8 th	July 15 th
Date 3	July 15 th	July 22 nd
Date 4	July 22 nd	July 28 th
Date 5	July 28 th	August 5 th
Date 6	August 5 th	August 12 th
Date 7	August 12 th	August 19 th

In 2011, due to late rain establishment, sowing started on July 8 and ended on August 19.

Table 3: Rainfall and rainy days for each sowing date in 2010 and 2011.

Sowing date (month/day)	Rainfall and rainy days from sowing to harvesting					
	2010			2011		
	Rainfall (mm)	RD (day)	RD \geq 10 mm (day)	Rainfall (mm)	RD (day)	RD \geq 10 mm (day)
7/1	897	62	33	na	na	na
7/8	876	61	32	636	34	17
7/15	817	56	30	613	33	16
7/22	724	59	26	591	32	16
7/29	741	57	28	566	31	15
8/5	696	53	27	499	28	14
8/12	671	48	26	na	na	na

RD (rainy days), RD \geq 10mm (rainy days with minimum of 10 mm rainfall per day), na (not applicable).

Table 4: Effects of sowing date on plant aerial biomass, grain yield and grain size in fonio in 2010 and 2011.

Sowing date (month/day)	Aerial Dry Biomass (kg ha ⁻¹)		Grain Yield (kg ha ⁻¹)		1000-Grain Weight (g)	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011
7/1	2562 \pm 157 ^{ab}	nt	938 \pm 47 ^{ab}	nt	0,66 \pm 0,02	nt
7/8	2375 \pm 125 ^{abc}	7050 \pm 823 ^a	988 \pm 89 ^{ab}	951 \pm 89 ^a	0,66 \pm 0,03	0,60 \pm 0,00
7/15	2750 \pm 250 ^a	8850 \pm 967 ^a	1111 \pm 138 ^a	1269 \pm 163 ^a	0,63 \pm 0,02	0,57 \pm 0,03
7/22	1875 \pm 298 ^c	6900 \pm 408 ^{ab}	769 \pm 100 ^{bc}	461 \pm 78 ^b	0,64 \pm 0,02	0,57 \pm 0,03
7/29	1938 \pm 258 ^{bc}	4650 \pm 669 ^{bc}	253 \pm 35 ^c	271 \pm 59 ^{bc}	0,64 \pm 0,03	0,53 \pm 0,03
8/5	1812 \pm 214 ^c	4050 \pm 1184 ^c	441 \pm 43 ^{dc}	167 \pm 100 ^c	0,65 \pm 0,02	0,50 \pm 0,00
8/12	2000 \pm 323 ^{bc}	nh	558 \pm 96 ^{cd}	nh	0,66 \pm 0,02	nh
F-Test	0,040*	0,003**	< 0,001***	< 0,001***	0,971 ^{ns}	0,073 ^{ns}
LSD (0.05)	656	2330	248	292	0,066	0,068

Different values in each column represent mean \pm standard error of mean (n = 4 in 2010, n = 5 in 2011).nt: July-1 planting (7/1) was not sown due to late onset of rainy season and dry spell.
nh: the last two sowings (8/12 and 8/19) were not harvested due to drought during grain filling.ns: not significant at the 0.05 probability level; *, ** and *** = significant difference at the 0.05, 0.01, and 0.001 probability levels, respectively. Values followed by the same letter in a column are not significantly different from each other, according to Least Significant Difference Test at 0.05 probability level.

DISCUSSION

During the rainy seasons of year 2010 and 2011, weather conditions were normal compared to the long-term rainfall (1971-2000). However, the rain distribution was better in 2010 than in 2011. Previous reviews pointed out that fonio is grown in tropical areas with low, average or high rainfalls, either in upland or high lands (Vodouhe and Achigan Dako, 2006). In addition, Cruz et al. (2011) reported that fonio is a plant with wide adaptation range and minor effects of climatic or soil conditions. However, poor plant density and slow plant growth observed in late-planted plots are strongly related to high level of rains during post-emergence and the growth stage. Malik and Yadav (2014) reported that better plant vigor was obtained with early sowing. In the case of our study, the number of days having received more than 10 mm of rain ($RD \geq 10$ mm) was as important in later plantings as in earlier sowings. Negative effects of high rains on seed emergence and seedling vigor have been observed in buffalograss (Frank et al., 1998).

Plant height was shorter with late plantings in comparison with early ones. Juraimi et al. (2009) reported similar effects with tef grass (*Eragrostis tef* [Zucc.] Trotter) grown in Ethiopia. Strong reduction in plant height had been previously shown when sowings were delayed on cereal crops (Azam-Ali and Squire, 2002). Similar findings also have been recently reported in other cultivated crops (Malik and Yadav, 2014; Meena et al., 2015).

Decreases in sunshine due to clouds were more important during the rainy season, particularly for late plantings. This reduction of sunshine could explain the shortening of heading, flowering, and maturing times. These findings are in accordance with those observed with most of local tropical cereal crops grown under short day length (Azam-Ali and Squire, 2002). This reduction of the length of phenological stages suggests that the landrace used in this study is short photoperiod-sensitive (Aliero and Morakinyo, 2005; Cruz et al., 2011).

In this study, total tillering was not significantly affected by the planting date which is in agreement with the findings of Abou Khalifa (2009) with rice. However, this study revealed that sowing date reduced significantly the number of productive tillers.

Early sowing resulted in better plant growth and higher grain yield compared to late sowing. This result is in agreement with that of warm cereal crops, e.g. corn and sorghum in sub Saharan Africa (Azam-Ali and Squire, 2002). In addition, planting around July 15th led to the highest aerial biomass and grain yield for both years. Before and particularly after this planting date, plant population, plant height, aerial biomass and grain yield are drastically reduced. Similar relationships between sowing date and crop responses have been previously reported on many cereal crops under various conditions (Dokuyucu et al., 2004; Kamara et al., 2009; Aslani and Mehrvar, 2012). These studies showed that delaying planting shortens time to heading or time to flowering and that leads to the reduction of resource capture. This canopy reduction exposes late planted crop to long dry spells or severe drought during the reproductive stage and affects grain setting and filling. Grain size reduction or immature grains increased with late planted cereal crops when drought or high temperature occurred during grain filling (Dokuyucu et al., 2004; Yang and Zhang, 2006; Aslani and Mehrvar, 2012).

Conclusion

This experiment aimed at investigating the effects of different planting dates on plant growth and grain yield of early maturing landrace of fonio millet. Earlier sowing dates gave highest plant, maximum aerial biomass and highest grain yield. In general, plant growth and grain production were drastically reduced when planting after the 15th of July or in August. These reductions were due to high rainfall, the shortening of day length, and water deficit during the reproductive phase, mainly during grain filling period. For a better development of plants and a high grain yield,

farmers are invited to sow early maturing landrace of fonio in the first fortnight of July in Southeastern Senegal.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was a part of the Fonio Project No. 22AP06SS020407 granted by Le Fonds National de Recherches Agricoles et Agro-Alimentaires (FNRAA, Senegal). Additional support was funded by the West Africa Agricultural Productivity Program (WAAPP, Senegal). We thank Jean Christoph Manga, Mamadou Lamine Sonko and Bocar Sagna, field technicians at experimental sites. The corresponding author would like to thank the University of Kentucky (Lexington, KY, USA), for having accepted his scientific visit in 2012.

REFERENCES

- About Khalifa AAB. 2009. Physiological evaluation of some hybrid rice varieties under different sowing dates. *Australian Journal of Crop Science*, 3(3): 178-183.
- Aliero AA, Morakinyo JA. 2005. Photoperiodism in *Digitaria exilis* (Kipp) Stapf accessions. *African Journal of Biotechnology*, 4(3): 241-243.
- ANSD. 2010. *Banque de Données des Indicateurs Sociaux du Sénégal* (edn 2007-2009), BADIS : Dakar, Sénégal.
- Aslani F, Mehrvar MR. 2012. Responses of wheat genotypes as affected by different sowing dates. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 4: 72-74.
- Azam-Ali SN, Squire GR. 2002. *Principle of Tropical Agronomy*. CABI Publishing: Wallingford, United Kingdom.
- Bakare O. 2005. Influence of time of harvest on grain yield of Acha, *Digitaria exilis* and farmers' perspectives. *Int. J. Agric. Rural Dev.*, 6: 132-135.
- Cruz JF, Beavogui F, Drame D. 2011. *Le Fonio, une Céréale Africaine*. Editions Quae : Versailles, Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique ; CTA : Wageningen, Pays-Bas.
- Diedhiou CT. 2008. Analyse des systèmes de cultures à base de fonio en Casamance et au Sénégal Oriental. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Thiès, Thiès (Sénégal), p. 49.
- Dokuyucu T, Akkaya A, Yigitoglu D. 2004. The effect of different sowing dates on growing periods, yield and yield components of some bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars grown in the East-Mediterranean region of Turkey. *Journal of Agronomy*, 3: 126-130.
- Fall AA, Lo M. 2009. Etude de référence du Programme sur la productivité agricole au Sénégal dans le cadre du WAAPP. Cas des céréales : mil, sorgho, maïs et fonio. CORAF, PSAOP II, p. 38.
- Frank KW, Gaussoin RE, Riordan TP, Miltner ED. 1998. Date of planting effects on seeded turf-type buffalograss. *Crop Science*, 38: 1210-1213.
- Gomez KA, Gomez AA. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research* (2nd edn). John Wiley & Sons: New York, NY, USA.
- Juraimi AS, Begum M, Sherif AM, Rajan A. 2009. Effects of sowing date and nutsedge removal time on plant growth and yield of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter]. *African Journal of Biotechnology*, 8(22): 6162-6167.
- Kamara AY, Ekeleme F, Chikoye D, Omoigui LO. 2009. Planting date and cultivar effects on grain yield in Dryland corn production. *Agronomy Journal*, 100: 91-98.
- Kanfany G, Gueye M. 2011. Avantages de respecter la dose de 30 kg se semences par hectare pour le semis du fonio au Sénégal. Les brochures du FNRAA, n°01-2011: 17-18.
- 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, Thiès (Sénégal), p. 45.
- Lo M. 2003. La culture du fonio en Casamance : réalités et perspectives. In Actes du Premier Atelier sur la Diversité Génétique du Fonio (*Digitaria exilis*) en Afrique de l'Ouest, Conakry, Guinée, du 04 au 06 août 1998, Vodouhe SR, Zannou A, Achigan Dako E. (ed). Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI), Rome (Italie): 23-25.
- Malik RS, Yadav A. 2014. Effect of sowing time and weed management on performance of pigeonpea. *Indian Journal of Weed Science*, 46(2): 132-134.
- Meena SS, Mehta RS, Lal G, Sharma YK, Meena RD, Kant K. 2015. Effect of sowing dates and crop geometry on growth and seed yield of dill (*Anethum sowa* L.). *International J. Seed Spices*, 5(1): 79-82.
- Niang-Seydi MF. 2010. Analyse de la filière fonio en Casamance et au Sénégal Oriental : Situation actuelle et opportunités de développement. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture de Thiès, Thiès (Sénégal), p. 60.
- USAID. 2008. *Chaîne de Valeur de la Filière Fonio au Sénégal*. International Resources Group: Washington D.C., USA.
- Vall E, Andrieu N, Beavogui F, Sogodogo D. 2011. Les cultures de soudure comme stratégie de lutte contre l'insécurité alimentaire saisonnière en Afrique de l'Ouest : le cas du fonio (*Digitaria exilis* Stapf). *Cahiers Agriculture*, 20(4): 294-300.
- Vodouhe SR, Achigan Dako EG. 2006. *Digitaria exilis* (Kippist) Stapf. [Internet] Record from Protabase. Brink M, Belay G (ed). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa), Wageningen (Netherlands). <http://database.prota.org/search.htm>. (Accessed on May 30, 2012).
- Vodouhe SR, Sidibe A, Glele P, Kuta D, Diallo A. 2005. Promoting fonio production in West and Central Africa through germplasm management and improvement of post harvest technology. Final Project Report. Project no. 2000.7860.0-001.00. IPGRI and CORAF/WECARD. <http://www.underutilized-species.org> (Assessed on April 2012).
- Vodouhe SR, Zannou A, Achigan Dako E. 2003. *Actes du Premier Atelier sur la Diversité Génétique du Fonio (Digitaria exilis) en Afrique de l'Ouest*. Conakry, Guinée, du 04 au 06 Août 1998. Institut International des Ressources Phytogénétiques (IPGRI), Rome, Italie.
- Yang J, Zhang J. 2006. Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist*, 169: 223-236.

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE DOCTORALE : SCIENCES DE LA VIE,
DE LA SANTE ET DE L'ENVIRONNEMENT (ED-SEV/UCAD)

FACULTE : SCIENCES ET TECHNIQUES

Thèse de Doctorat Biologie, Physiologie et Productions Végétales
Spécialité : Protection et Production Végétales

Titre : Amélioration des techniques de semis, de fertilisation et de récolte du fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf ; Poaceae) au Sénégal Oriental et en Casamance (Sénégal)

Doctorant : M. Moustapha GUEYE

RESUME

Le fonio blanc (*Digitaria exilis* Stapf) est une céréale négligée et cultivée essentiellement dans les régions sud et sud-est du Sénégal. La production nationale en grain paddy fonio est faible alors que la consommation en produits à base de fonio s'accroît dans le pays. Cette situation est due aux faibles rendements grain et à l'absence de référentiel technique de production, en particulier sur la phytotechnie. L'objectif général de notre travail est de contribuer à l'augmentation de la production et de la productivité du fonio : et plus spécifiquement de mettre au point des techniques améliorées pour le semis, le plan de fumure et la période de récolte. Pour cela, une étude des pratiques locales a été conduite dans 88 parcelles de fonio en milieu paysan dans les zones de production et des tests agronomiques sur (i) les techniques de semis, (ii) l'amendement et la fertilisation et (iii) la période de récolte ont été menés en condition semi contrôlée. Le diagnostic des pratiques paysannes a montré que le fonio est cultivé sur de petites superficies variant entre 0,4 et 1,5 ha par champ. La majorité des producteurs suivis (88%) pratiquent les rotations culturales bien que la monoculture est une pratique fréquente dans la région sud-est du pays. L'arachide est le principal précédent cultural du fonio dans toute la zone étudiée. Les rendements grain paddy dépassent rarement 500 kg/ha et cette faible production est liée entre autres au faible potentiel des cultivars locaux, à l'absence ou la faible utilisation d'intrants agricoles et aux importantes pertes de grains entre la récolte et les opérations post récolte. Les résultats sur le test de semis montrent que la période de semis a une influence sur la densité de plantes, leur croissance et le rendement grain paddy. La période optimale de semis correspond à la première quinzaine du mois de juillet chez les cultivars précoces. Le test sur les doses de semences a révélé une corrélation positive entre la maîtrise des adventices et les quantités de grains semés/ha. La dose de 30-45 kg semences/ha est recommandée pour éviter le gaspillage de grains sans favoriser la compétition des adventices. La comparaison de modes de semis a montré que le semis à la volée permet une bonne maîtrise des adventices en comparaison aux modes de semis en lignes ou en poquets. Les essais sur l'amendement et la fertilisation ont confirmé que la culture du fonio n'est pas exigeante par rapport à la qualité des sols. Cependant, des apports modérés d'azote, de phosphore et de potassium ont des effets agronomiques similaires par rapport à ceux engendrés par les fortes doses d'engrais minéraux. Un apport de 50 kg/ha d'engrais NPK (15-15-15) est recommandé pour assurer de meilleurs rendements en grain sans appauvrissement continu des sols. L'évaluation de dates de récolte a montré que les récoltes tardives peuvent engendrer une réduction de 32-48% sur le rendement grain. La période optimale de récolte se situe entre 97 et 104 jours après semis ou entre 1 et 2 semaines après maturité des plantes chez les cultivars précoces. Ces résultats sur le semis, le plan de fumure et la période de récolte constituent des éléments importants pour la mise au point d'un itinéraire technique performant et adapté. Ces acquis pourraient être renforcés avec des investigations complémentaires sur la biologie et la physiologie de la plante dans le cadre de l'intensification et de la diversification des céréales.

Mots clés: Fonio, *Digitaria exilis*, pratiques paysanne, semis, fertilisation, récolte, Sénégal

ABSTRACT

Fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf) is a minor cereal crop mainly grown in southern and southeastern Senegal. National production is still low whereas fonio consumption is being increased. Low yields are due to low yielding local cultivars and lack of improved cultivation techniques, particularly in seeding, fertilizing and harvesting techniques. Our research comprising field surveys within 88 farmer's fields in fonio production zones and on-station trials regarding sowing techniques, amendment and fertilization and harvesting techniques aimed at improving grain yields of fonio in these two zones. Field surveys show that fonio millet is cultivated with small plot ranging between 0.4 and 1.5 ha. Of farmers monitored, 88% adopted crop rotation for fonio but continuous fonio cropping is relatively well adopted in south southeastern Senegal. Overall, peanut is the main preceding crop for fonio cropping system. Low yields result from low-input cropping systems with poor-yielding landraces and high grain loss due to lodging, grain shattering, and insect damage, which increasingly affected grain yield when harvest occurred too late. Planting time negatively affected plant density, plant growth and grain yield of fonio millet. Sowing in the first fortnight of July is considered as optimal time for seeding. Seed rates test revealed positive relationship between weed control and seed rate of fonio. Sowing at 30-45 kg/ha is reasonable for better plant growth, seed wastes and higher grain yield of fonio. Comparison of organic and inorganic fertilizers confirmed that fonio millet is a low uptake mineral nutrients crop and fertilizing at least 50 kg NPK per ha is recommended to sustain grain yield and restoring soil fertility. Harvest date trial showed that the dry aerial matter increased with later harvest date whereas maximum grain yields were recorded when fonio straw was harvested around 90-97 days after planting. Late harvesting (after 111 days after sowing or 3 weeks after plant maturity) significantly reduced grain yield by 32-48%, in comparison with the optimal harvesting date. Fonio farmers should harvest fonio straws at 97-104 days after planting or 1-2 weeks after plant maturity for fonio landraces with maturity ranging 75-90 days. These results are key elements for the development of enhanced cultivation techniques. Additional investigations on plant biology and plant physiology are recommended with respect to the improvement and the diversification of local cereals crops.

Additional words: Fonio, *Digitaria exilis*, farmer's practices, sowing, fertilization, harvesting, Senegal
