



REPUBLIQUE DU SENEGAL

Un peuple – Un but – Une fois

Ministère de l'enseignement supérieur et de la Recherche

-

Université de Thiès

-

Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture

-

Année académique 2012

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Caractérisation des cycles de développement de dix variétés de mil de diverses origines sur trois sites situés le long d'un gradient latitudinal.

Présenté et soutenu publiquement en Mai 2012 par :

M. Souleymane DIALLO

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome

Spécialisation : Productions Végétales

Devant le jury composé de:

Dr Saliou NDIAYE	Directeur des études,	Président
M. Amadou FOFANA	Chercheur ISRA, Kolda	Membre
Dr Khadidiatou NDIR	Chef département PV,	Membre
Dr Ibrahima DIEDHIOU	Enseignant Chercheur, E.N.S.A	Membre
Dr Bertrand MULLER	Chercheur Cirad-Ceraas,	Rapporteur

DEDICACES

Après avoir rendu grâce à DIEU pour m’avoir permis de mener à terme ce travail,

Je dédie ce mémoire à :

A mon grand frère défunt BOYE DIALLO. Que Dieu, le « Tout Puissant »

l’accueille dans son **Paradis** éternel ;

A mon père et ami Boubacar DIALLO, pour l’éducation, l’amour, l’encadrement, le soutien et les vertus que tu nous as inculqués. Que Dieu t’accorde une longue vie pleine de santé ;

A ma mère Woury Bella BALDE, pour son amour, ses prières, ses encouragements et pour tous les sacrifices que tu as consentis pour nous. Que Dieu nous donne l’opportunité et les moyens de te prouver notre reconnaissance éternelle ;

A mes frères et sœurs Diouldé, Fatoumata Binta, Chérif, Abdoulaye, Alpha, qui m’avez appris le sens de la famille, de l’unité, de la fraternité; reconnaissez ici mon profond amour.

Ce travail est particulièrement dédié ;

A tous mes amis de l’ENSA plus particulièrement à Mandaw, Zèg, Madou, Modou Mbaye, Diéré pour leur accompagnement sans faille ;

A toute ma famille à Kolda et Thiès ;

A tous mes camarades de promotion, mes anciens et mes cadets de l’ENSA.

A tous mes Maîtres et Professeurs.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je rends grâce à **ALLAH**, le Tout Puissant pour m'avoir permis de mener à terme ce travail. Après cinq ans de formation, il est de tradition de remercier celles et ceux grâce auxquels ce travail de mémoire de fin d'études a été réalisé. Cependant cet exercice demeure délicat dans la mesure où il est difficile de résumer en quelques mots ma reconnaissance pour ceux qui, par la grâce de Dieu, m'ont soutenu durant toutes ces années.

D'abord mes remerciements vont à l'encontre de tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de cette étude et à la rédaction du document. Par là je veux citer mes deux encadreurs **Dr Bertrand MULLER, M. Patrice Koffi KOUAKOU**, pour leur disponibilité et la nature purement scientifique de leurs remarques.

Merci au Directeur du Ceraas, Dr Ndiaga CISSE d'avoir bien voulu m'accueillir dans sa structure et à travers lui tout le personnel. Je ne peux oublier le Directeur du CRZ de Kolda, où le suivi des essais a été effectué, Dr Abdou NDIAYE.

Merci au Directeur de l'ENSA, Dr Ahmed Tidjane DIALLO pour avoir bien voulu m'accepter à l'ENSA et pour l'image qu'il voudrait bien imprimer à cette école réputée pour la qualité de ses produits. Au Directeur des études, Dr Saliou Ndiaye et à travers lui tout le corps professoral en particulier au chef de département des **Productions Végétales**, Dr Khadidiatou NDIR. Vous avez toujours œuvré dans le but de nous fournir un enseignement de qualité. Je vous serais éternellement reconnaissant.

Plus particulièrement, mes remerciements vont à l'encontre de **Docteur Ibrahima DIEDHIOU** pour sa disponibilité, la pertinence de ses remarques et ses efforts louables dans l'élaboration du document.

A tous les membres du jury qui ont bien voulu juger ce travail malgré leurs lourdes occupations. Je cite par là M. Amadou FOFANA pour ses conseils et son aide précieuse dans la synthèse bibliographique, la collecte des données et pour son accompagnement sans faille.

A tous les étudiants de l'ENSA, surtout ceux de la 26^e promotion avec qui j'ai passé cinq longues années inoubliables en particulier à Abdel Karim ALI (Moucaboro), Mame Mbaye DIAGNE (Sérigne bi), Oulitan, Amtij, Saad LAFRIDI et Mahécor DIOUF(Gnoulé).

Résumé

Le photopériodisme est un caractère primordial d'adaptation du mil au climat de la zone soudano-sahélienne. L'objectif de notre étude est de caractériser les variations des phases et des cycles de différentes variétés paysannes de mil du Sénégal et de caractériser l'effet de la latitude sur le photopériodisme. Un essai a été mis en place sous trois latitudes différentes, à Kolda ($12^{\circ}52'N$), à Bambey ($14^{\circ}42'N$) et à Saint Louis ($16^{\circ}30'N$). Pour chaque site l'essai comportait 10 variétés. Le dispositif, pour une date de semis, est en blocs complets randomisés à un facteur (la provenance) et à 3 répétitions. Les observations ont porté sur les dates de ligulation de la feuille drapeau, de déploiement complet de la panicule, de 50% floraison femelle, de début pollinisation, de 50% floraison male et de maturité des grains. Les résultats ont montré que la sensibilité des variétés à la photopériode est fonction de la durée du cycle. Les variétés tardives sont sensibles à la photopériode tandis que celles précoces sont soit peu sensibles soit insensibles à la photopériode. Il existe une relation linéaire hautement significative entre le coefficient photopériodique (K_p) et la durée semis Feuille-drapeau. Les variétés tardives Sanio Maka Hamdallaï et Sanio Allahbougou sont les plus photopériodiques. Il apparaît aussi que la latitude influence la durée du cycle qui augmente des latitudes les plus basses vers les plus hautes.

Mots clés : mil, phénologie, photopériodisme, latitude.

Summary

Photoperiodism is of primary importance for adaptation to climate millet in the Sudano-Sahelian region. The aim of our study is to characterize the changes in phases and cycles of different varieties of millet farmers in Senegal and to characterize the effect of latitude on photoperiodism. A trial was set up in three different latitudes, in Kolda ($12^{\circ} 52'N$), in Bambey ($14^{\circ} 42'N$) and St. Louis ($16^{\circ} 30'N$). For each test site included 10 varieties. The device, for a planting date, randomized complete block design is a factor (the source) and three repetitions. Observations were made on dates ligulation leaf flag, full deployment of the panicle, 50% silking, pollination of early, 50% male flowering and grain maturity. The results showed that the sensitivity of varieties to photoperiod depends on the cycle. The late varieties are sensitive to photoperiod while those early are either insensitive or day neutral. There is a highly significant linear relationship between photoperiod coefficient (K_p) and duration seedlings Leaf flag. Late varieties Sanio Hamdallai Maka and Sanio Allahbougou are the most photoperiod. It also appears that latitude influences the cycle which increases the lower latitudes to the highest.

Keywords: millet, phenology, photoperiod, latitude.

Tables des matières

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
Résumé	iii
Summary	iv
Tables des matières	v
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	x
Sigles et abréviations	xi
INTRODUCTION	1
I. Revue bibliographique	4
1. Généralités sur le mil.....	4
1.1. Origine, diffusion et production.....	4
1.2. Utilisations du mil.....	4
1.3. Origine et extension du mil au Sénégal	5
1.4. Systématique et classification	5
1.5. Le milieu de culture du mil en Afrique de l’Ouest	6
1.5.1. Le climat.....	6
1.5.2. Les besoins en eau du mil	7
1.6. La morphologie du mil.....	7
1.6.1. Les racines.....	7
1.6.2. La tige.....	7
1.6.3. Les feuilles	7
1.6.4. Les talles.....	7
1.6.5. L’inflorescence.....	8
1.6.6. La panicule	8
1.6.7. Le fruit.....	8

1.7. Croissance et développement du mil	8
1.7.1. Phase végétative	8
1.7.2. Phase reproductive	10
1.7.3. Phase de remplissage et maturation des grains	10
1.8. Maladies et ennemis du mil	11
1.8.1 Les maladies cryptogamiques	11
1.8.2. Les insectes	11
1.8.3. Les mauvaises herbes	12
1.8.4. Les autres ennemis du mil	12
1.9. Qualités nutritionnelles	13
1.10. Systèmes de culture du mil	13
1.11. Le photopériodisme	13
II. Matériel et méthodes.....	16
2. Matériel.....	16
2.1. Présentations des trois zones d'études	16
2.2. Matériel végétal	17
3. Méthodes	18
3.1. Données climatiques	18
3.2. Dispositif expérimental.....	18
3.3. Conduite de l'essai.....	18
3.3.1. Opérations pré semis	18
3.3.2. Du semis à la maturité.....	19
3.3.2.1. Dates de semis	19
3.3.2.2. Fertilisations	19
3.3.2.3. Entretien et opérations culturales.....	19
3.4. Observations et mesures	19
3.4.1. Nombre de poquets levés	19

3.4.2. Observations phénologiques	19
3.5. Paramètres calculés.....	20
3.5.1. Calcul du degré photopériodique d'une variété	20
3.5.2. Calcul de la durée semis feuille-drapeau (SFD) en degré jour	20
3.6. Analyses statistiques.....	20
III. Résultats	22
3.1. Données météorologiques.....	22
3.1.1. Pluies et irrigations sur les trois sites	22
3.1.2. Température minimum et maximum des trois sites	23
3.1.3. La photopériode sur les trois sites.....	24
3.2. Evolution du Kp en fonction de la latitude.....	25
3.3. Evolution de la durée SFD en fonction de la date de semis	26
3.4. Durée SFD en fonction des sites pour trois variétés.....	30
3.5. Relation entre coefficient photopériodique et durée du cycle	31
IV. Discussions.....	33
Conclusion et recommandations	35
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	36

Liste des figures

Figure 1: zones de culture du mil au Sénégal (FAO, 1996) -----	5
Figure 2: Schéma des phases de croissance et de développement du mil (Maiti et Bidinger, 1981)-----	11
Figure 3: La carte de localisation des sites d'étude (TEKETE, 2011)-----	16
Figure 4: Plan du dispositif expérimental -----	18
Figure 5: Pluies et Irrigations à Kolda (2011) -----	22
Figure 6: Pluies et Irrigations à Bambey (2011) -----	23
Figure 7: Pluies et Irrigations à Saint-Louis (2011) -----	23
Figure 8: Evolution des températures à Kolda (2011)-----	24
Figure 9: Evolution des températures à Bambey (2011)-----	24
Figure 10: Evolution des températures à Saint-Louis (2011) -----	24
Figure 11: Evolution de la durée du jour astronomique sur les trois sites d'expérimentation	25
Figure 12: Evolution du coefficient de photopériodisme en fonction de la latitude (Kolda = 12,87; Bambey = 14,71; Saint-Louis = 16,14) -----	26
Figure 13: Evolution de la durée SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés photopériodiques à Bambey -----	27
Figure 14: Evolution de la durée SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés photopériodiques à Saint-Louis -----	27
Figure 15: Evolution de la durée SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés photopériodiques à Kolda -----	27
Figure 16: Evolution de la durée SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés moyennement photopériodiques à Bambey -----	27
Figure 17: Evolution de la durée SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés moyennement photopériodiques à Saint-Louis -----	27
Figure 18: Evolution de la durée SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés moyennement photopériodiques à Kolda -----	29
Figure 19: Evolution de la durée SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés non photopériodiques à Saint-Louis -----	29
Figure 20: Evolution de la durée SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés non photopériodiques à Bambey -----	29
Figure 21: Evolution de la durée SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés non photopériodiques à Kolda-----	29

Figure 22: Evolution de la durée SFD de la V2 (Thialack 2) en fonction de la date de semis	30
Figure 23: Evolution de la durée SFD de la V7 (Sanio Séfa) en fonction de la date de semis	31
Figure 24: Evolution de la durée SFD de la V1 (Souna 3) en fonction de la date de semis	--31
Figure 25: Relation entre le coefficient photopériodique et la durée du cycle à Saint-Louis	-32
Figure 26: Relation entre le coefficient photopériodique et la durée du cycle à Bambey	----32
Figure 27: Relation entre le coefficient photopériodique et la durée du cycle à Kolda	-----32
Figure 29: Evolution de la durée SFD de la V2 en fonction de la date de semis	-----40
Figure 28: Evolution de la durée SFD de la V1 en fonction de la date de semis	-----40
Figure 30: Evolution de la durée SFD de la V4 en fonction de la date de semis	-----40
Figure 31: Evolution de la durée SFD de la V3 en fonction de la date de semis	-----40
Figure 32: Evolution de la durée SFD de la V6 en fonction de la date de semis	-----40
Figure 33: Evolution de la durée SFD de la V5 en fonction de la date de semis	-----40
Figure 34: Evolution de la durée SFD de la V7 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 35: Evolution de la durée SFD de la V8 en fonction de date de semis	-----41
Figure 36: Evolution de la durée SFD de la V10 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 37: Evolution de la durée SFD de la V9 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 38: Evolution de la durée SFD de la V2 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 39: Evolution de la durée SFD de la V1 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 40: Evolution de la durée SFD de la V3 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 41: Evolution de la durée SFD de la V4 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 42: Evolution de la durée SFD de la V6 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 43: Evolution de la durée SFD de la V5 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 44: Evolution de la durée SFD de la V8 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 45: Evolution de la durée SFD de la V7 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 46: Evolution de la durée SFD de la V10 en fonction de la date de semis	-----41
Figure 47: Evolution de la durée SFD de la V9 en fonction de la date de semis	-----41

Liste des tableaux

Tableau 1: Provenance des différentes variétés de l'étude	17
--	----

Sigles et abréviations

CS : Centre Sud du Sénégal

CN : Centre Nord du Sénégal

CERAAS : Centre d'Etudes Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse

CIRAD : Centre de coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement

CRA : Centre de recherches Agricoles

CNRA : Centre National de Recherches Agronomiques

CRZ : Centre de Recherches Zootechniques

ENSA : Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture

FAO: United Nations Food and Agriculture Organization

FD : Feuille-Drapeau

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

IP : Initiation Paniculaire

IRD : Institut de Recherche pour le Développement ex ORSTOM

Kp : Coefficient photopériodique

SFD : durée Semis Feuille-Drapeau

TX : Température maximale journalière

TN : Température minimale journalière

INTRODUCTION

Au cours des prochaines décennies, la croissance démographique dans le monde sera la principale source d'accroissement de la demande alimentaire. La population mondiale devrait passer de 6,7 milliards actuellement à 9,2 milliards d'ici 2050 (FAO, 2007). A partir de 2050, elle augmentera de 30 millions par an et concerne presque entièrement les pays en développement. Cette croissance démographique alarmante combinée à la dégradation des sols et à la réduction des terres cultivables constitue une sérieuse menace à la sécurité alimentaire particulièrement dans les pays en voie de développement où les paysans ont un faible accès aux intrants agricoles.

Il est donc nécessaire d'augmenter la production agricole en s'appuyant surtout sur des cultures comme le mil qui soutiennent les principaux systèmes alimentaires dans le monde. Le mil représente 5% des superficies cultivées en céréales dans le monde, mais seulement 1,5% de la production céréalière mondiale. Il représente la sixième céréale la plus importante du monde assurant la survie d'au moins 500 millions de personnes (National Academy of Science, 1996). En Afrique, le mil est l'une des principales cultures ; il constitue avec le sorgho la base de l'alimentation humaine. Les superficies cultivées en mil en Afrique, ont augmenté ces dix dernières années de 20% tandis que les rendements ont progressé de 12% (Andrews et Kumar, 2006). Au Sahel, le mil est aussi la base de l'alimentation quotidienne des 50 millions d'habitants. Extrêmement résistant à la sécheresse et bien adapté aux sols pauvres, le mil correspond aux habitudes alimentaires traditionnelles. Cette culture est, pratiquée sur au moins 65% des surfaces cultivées dans certains pays de la zone et la production en mil représente dans certains cas, près des trois quarts de la production céréalière (IRD, 2009).

Au Sénégal, le mil occupe une place prépondérante dans la production agricole. En effet, il représente 75% des surfaces emblavées et 60% de la production agricole (FAO, 1997). Toutefois, sa production est tributaire de la pluviométrie et de ses aléas, qui sont les principales contraintes au Sahel et plus particulièrement au Sénégal. Parmi les paramètres pluviométriques, la durée de la saison des pluies mérite une attention particulière. Ce paramètre présente un gradient Nord/Sud variant de 70 jours à Louga à 140 jours à Kolda (Diop *et al.*, 2005) et peut avoir des répercussions néfastes sur le rendement du mil. Le photopériodisme est une caractéristique variétale qui permet à la plante de synchroniser son cycle avec la durée de la saison humide permettant ainsi une meilleure adaptation à la variabilité interannuelle (Benoit, 1977 ; Sivakumar, 1988).

Dans ce contexte, cette étude se propose de caractériser les cycles de développement de variétés de mil d'origines géographiques variées en fonction de la latitude, afin d'obtenir des informations pour une meilleure connaissance des idéotypes en vue de les modéliser.

De façon spécifique, il s'agira de :

- i) caractériser les variations des phases et des cycles de développement de dix variétés de mil du Sénégal ;
- ii) d'évaluer la sensibilité au photopériodisme des variétés et d'analyser sa relation avec la durée du cycle ;
- iii) caractériser l'influence de la latitude sur la durée du cycle.

La première partie de ce document traite de la bibliographie tandis que, la deuxième présente la méthodologie utilisée. Les résultats et la discussion sont abordés dans la troisième partie. Ce document se termine par une conclusion générale et des recommandations.

Revue Bibliographique

I. Revue bibliographique

1. Généralités sur le mil

1.1. Origine, diffusion et production

Le mil est originaire de l'Afrique de l'Ouest, dans la zone limite sud du Sahara entre le Soudan occidental et le Sénégal où en effet on trouve de nombreuses espèces à l'état sauvage (comme *P. monodii* et *P. mollissimum*) et celles cultivées. Grâce à sa rusticité, le mil a été une des premières plantes domestiquées par l'homme ; ensuite la culture s'est étendue en Afrique centrale et orientale et en Inde, où il est cultivé avec succès dans les zones trop arides pour le fonio (*Digitaria exilis*). Nombreuses sont les variétés cultivées, distinctes surtout par leur longueur de cycle végétatif qui varie entre 65 et 150 jours (Bourke, 1963).

Il est difficile de répertorier des statistiques dignes de foi sur les surfaces cultivées et sur les productions de mil à chandelle car, d'habitude, les chiffres incluent le sorgho et tous les autres mils et, en outre, il est très souvent cultivé en association avec d'autres cultures. La production mondiale de tous les mils est de 31,5 Mt environ, dont 36% en Afrique. En Afrique de l'Ouest le mil est cultivé sur 12,2 Mha soit 49% de la surface mondiale. Les plus grands producteurs sont le Nigéria (environ 31% de la production africaine) et le Niger (environ 12%) (Ministère de la Coopération et du Développement, 1991). En Afrique, à part l'Ouganda qui cultive de préférence le fonio, le mil à chandelle est l'espèce la plus cultivée. Pour l'Afrique, le mil est une culture très importante et en effet il représente environ 1/3 de la production céréalière totale. Dans les autres zones du monde comme l'Inde, on a de grandes productions de mil mais l'importance relative par rapport aux autres céréales cultivées ne dépassent pas 10% (Spencer et Sivakoumar, 1987). Selon Romain (2001), c'est en Afrique que se trouvent les principaux centres de diversification du mil.

En cultures traditionnelles, les rendements du mil sont très faibles, variant de 300 à 600 kg.ha⁻¹ tandis qu'en culture intensive et avec des variétés sélectionnées on arrive à produire 800-1500 kg.ha⁻¹ (Denis, 1984).

1.2. Utilisations du mil

Décortiqué et réduit en farine, le mil se consomme sous forme de pâte, de bouillie, de couscous, de galette. Il sert dans certaines régions à la fabrication de boissons alcoolisées. Le couscous est consommé surtout par les peulh (Sénégal, Gambie, Nigéria du Nord) tandis que les autres ethnies (Bambara, Germa, Mossi *etc.*) préfèrent consommer le mil sous forme de pâte ou bouillie. Les tiges sont également utilisées comme combustibles et comme additifs

pour améliorer la fertilité des sols. Le mil ne sert pas seulement à l'alimentation des hommes et du bétail, car ses tiges se prêtent à de nombreuses utilisations, dont la construction de murs, de barrières et de toits, et la confection de balais, de nattes, de paniers, d'ombrières, *etc.* Le grain de mil contient environ 10,6% de protéines, 5,1% de lipides, 66,7% d'amidon, 1,3% de fibres brutes, 1,9% d'élément minéraux (Rocafrimi, 2002). L'apport en vitamines du grain de mil est également appréciable. Il contient environ 0,22 mg de vitamines A par 100 g de graines (Rachie et Majmudar, 1980, cité par Yahaya, 1994).

1.3. Extension du mil au Sénégal

Au Sénégal, parmi les cultures céréalières, le mil occupe la place la plus importante aussi bien du point de vue des surfaces emblavées en céréales (presque 75 %) que de la production (60%). Sa culture est pratiquée partout dans le pays. La principale zone de culture du mil au Sénégal est située dans les régions de Thiès, Louga et du centre du pays. Cependant, ses rendements sont plus faibles que ceux des autres céréales (80 % du rendement moyen des céréales qui est l'ordre de 800 kg/ha). Donc, l'accroissement de sa productivité semble constituer une des solutions pour faire face au problème vivrier.

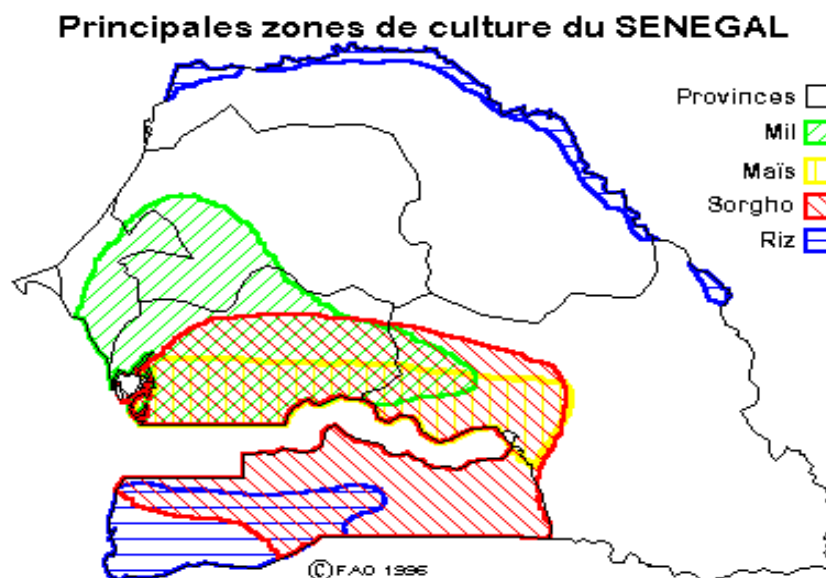


Figure 1: zones de culture du mil au Sénégal (FAO, 1996)

1.4. Systématique et classification

Le mil est diploïde avec $2n = 14$ chromosomes. C'est une graminée annuelle érigée, à tiges pleines de 1 m à 5 m de hauteur avec un métabolisme photosynthétique en C4 (Do, 1994). Le comportement photopériodique des variétés détermine le choix de leur implantation. Les variétés semi-tardives et tardives restent les plus nombreuses dans la zone soudano-

sahélienne; les formes précoces prédominent dans la zone climatique typiquement sahéenne (Clement *et al.*, 1993).

Le mil appartient au genre *Pennisetum* (famille des *poaceae*, sous-famille des *Panicoideae*, tribu des *Paniceae*) dont la soixantaine d'espèces est répartie dans les régions tropicales et subtropicales.

Ce genre est divisé en cinq sections. Le mil appartient à la section *Penicillaria*, qui se caractérise par la présence d'une touffe de poils sur l'apex des étamines. Dans l'espèce *P. glaucum*, Van Der Zon (1992) reconnaît trois sous-espèces: *P. glaucum* subsp. *glaucum*, le mil cultivé; *P. glaucum* subsp. *violaceum*, la forme sauvage largement présente en Afrique dans la zone sahéenne, de l'Atlantique à la mer Rouge, dans des situations écologiques très variées; *P. glaucum* subsp. *sieberianum*, qui rassemble les formes intermédiaires issues d'hybridations naturelles entre formes cultivées et formes sauvages.

De nombreux types de mil, les plus communs sont (Denis, 1984 ; N'Doye *et al.*, 2002):

- mil à chandelles ou mil perlé : *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br, céréale à graines très petites cultivée en Afrique de l'ouest et en Inde ;
- mil commun ou mil Proso : *Panicum miliaceum*, Plante de 1,3 m environ, à inflorescences en panicules lâches, ramifiées et tombantes cultivé en Afrique orientale, en Europe orientale et en Asie pour l'alimentation humaine ;
- Eleusine ou mil digital : *Eleusine coracana* (Gaeth) plante produisant plusieurs épis au sommet de la tige avec des graines très petites de 1-2 mm de diamètre. Les régions de culture sont l'Inde l'Afrique centrale et orientale ;
- petit mil : *Panicum italicum* ;
- mil indigène : *Paspalum scrobilatum*, espèce utilisée en Inde sur des sols pauvres. On le trouve spontanément en Afrique ;
- mil japonais ou mil de basse-cour : *Echinochloa crus-galli*, cultivé en Inde et en Chine avec des grains de couleur variable.

1.5. Le milieu de culture du mil en Afrique de l'Ouest

1.5.1. Le climat

L'Afrique sub-saharienne est une zone caractérisée par un climat semi-aride (200-600 mm de pluies) avec une saison des pluies très courte (60-150 jours) et une saison sèche très longue. La durée du jour peut être variable pendant l'année et le rayonnement haut détermine un climat chaud avec des températures moyennes annuelles très hautes.

1.5.2. Les besoins en eau du mil

Le mil est capable de se développer, de croître et d'arriver à produire même dans des zones avec 200 à 300 mm de pluie et une période de croissance très courte.

Dancette (1978) estime que les besoins en eau du mil sont croissants avec le cycle (345 mm pour 75 jours ; 420 mm pour 90 jours ; 600 mm pour 120 jours).

1.6. La morphologie du mil

La plante a un port érigé. Sa hauteur varie généralement entre 1 et 3 m. Dans les zones humides, les plantes peuvent même atteindre 4 m (Cirad-gret, 2002).

1.6.1. Les racines

L'appareil racinaire est de type fasciculé avec une seule racine séminale suivie par de nombreuses racines adventives qui naissent à la base de la tige et des talles et par des racines de soutien qui naissent des nœuds les plus proches du sol. Le front racinaire colonise le profil du sol, pouvant aller jusqu'à 3,6 m de profondeur et explorer les couches les plus profondes du sol en cas de stress hydrique (Ferraris, 1973).

1.6.2. La tige

La tige est rigide, avec des entre-nœuds pleins de longueur variable. Ces derniers sont capables de donner des talles secondaires et tertiaires. Une plante peut former jusqu'à 40 talles mais peu sont fertiles, généralement de un à sept seulement arrivent à produire (Siband, 1981).

1.6.3. Les feuilles

Les feuilles s'insèrent sur les nœuds. Elles sont alternes et nervées parallèlement et sont formées d'une gaine enveloppant complètement la tige et d'un limbe lancéolé, glabre avec des poils, et avec une nervure bien développée qui l'empêche de se plier.

1.6.4. Les talles

Le tallage débute environ quinze jours après la levée et il peut se poursuivre pendant dix à vingt jours, mais les talles produites tardivement n'émettent pas d'épis ou bien ils n'arrivent pas à maturité.

Pendant la phase reproductive on peut avoir la formation de talles secondaires sur les nœuds les plus hauts sur la tige. Comme ceux de la base, leur développement est accéléré dans le cas de maturation ou bien de déplacement prématuré de l'inflorescence principale (par exemple à cause des attaques parasitaires).

Cette deuxième période de tallage est très importante du fait que les talles secondaires contribuent d'une façon considérable à la production finale et en outre permettent à la tige

principale de survivre dans le cas où l'inflorescence terminale est attaquée (Bidinger *et al.*, 1982).

1.6.5. L'inflorescence

L'inflorescence est une panicule très dense, apicale, cylindrique, long de 15-140 cm et avec un diamètre de 0,5-4,0 cm; c'est probablement la forme de la panicule qui a donné le nom (*Pennisetum typhoides*) à l'espèce parce qu'elle ressemble au *thypha* (Bidinger *et al.*, 1982).

1.6.6. La panicule

La panicule est constituée d'un rachis rigide portant des épillets pédonculés groupés dans des bouquets de soies plumeuses qui définissent l'appellation du genre *Pennisetum* du latin (« Penna » et « seta ») de longueur, nombre et couleur variables (Bidinger *et al.*, 1982).

1.6.7. La graine

Le fruit est un **caryopse** nu, de forme ovoïdale ou elliptique, longue d'environ 4 mm et de couleur variable (blanche, jaune, gris ou bleu) : 1000 graines pèsent de 4 à 8 g (Denis, 1984).

1.7. Croissance et développement du mil

Le développement du mil comprend, en général, trois phases principales :

- la phase végétative, de la levée à l'initiation florale (transformation de l'apex végétatif en bouton reproducteur);
- la phase de reproduction, de l'initiation florale à la floraison (apparition des stigmates sur 50% des épis). La vitesse de développement entre le semis et la floraison est fonction du cumul des températures moyennes journalières ;
- la phase de maturation, de la floraison à la maturité physiologique. Cette période dure en moyenne 30 jours dans la zone sahélienne pour l'ensemble des variétés à cycle court (Jansen et Gossèye, 1986).

1.7.1. Phase végétative

a) La germination et l'émergence

Cette première phase débute avec la levée des plantules et continue jusqu'au moment de l'induction florale.

La germination est hypogée et dans les bonnes conditions, elle se fait environ 24 heures après le semis. La germination commence avec l'absorption d'eau par la semence, qui active le métabolisme cellulaire. Dans environ 16 heures après le début de la germination, la radicule émerge près de la région hilare, suivie par la plumule avec la gaine coléoptile environ 2 heures plus tard. La radicule pousse vers le bas rapidement et

produit des poils (des racines fines). Le coléoptile pousse vers le haut lentement dans le sol jusqu'à ce qu'il émerge de la surface du sol. Le temps nécessaire à l'émergence lors de la germination dépend de la profondeur de semis, de l'humidité du sol, et de la température. Dans des conditions favorables du milieu, elle prend deux à trois jours.

A la fin de la levée, qui continue pendant environ quinze jours, la jeune plante est formée complètement. Pendant cette phase apparaissent les bourgeons de toutes les feuilles et, chez les variétés précoces, au moins six ou sept feuilles sont bien développées. Les plantules développent leur système racinaire primaire (racines séminales) et forment de nombreuses racines adventives.

Pendant cette phase les dimensions de la plante sont réduites parce qu'il n'y a pas d'allongement des inter-nœuds et le méristème apical reste près du sol, l'accumulation de la biomasse concerne seulement les feuilles et les racines.

b) Morphogénèse des organes végétatifs (feuilles et talles)

Celui-ci comporte trois stades que sont : le stade trois feuilles, le stade cinq feuilles et l'initiation paniculaire.

• Stade trois feuilles

Environ cinq jours après l'émergence du coléoptile, la lame de la troisième feuille peut juste être visible dans le verticille de la deuxième feuille. La première feuille est entièrement développée et la deuxième feuille est encore légèrement roulée à la base. A ce stade, la racine séminale, se développe rapidement.

• Stade cinq feuilles

Environ treize à quinze jours après l'émergence du limbe, la cinquième feuille est visible. Les première et deuxième feuilles sont pleinement développées. La troisième feuille est encore un peu enroulée. Le point de croissance reste en dessous du niveau du sol, entouré par les primordia foliaires en développement. La racine séminale est maintenant bien développée et a un certain nombre de branches. Les racines adventives commencent à apparaître.

• Initiation paniculaire (IP)

A ce stade, le point de croissance végétative des modifications de la phase de reproduction, c'est-à partir de la mise au point des primordiums foliaires à l'élaboration d'épillet primordia. Cette modification peut être reconnue par le fait que le sommet en forme de dôme est un étranglement et se développe à sa base. Toutes les feuilles ont été lancés à ce stade, six à sept feuilles sont bien déployées dans les variétés précoces et les autres sont à divers stades de développement. Après l'initiation, le point de croissance est supérieur à la surface du sol que les deux ou trois premiers nœuds commencent à s'allonger. La racine séminale a produit un

réseau de racines latérales et les racines adventives se développent rapidement. Un certain nombre de talles ont émergé et sont en cours de la même tendance que celle du développement de la tige principale, bien que la tige principale est plus avancée que les talles (Maiti et Bidinger, 1981).

1.7.2. Phase reproductive

Pendant cette phase, toutes les feuilles s'étendent, tandis que les premières qui se trouvent à la base de la tige, se dessèchent. Avec la montaison on a le rallongement des entre-nœuds à partir de la base.

Les talles suivent les mêmes phases de développement que la tige principale. L'accumulation de la biomasse concerne en ce moment, en plus des racines et des feuilles la tige aussi.

Pendant l'allongement des entre-nœuds l'inflorescence supporte une série de changements qui comprend le développement d'épillets, de fleurs, de glumes, de stigmates, d'anthères et filaments, l'apparition de la panicule, suivie après deux ou trois jours, par la floraison.

A partir du sommet de la panicule vers le bas, les fleurs femelles s'épanouissent suivies des fleurs mâles : après environ cinq à six jours la floraison et la fécondation de la panicule sont terminées.

1.7.3. Phase de remplissage et maturation des grains

Cette phase débute avec la fécondation des fleurs de l'inflorescence principale et se poursuit jusqu'à la maturité des plantes (tige principale et talles). L'accumulation de biomasse se produit essentiellement dans les caryopses.

La croissance et le développement chez le mil est marquée par trois phases; la phase végétative (GS1), la phase reproductive (GS2) et en fin celle de maturation (GS3).

La sénescence des feuilles basales continue jusqu'au point où seulement les deux à trois dernières feuilles restent vertes. Certaines variétés développent de petites talles sur les derniers nœuds de la tige vers la fin de la phase de remplissage des grains. Ces talles ont un cycle plus court et elles produisent seulement peu de feuilles et de petits épis. Le développement du grain passe par trois phases (laiteuse, pateuse et vitreuse). Il arrive à la maturité physiologique vingt à cinquante jours après la floraison, selon les variétés. Cette phase finale est reconnaissable par l'apparition d'un point noir dans la région du hile (Maiti et Bidinger, 1981).

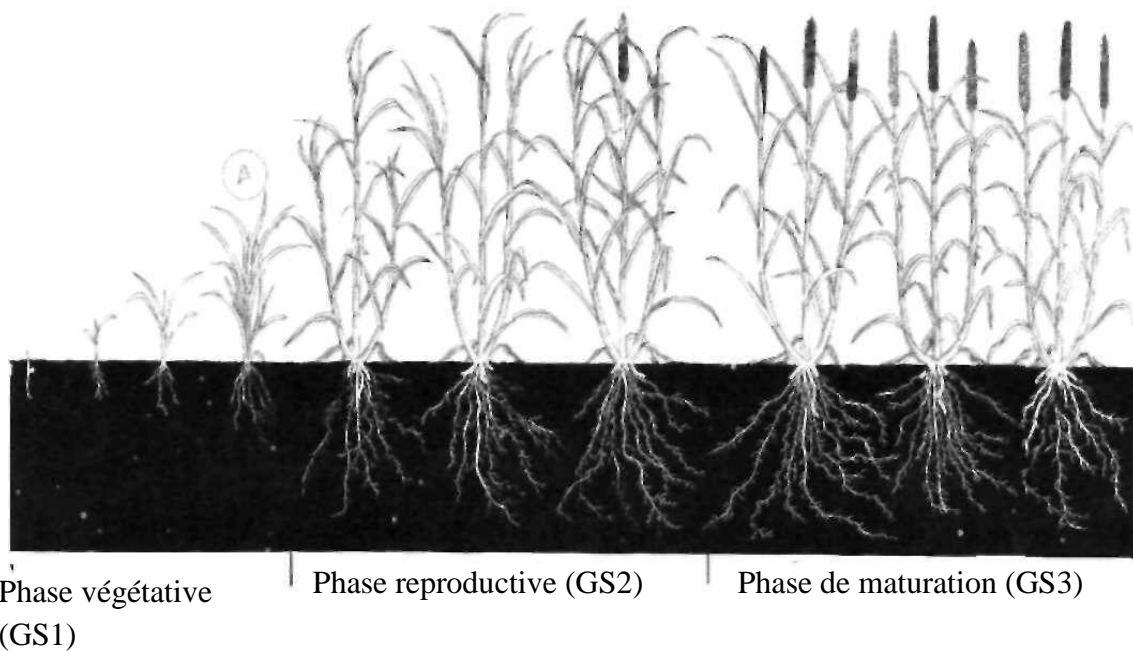


Figure 2: Schéma des phases de croissance et de développement du mil (Maiti et Bidinger, 1981)

1.8. Maladies et ennemis du mil

Les principales maladies du mil sont :

1.8.1 Les maladies cryptogamiques

- **le mildiou** ou lèpre du mil ou encore maladie de l'épi vert, provoqué par *Sclerospora graminicola* est présent dans toutes les zones millicoles. Cette maladie est surtout prépondérante dans les zones très humides ;
- **le charbon du grain** provoqué par *Tolyposporium penicillariae* ;
- **l'ergot** ou maladie sucrée causé par *Claviceps fusiformis*, attaque les épillets et provoque la formation d'un exsudat sucré sur les fleurs.

1.8.2. Les insectes

Comparé aux autres céréales, le mil est attaqué par un nombre limité d'insectes. Ils peuvent cependant revêtir une grande importance dans certaines régions de production en Afrique de l'Ouest. Parmi ces insectes on peut citer :

- la cécidomyie causée par *Geromyia penniseti*. Les cécidomyiides pondent des œufs au moment de la floraison et provoquent l'avortement des grains. Les variétés précoces sont moyennement attaquées par les premières générations ;
- les foreurs de tige sont souvent abondants mais avec une incidence économique faible en raison du pouvoir de tallage et de la tolérance des variétés cultivées. Au Sénégal, les

conséquences les plus graves sur la production sont surtout observées sur les mil précoces (Souma) semés tardivement avec la mineuse de l'épi (*H. albipunctella*).

- la mouche de la tige causée par *Atherigona* détruit les jeunes plantes surtout en cas de semis tardif ;
- les cantharides sont de redoutables ravageurs en cas de pullulation et les pertes peuvent atteindre 80 à 100 pour cent. Les taux d'attaques sont moins élevés dans les associations que dans la culture pure.

1.8.3. Les mauvaises herbes

La lutte contre les mauvaises herbes constitue un volet important, les pertes de récoltes étant estimées à 25%. Toutefois, il faut signaler que les mils traditionnels, grâce à leur haute taille, sont assez compétitifs face aux adventices. Parmi les mauvaises herbes on peut citer :

- *Striga hermonthica* est une plante parasite qui constitue un danger redoutable pour le mil. Elle s'attache aux racines de la plante hôte et y prélève des éléments nutritifs. La plante hôte est affaiblie et, dans le cas d'infestation sévère, il n'y a pas de production d'épis. La sécheresse et la faible fertilité des sols favorisent l'infestation des parcelles par le *striga*. Son arrachage n'est pas réalisable de façon efficace en cas d'infestation grave (Mémento de l'agronome, 2009).
- *Pennisetum stenostachyum* (Shibra) est une forme adventice du mil provenant d'un croisement entre le mil cultivé et le mil sauvage. Sa fréquence atteint parfois 20 pour cent, avec une incidence défavorable sur la productivité des cultivars infestés. L'élimination des shibras d'un cultivar permettrait donc une augmentation significative de sa production (Tompa 1983 ; Williams et Andrews 1983).

1.8.4. Les autres ennemis du mil

Les oiseaux granivores, dont l'impact varie d'une année à l'autre, représentent un véritable fléau dans certaines zones ; ils sont responsables des bas rendements observés chez les mils précoces. L'espèce *Quelea quelea* ou travailleur à bec rouge est la plus importante (Rachie et Majmudar 1980 ; Pradat 1962). Certains cultivars aristés, Sarakoua au Niger et Konotiné au Mali, sont considérés comme tolérants aux attaques d'oiseaux. Cette tolérance n'est que relative puis qu'en l'absence de formes mutiques, les épis aristés sont également ravagés.

Il faut également signaler les problèmes posés par les criquets, les oiseaux comme le mange mil, le moineau doré et le gendarme.

1.9. Qualités nutritionnelles

Au plan nutritionnel, le mil constitue un aliment de base très riche pour les populations Ouest-africaines. Le grain de mil est un aliment nutritif très énergétique. Comparé aux autres céréales, le mil contient une proportion supérieure de protéines de bonne qualité (forte teneur en lysine). Il constitue également une bonne source de lipides. Les vitamines particulièrement la thiamine, la riboflavine et l'acide nicotinique sont bien représentés chez le mil (Cirad-Gret, 2002).

1.10. Systèmes de culture du mil

Un système de culture peut être défini comme l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se caractérise par la nature des cultures et leur ordre de succession, les itinéraires techniques appliqués à ces différentes spéculations.

Traditionnellement le mil est cultivé en association avec une légumineuse c'est-à-dire le niébé (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) ou moins fréquemment en culture pure. Généralement aucun travail du sol avant le semis n'est effectué. Au Sénégal, le mil est généralement cultivé en pur Le mil est semé lorsque les premières pluies commencent à tomber (mai, juin) en plaçant beaucoup de grains (30 à 40) dans les poquets à une profondeur de 10 à 15 cm environ, ouverts avec la houe et aussitôt fermés avec un pied.

La difficulté de la culture associée demeure le manque de main-d'œuvre qui, surtout à cause de la brièveté de la saison des pluies, provoque des retards dans les travaux culturaux qui ne sont pas exécutés avec l'attention et le soin nécessaires (Spencer et Sivakoumar, 1987).

1.11. Le photopériodisme

La synchronisation des organismes avec les saisons est une manifestation spectaculaire de leur interaction avec l'environnement (Salisbury et Ross, 1985). Cette synchronisation concerne souvent la reproduction : il est approprié pour les jeunes animaux de naître lorsque la nourriture est abondante, pour les plantes allogames de fleurir toutes à la même date afin que la pollinisation croisée soit assurée et pour beaucoup d'espèces de tous les règnes de former les structures reproductives à une saison précise. Mais beaucoup d'autres fonctions physiologiques des plantes ont aussi une activité rythmée par les saisons : l'élongation des tiges, la croissance des feuilles, la dormance, la formation d'organes de stockage, la chute des feuilles et le développement de la résistance au froid font partie de cette liste. Beaucoup de ces variations saisonnières sont synchronisées par le photopériodisme, c'est à dire la

perception et la réaction aux changements de la durée quotidienne du jour et de la nuit. Ces changements de la durée du jour qui peut être ambiguë au printemps ou en automne, fournissent l'unique signal environnemental certain du passage des saisons (Thomas, 1998).

Le phénomène a été compris au cours du dernier siècle. A la fin du 19^{ème} siècle, l'invention des ampoules électriques a permis la conduite d'expériences d'allongement de la durée naturelle du jour et de montrer ainsi l'accélération de la floraison des espèces annuelles estivales.

La relation entre le développement des plantes et la durée du jour plutôt qu'avec la quantité de lumière reçue a été démontrée simultanément par Tournois (1912) et Klebs (1913).

La plupart des variétés du mil à chandelle sont photopériodiques, c'est-à-dire sensibles aux jours courts. Après le dépassement de la phase juvénile, le moment de l'induction florale est avancé par les jours courts. Ce mécanisme a été adopté par les plantes, dans leur évolution, dans les zones semi-arides de l'Afrique Occidentale, parce qu'il permet aux plantes de s'implanter avant la fin de la saison des pluies et d'arriver à la maturation en début de saison sèche. La réaction à la photopériode est une caractéristique de l'espèce, mais l'intensité de la réponse d'une plante à la durée du jour est un caractère des variétés. Pour ce qui concerne le mil (comme pour le sorgho et pour le niébé), il existe des variétés à jours courts (les variétés tardives, c'est-à-dire à cycle long) et des variétés indifférentes (les variétés précoces et semis-précoces, c'est-à-dire à cycle court) qui ont une réaction à la photopériode moins prononcée. Dans ce dernier cas l'induction florale a lieu après que la plante soit arrivée à un stade de développement critique.

Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodes

2. Matériel

2.1. Présentations des trois zones d'études

L'essai a été implanté simultanément à Kolda, à Bambey et à Saint Louis (Figure 3).

A Kolda, l'essai a été implanté au Centre de Recherche Zootechnique (CRZ) ($12^{\circ}52'N$, $14^{\circ}40'W$). Le sol du site d'expérimentation est de type sablo-argileux.

A Bambey, l'essai a été conduit au Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) ($14^{\circ}42'N$, $16^{\circ}28'W$). Le sol du site expérimental est de type sablo-ferrugineux tropical, localement appelé sol « Dior ».

A Saint Louis, l'essai a été conduit à la station de Ndiol du Centre de Recherche Agricole (CRA) à ($16^{\circ}30'N$, $16^{\circ}27'W$) situé à quelques kilomètres de la ville de Saint Louis. Les sols sont gris avec des taches caractéristiques rouges puis jaunes en profondeur et aussi avec des traces d'hydromorphie. La texture est limono-argileuse.

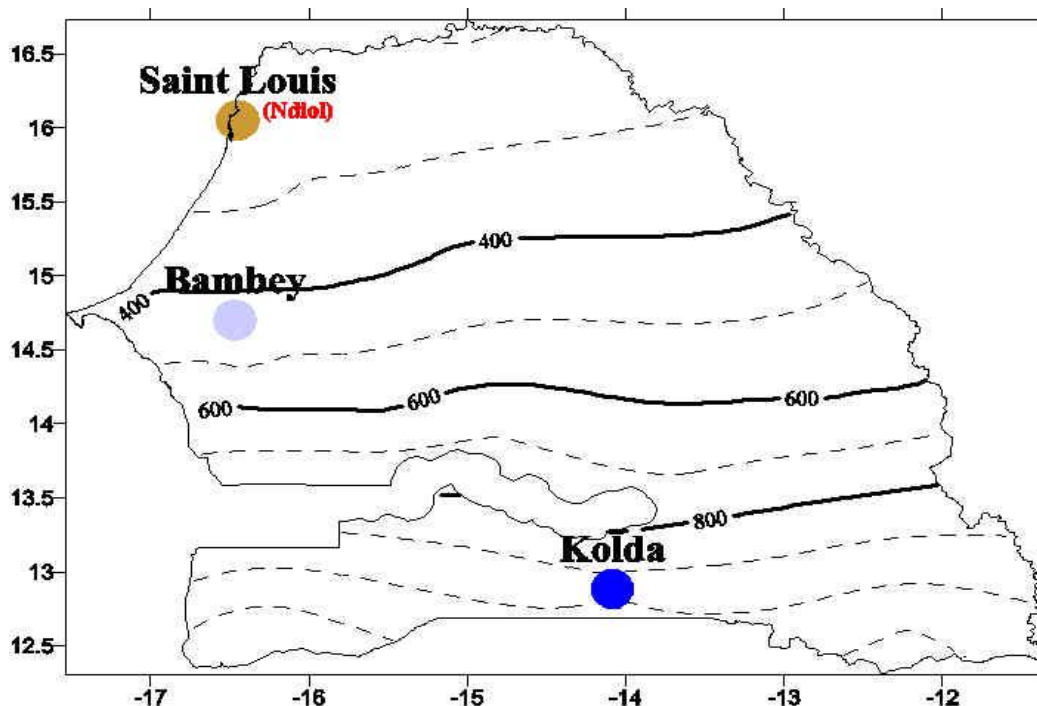


Figure 3: La carte de localisation des sites d'étude (TEKETE, 2011)

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de 10 variétés d'origines diverses (Tableau 1) :

- 4 Sanio dont le Sanio de Sefa, un de Koutima (Kolda), un de Maka Hamdallai (Nioro) et un de Allahbougou (Tamba) ;
- 3 Souna à savoir le Souna 3, un de Backfassagal (Diourbel) et un de Diana Bah (Kolda) ;
- 3 variétés dont Thialack 2, PE 08030 et ICMV IS89305 fournies par l'ISRA.

Les mils de type *Sanio*, dits « tardifs », ont en général un cycle de développement long. Ils sont de grande taille et sont sensibles à la photopériode. Au Sénégal, ces écotypes de mil sont cultivés dans les zones agro-écologiques où la pluviométrie annuelle est relativement abondante (centre et sud du pays). Les mils Sanio ont, en conditions normales, un développement (en hauteur et en nombre de talles) plus important que les types *Souna*. On estime les besoins en eau des variétés de mil de type Sanio à environ 544 - 598 mm (Dancette, 1983).

Les mils de type *Souna* sont des variétés précoces et peu sensibles à la photopériode. Ces écotypes de mil sont cultivés dans les zones agro-écologiques où la durée de la saison pluvieuse est relativement courte.

Tableau 1: Provenance des différentes variétés de l'étude

Entrée	Nom	Provenance
1	Souna 3	ISRA
2	Thialack 2	ISRA
3	PE08030	ISRA
4	ICMV IS89305	ISRA
5	Souna Backfassagal	DIOURBEL
6	Souna Diana Bah	KOLDA
7	Sanio Séfa	KOLDA
8	Sanio Koutima	KOLDA
9	Sanio Maka Hamdallai	NIORO
10	Sanio Allahbougou	TAMBA

3. Méthodes

3.1. Données climatiques

Les données sur les températures maximum et minimum au niveau des trois sites ont été fournies par l'Agence nationale de l'aviation civile et de la météorologie (ANACIM). Par contre les données pluviométriques ont été recueillies sur les sites d'expérimentation.

3.2. Dispositif expérimental

Le dispositif est en blocs complets randomisés à un facteur (la variété) et à 3 répétitions (Figure 4). L'unité expérimentale est une parcelle de 2 lignes de 04 m (5poquets/ligne) avec des écartements de 0,80 m entre les lignes et 0,80 m entre les poquets sur la ligne. Les blocs sont distants entre eux de 0,76 m. Les parcelles dans chaque répétition sont séparées de 1 m. Ce dispositif a été repris aux 4 dates et sur l'ensemble des sites.

Précisons qu'à Kolda on a utilisé que les données des 3 dernières dates de semis dates de semis. Ceci est dû à une erreur sur la détermination de la date exacte de la ligulation de la FD.

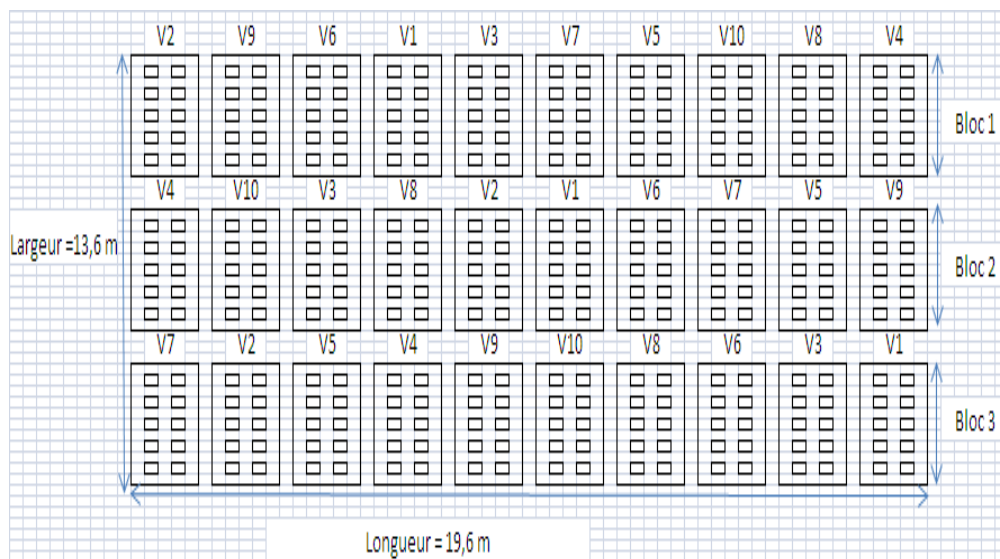


Figure 4: Plan du dispositif expérimental

3.3. Conduite de l'essai

3.3.1. Opérations pré semis

Un suivi d'un labour, nivellement et piquetage sont effectués quelques jours avant chaque date de semis. Pour la préparation des poquets, du furadan ou de l'Oxamyl 5% a été appliqué

au niveau de chaque poquet en vue de lutter contre d'éventuelles attaques d'insectes ou d'autres microorganismes du sol qui pourraient empêcher la levée.

3.3.2. Du semis à la maturité

3.3.2.1. Dates de semis

L'essai a été subdivisé en quatre dates de semis avec un intervalle de temps d'un mois au plus entre deux dates successives. Les différentes dates de semis sont le 10 juin 2011, le 08 juillet, le 05 août 2011 et le 06 septembre 2011.

3.3.2.2. Fertilisations

Les fertilisations se résument en une application de NPK (15-15-15) comme engrais de fond à raison de 312,5 Kg.ha⁻¹ et deux apports d'urée en 2 tranches de 156,25 Kg.ha⁻¹ chacune. Le NPK est appliqué juste après le semis. Le premier apport d'urée a eu lieu 10 à 15 jours après semis alors que le second est fait en pleine montaison.

3.3.2.3. Entretien et opérations culturales

Le premier démarrage a été effectué entre 10 et 15 jours après semis (2plants/poquet). Le second quant à lui a eu lieu une semaine après le premier (1plant /poquet). Les sarclages sont effectués régulièrement tout au long du cycle.

3.4. Observations et mesures

3.4.1. Nombre de poquets levés

Cette opération consistait à compter le nombre de poquets. Elle commençait 48 heures après le semis et se poursuivait jusqu'à ce que la levée soit complète dans tous les sites.

3.4.2. Observations phénologiques

Le suivi phénologique de chacune des (10) variétés a été effectué pendant toute la durée du cycle et pour chaque date de semis. Les observations consistaient essentiellement à noter les dates de :

- ligulation de la feuille drapeau (FD);
- déploiement complet de la panicule ;
- 50% floraison femelle ;
- début pollinisation;
- 50% floraison mâle;
- maturité.

3.5. Paramètres calculés

3.5.1. Calcul du degré photopériodique d'une variété

Le degré photopériodique d'une variété est déterminé à l'aide d'un coefficient K_p dit coefficient photopériodique dont la formule est :

$$K_p = \frac{SFD_1 - SFD_2}{D_2 - D_1}$$

Ce coefficient K_p est défini comme étant le rapport de la différence des durées semis-feuille drapeau (SFD) en nombre de jours entre les deux dates sur l'écart de décalage en jour entre ces dates de semis. Il est calculé sur les 2 premières dates de semis. Sa valeur est normalement inférieure ou égale à 1 ($K_p \leq 1$). Pour les variétés très photosensibles, ce coefficient est plus proche de l'unité car le raccourcissement de la période végétative compense pratiquement l'écart du décalage de semis.

3.5.2. Calcul de la durée semis feuille-drapeau (SFD) en degré jour

La durée semis-feuille-drapeau est la durée qui sépare la date de semis et la date précise de la ligulation de la feuille-drapeau (FD). Cette durée en degré jour est calculée à partir de la formule suivante :

$$SFD (DDJ) = \sum \left(\frac{TX + TN}{2} - Tb \right)$$

Où TX est la température maximale journalière; TN la température minimale journalière et Tb la température de base qui est égale à 12°C.

L'utilisation de la durée semis feuille-drapeau pour caractériser le cycle et non la durée semis-maturité est liée au fait que la durée FD-maturité est constante chez la plupart des céréales. De plus la détermination de cette durée n'est pas toujours précise et dépend de l'observateur. Par contre la ligulation de la FD est claire et précise.

3.6. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été faites essentiellement avec Excel et Statistix. Ces analyses se résument en des calculs de moyennes, des représentations graphiques et à des régressions linéaires qui servent à montrer la qualité de la relation entre deux variables.

Résultats et Discussion

III. Résultats

3.1. Données météorologiques

3.1.1. Pluies et irrigations sur les trois sites

Les figures 5, 6 et 7 indiquent les variations mensuelles, des précipitations et des apports d'eau par irrigation qui ont été effectués pour éviter les stress dans les différents sites d'étude. Leur analyse montre que le site de Ndiol (Saint-Louis) avec un cumul pluviométrique annuel de 345 mm apparaît particulièrement aride comparée à Bambey (583,6 mm) et Kolda (875,1 mm). Il n'a pas reçu de pluies pendant les mois de juin et octobre contrairement aux autres sites.

La normale calculée sur la période 1971-2000 donne à Saint-Louis 189,2 mm, Bambey 436,0 mm et à Kolda 896,9 mm (source : ISRA/CERAAS/Agroclimatologie). Ceci montre que la pluviométrie enregistrée à Saint-Louis a été suffisante (presque le double) pour cette année 2011 comparée à sa normale. A Bambey, on assiste à la même situation. Par contre à Kolda la pluviométrie de 2011 est inférieure à la normale. Ces tendances pluviométriques sur expliquent que les quantités d'eau apportées par irrigation soient plus importantes à Saint-Louis comparées aux autres sites. Ces apports sont de 730 mm à Saint-Louis, 449,4 mm à Kolda et 140 mm à Bambey. Quel que soit le site considéré, les mois les plus pluvieux ont été juillet, août et septembre.

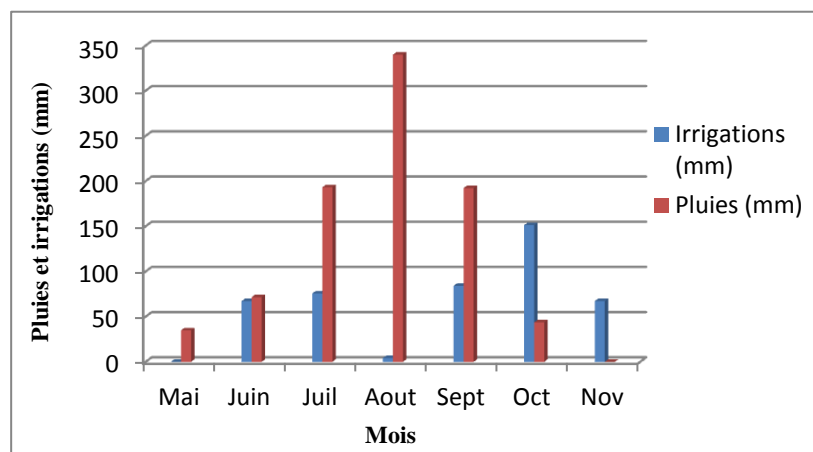


Figure 5: Pluies et Irrigations à Kolda (2011)

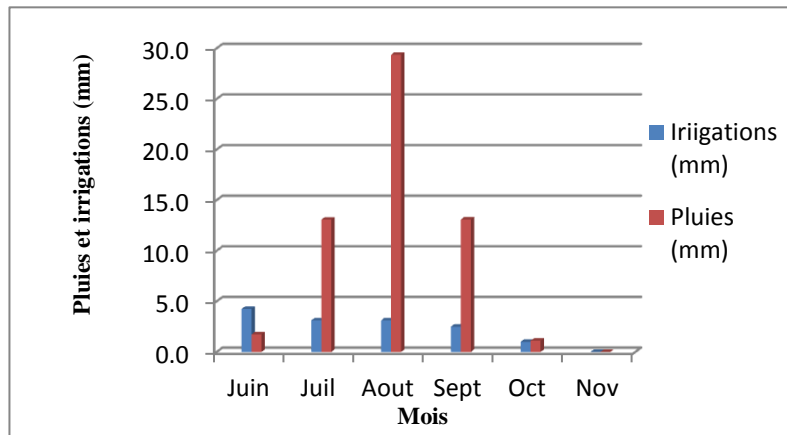


Figure 6: Pluies et Irrigations à Bambeï (2011)

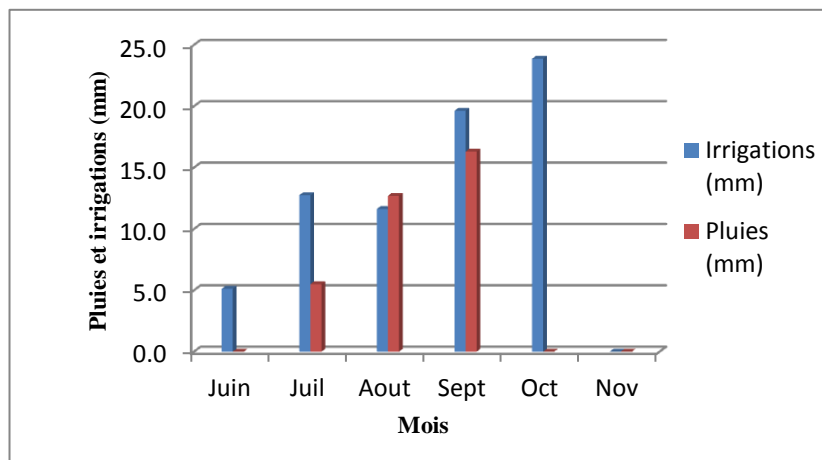


Figure 7: Pluies et Irrigations à Saint-Louis (2011)

3.1.2. Température minimum et maximum des trois sites

Les figures 8, 9 et 10 indiquent les variations journalières des températures sur les différents sites d'étude. Leur analyse montre que le site de Ndiol a, en moyenne, une température maximale journalière de 34,6°C et une température minimale journalière de 22,4°C. A Bambeï la moyenne des maxima et des minima est respectivement de 35,3 et 23,1°C. A Kolda cette moyenne des températures maximales et minimales journalières est respectivement de 34,5 et 22,8°C.

Il faut signaler que, pour l'ensemble des trois sites, les écarts journaliers de température sont devenus un peu plus importants vers la fin de l'essai (de mi-octobre à décembre). Cependant il faut signaler que les écarts sont plus importants à Saint-Louis qu'à Bambeï et Kolda.

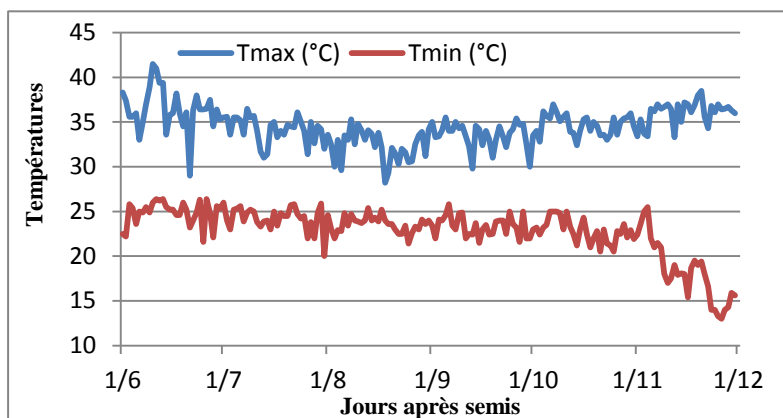


Figure 8: Evolution des températures à Kolda (2011)

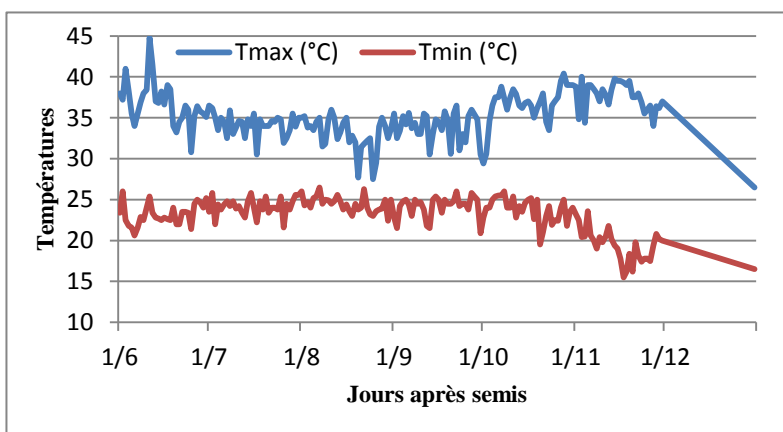


Figure 9: Evolution des températures à Bambey (2011)

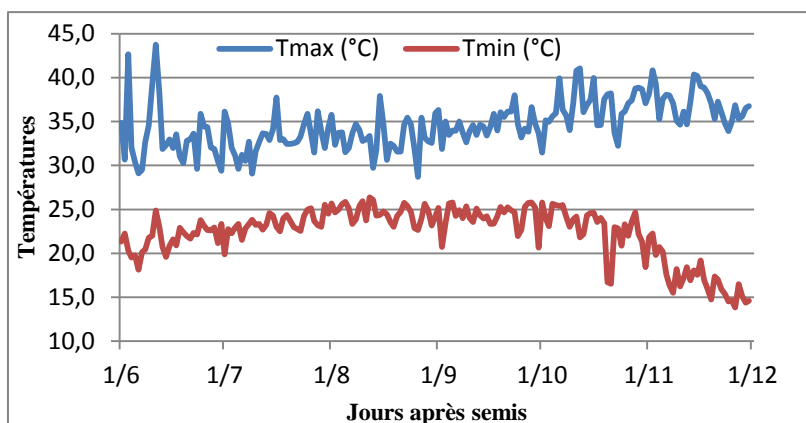


Figure 10: Evolution des températures à Saint-Louis (2011)

3.1.3. La photopériode sur les trois sites

La figure 11 montre l'évolution de la durée du jour sur les trois latitudes aux cours de la croissance des cultures. Afin de bien cerner la réaction à la photopériode on réalise quatre dates de semis espacées dans le temps sous différentes conditions de photopériodes. Durant les premiers mois les durées de jour les plus longues sont observées à Saint-Louis suivi de Bambey et à Kolda où les durées les plus courtes ont été notées. A la fin de l'essai on observe

une situation inverse. Pour les semis effectués en juin et juillet les plantes se développeront dans des conditions de photopériodes élevées. Les semis d'août et septembre permettent d'apprécier le développement des plantes dans des photopériodes courtes. Les durées des photopériodes sur les trois sites sont très proches.

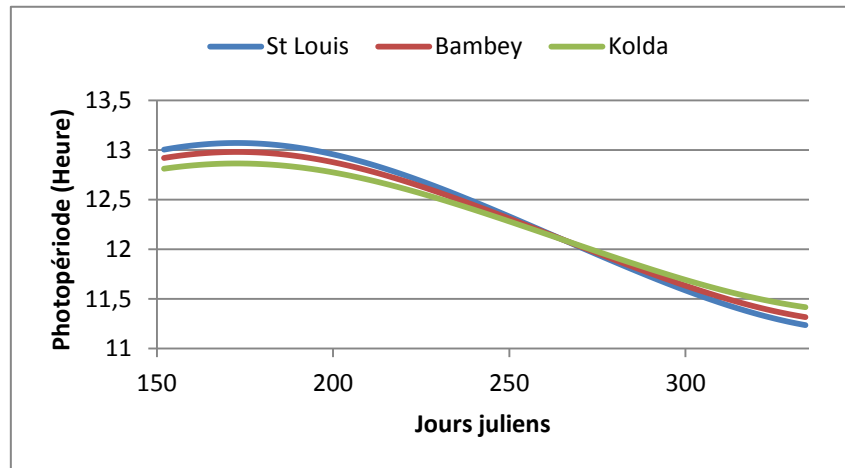


Figure 11: Evolution de la durée du jour astronomique sur les trois sites d'expérimentation

3.2. Evolution du Kp en fonction de la latitude

La figure 12 montre l'évolution des coefficients de photopériodisme des variétés en fonction de la latitude. Il ressort de cette figure que la latitude a un effet sur le coefficient de photopériodisme des variétés. Il est à signaler que toutes les variétés étudiées sont plus ou moins sensibles à la photopériode. Les coefficients de photopériodisme calculés montrent de façon globale que les Kp sont plus élevés à Bambey qu'à Kolda et Saint-Louis. Les variétés peuvent être classées en trois groupes: les variétés photopériodiques (Sanio Séfa, Sanio Koutima, Sanio Maka Hamdallai et Sanio Allahbougou), les variétés moyennement photopériodiques (Souna 3, Thialack 2 et PE08030) et celles non photopériodiques (Souna Backfassagal, Souna Diana Bah et ICMV IS89305). Les coefficients de photopériodisme calculés montrent de façon globale que les Kp sont plus élevés à Bambey qu'à Kolda et Saint-Louis.

L'analyse montre que la variété V7-Sanio Séfa a le même comportement sur les trois sites avec un Kp de 0,5. Tandis que la variété V8-Sanio Koutima est plus sensible à la photopériode à Bambey (Kp = 0,7) que sur les autres sites. Les variétés V9-Sanio Maka Hamdallai et V10-Sanio Allahbougou originaires du Centre Sud sont toutes Photopériodiques sur les trois sites avec des Kp de l'ordre de 0,6 à 0,7. Ce pendant la variété V9- Sanio Maka Hamdallai est plus photopériodique à Kolda et à Bambey (Kp = 0,7) alors que la variété V10 montre un comportement similaire sur l'ensemble des sites (Kp = 0,6). La variété V4-Souna

Backfassagal provenant du Centre Nord présente un coefficient photopériodique identique au niveau des trois latitudes ($K_p = 0,2$).

Selon l'origine, les variétés du Centre Sud restent les plus sensibles à la photopériode surtout à Kolda et Bambey.

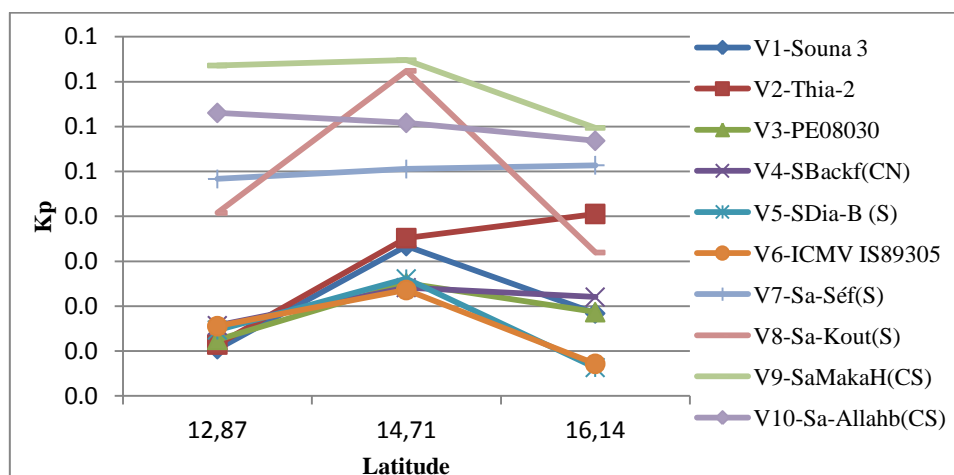
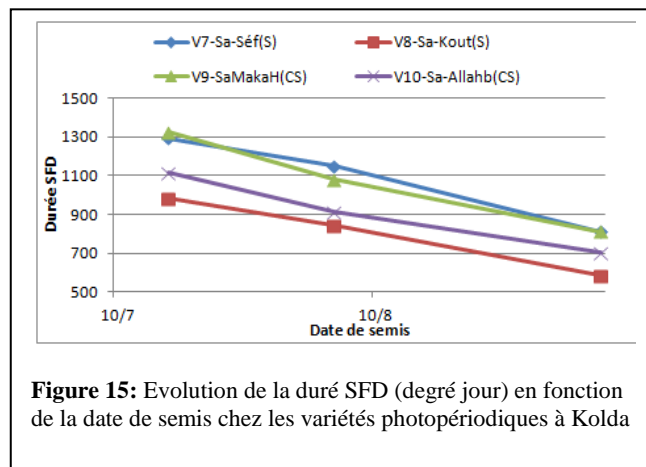
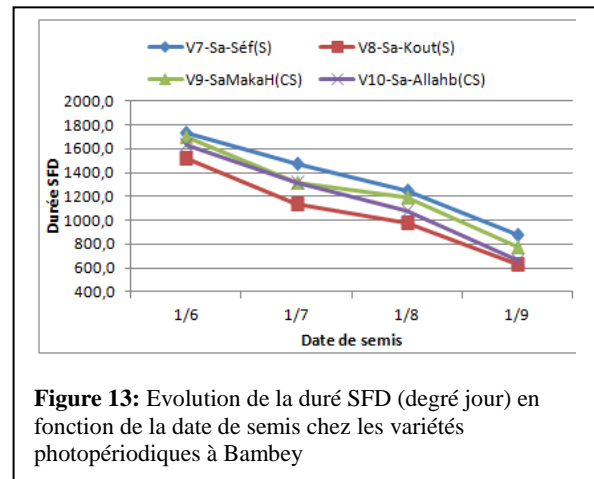
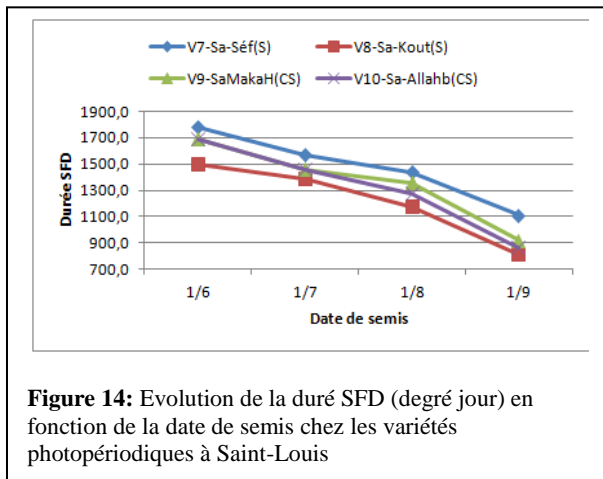


Figure 12: Evolution du coefficient de photopériodisme en fonction de la latitude (Kolda = 12,87; Bambey = 14,71; Saint-Louis = 16,14)

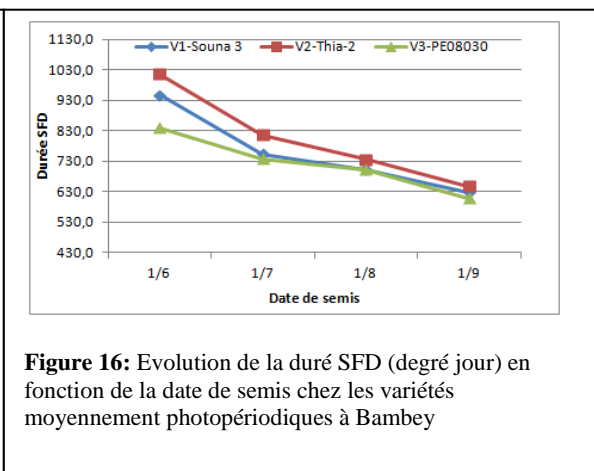
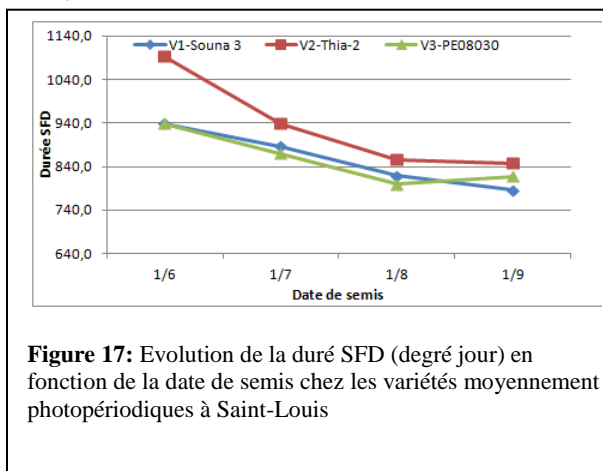
3.3. Evolution de la durée SFD en fonction de la date de semis

Les figures 13 à 21 montrent l'évolution de la durée SFD des variétés en fonction de la date de semis dans les trois zones d'études. On peut identifier deux groupes de variétés selon la durée du cycle : les variétés tardives (Sanio Séfa(S), Sanio Koutima (S), Sanio Maka Hamdallaï (CS), Sanio Allahbougou (CS)) et celles précoces (Souna 3, Thialack 2, PE08030, ICMV IS89305, Souna Backfassagal (CN), Souna Diana Bah (S)). On constate que la durée du cycle des variétés diminue au fur et à mesure que le semis est retardé ce qui est la caractéristique principale des variétés photopériodiques. Néanmoins, cette réduction est beaucoup plus accentuée pour les variétés à cycle long par rapport à celles à cycle courts. Au niveau des trois sites, la durée SFD des variétés suit la même tendance.

Les analyses montrent que les variétés du Sud et du Centre Sud (photopériodiques) ont des durées SFD les plus élevées ($1777,7 \text{ DDJ} \geq \text{SFD} \geq 774,6 \text{ DDJ}$) au niveau des trois zones d'études. La variété V7-Sanio Séfa présente la durée la plus importante par date de semis tandis que la variété V8-Sanio Koutima a la plus courte durée SFD. On constate aussi que chez ces variétés photopériodiques la durée du cycle varie de manière décroissante du Nord au Sud.



Pour les variétés moyennement photopériodiques, les résultats montrent que la variété V2-Thialack 2 a une durée de cycle plus élevée pour chaque date de semis et sur l'ensemble des sites. Comme pour les variétés photopériodiques, celles-ci présentent des durées de cycles qui évoluent de manière décroissante suivant le gradient Nord/Sud ($1092,9 \text{ DDJ} \geq \text{SFD} \geq 608,1 \text{ DDJ}$).



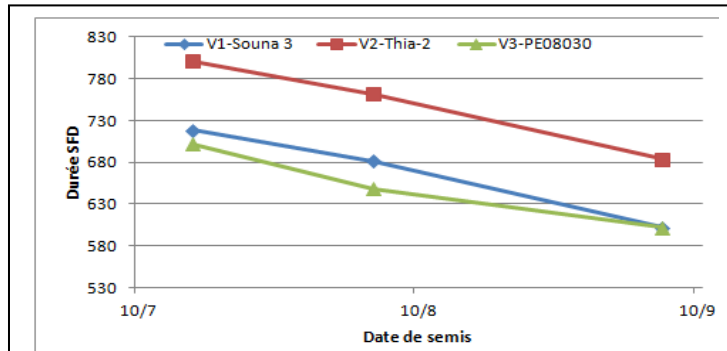


Figure 18: Evolution de la duré SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés moyennement photopériodiques à Kolda

Les variétés non photopériodiques ont des comportements assez contrastés par rapport aux dates de semis dans l'ensemble des sites ($990,2 \text{ DDJ} \geq \text{SFD} \geq 618,6 \text{ DDJ}$). Par exemple à Saint-Louis pour la première date de semis, la variété V4-Souna Backfassagal présente la durée SFD la plus élevée avec $990,2 \text{ DDJ}$ alors que pour les autres semis on assiste à une situation inverse. Au niveau des autres sites (Bambey et Kolda) cette variété V4 a toujours la durée SFD la plus courte ceci pour toutes les dates de semis.

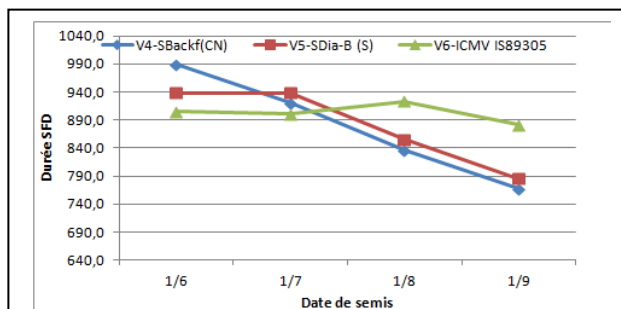


Figure 19: Evolution de la duré SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés non photopériodiques à Saint-Louis

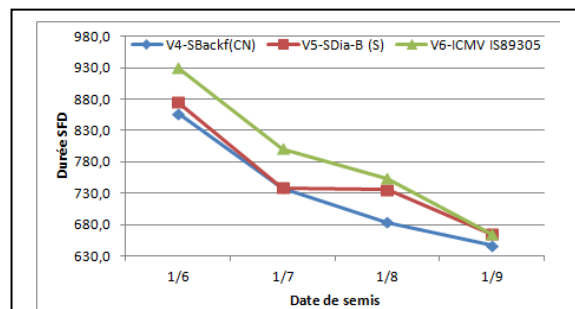


Figure 20: Evolution de la duré SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés non photopériodiques à Bambey

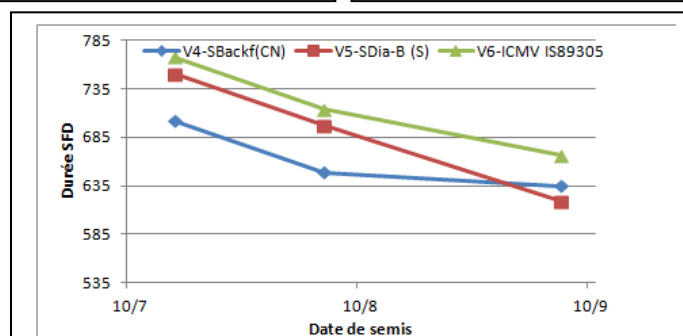


Figure 21: Evolution de la duré SFD (degré jour) en fonction de la date de semis chez les variétés non photopériodiques à Kolda

Il faut noter que, de façon générale, la durée du cycle diminue en fonction du gradient Nord/Sud (Saint-Louis Bambey-Kolda). De ce fait les cycles les plus précoces ont été observés à Kolda.

3.4. Durée SFD en fonction des sites pour trois variétés

Les figures 22, 23 et 24 montrent l'évolution de la durée SFD, des variétés Thialack 2, Sanio séfa et Souna 3 en fonction de la date de semis sur les trois sites. Ces trois variétés présentent chacune des durées SFD qui diminuent lorsque la date de semis est retardée. Cette durée est plus élevée à Saint-Louis qu'à Bambey et Kolda. Pour la variété Thialack 2, la durée SFD est plus importante à Kolda qu'à Bambey aux deux derniers semis tandis que pour la variété Sanio Séfa, on observe, au premier semis, des durées SFD pratiquement identiques à Bambey et Saint-Louis. Pour cette variété la durée du cycle évolue de manière décroissante à partir de Saint-Louis Pour la variété Souna 3, on note une tendance similaire avec une particularité à Kolda et Bambey. Sur ces deux sites on voit qu'au deuxième et au troisième semis, celle-ci a pratiquement des durées de cycle identiques. Ces résultats confirment que la latitude a un effet sur le photopériodisme.

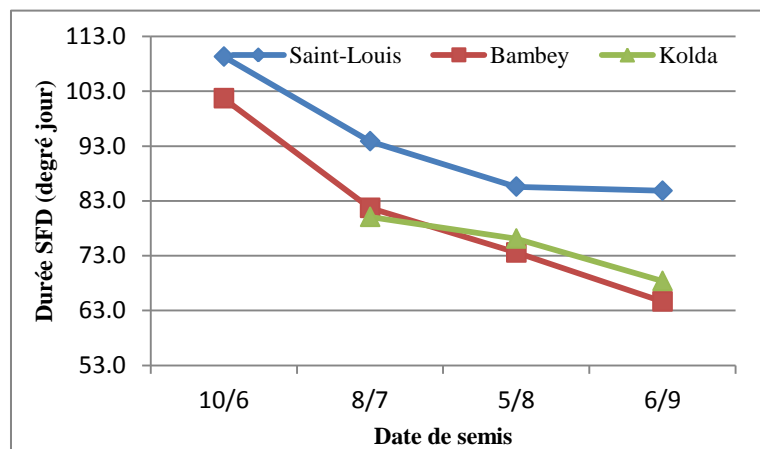


Figure 22: Evolution de la durée SFD de la V2 (Thialack 2) en fonction de la date de semis

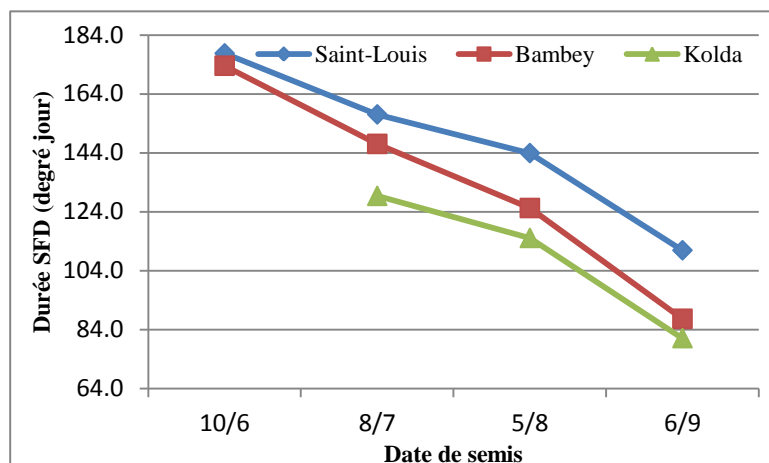


Figure 23: Evolution de la durée SFD de la V7 (Sanio Séfa) en fonction de la date de semis

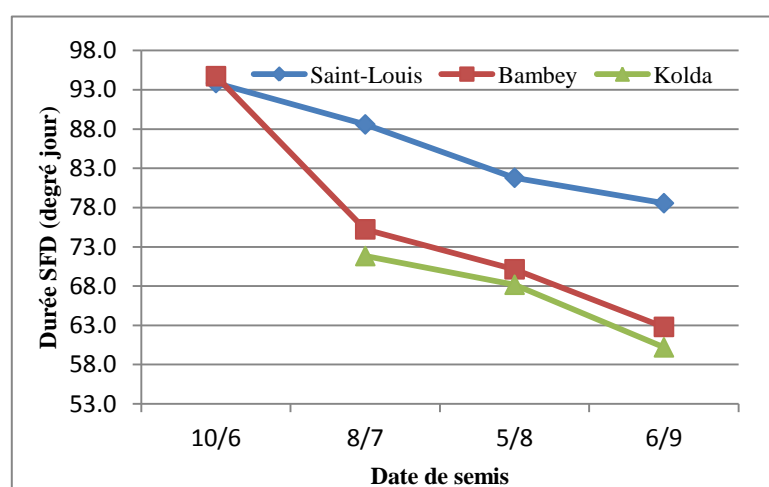


Figure 24: Evolution de la durée SFD de la V1 (Souna 3) en fonction de la date de semis

3.5. Relation entre coefficient photopériodique et durée du cycle

Les figures 25, 26 et 27 montrent la relation entre le coefficient de photopériodisme et la durée semis-feuille drapeau (degré jour). La régression linéaire a donné à Kolda un $R^2 = 0,73$ supérieur à ceux observés à Bambey et à Saint-Louis respectivement avec des $R^2 = 0,69$ et $0,71$. Il existe une corrélation hautement significative entre le K_p et la durée SFD dans tous les sites avec des probabilités de 0,0021, 0,0028 et 0,0014 respectivement à Saint-Louis, Bambey et Kolda.

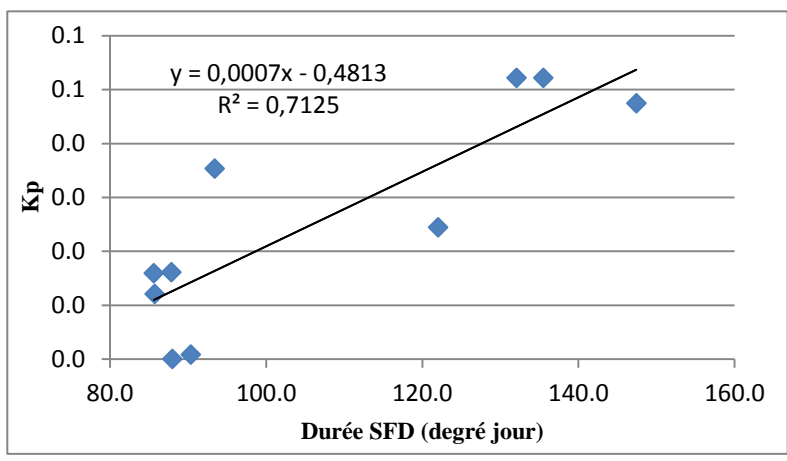


Figure 25: Relation entre le coefficient photopériodique et la durée du cycle à Saint-Louis

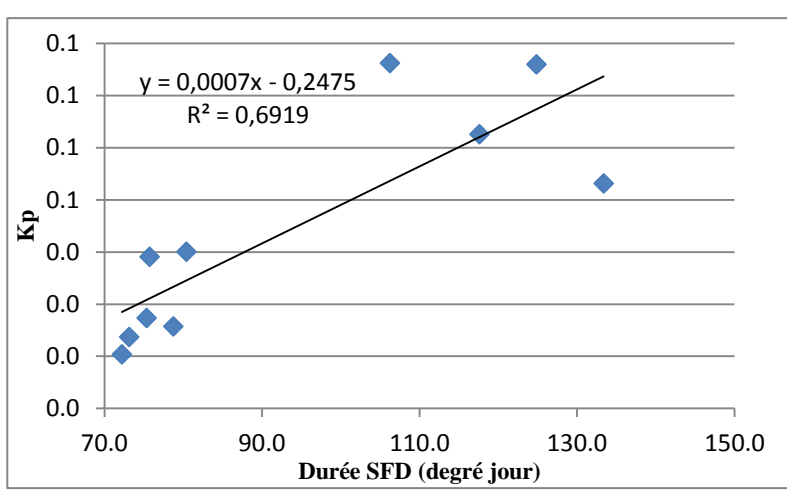


Figure 26: Relation entre le coefficient photopériodique et la durée du cycle à Bambeby

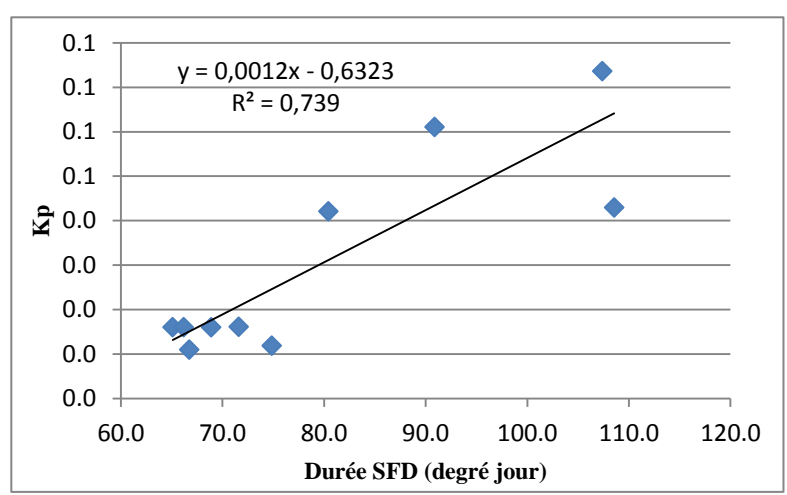


Figure 27: Relation entre le coefficient photopériodique et la durée du cycle à Kolda

IV. Discussions

L'objectif de cette étude a été de caractériser les cycles de développement de variétés de mil de diverses origines géographiques en fonction de la latitude.

Les résultats obtenus ont montré que les valeurs du coefficient de photopériodisme des variétés précoces de type souna sont inférieures à 0,5 et cela quelle que soit la latitude où elles ont été cultivées. Ce résultat indique clairement que ces variétés précoces se sont montrées insensibles ou peu sensibles à la photopériode sous toutes les latitudes. En revanche, la majorité des variétés tardives (V9, V10 et V8 à Bambey) de type sanio ont présenté des valeurs de K_p supérieures à 0,5 et proches de l'unité. Il apparaît donc que ces variétés contrairement aux précoces ont été sensibles au photopériodisme sur l'ensemble des latitudes où elles ont été testées. Nos résultats corroborent ceux de nombreux travaux (Clerget *et al.*, 2007 ; Barry, 2010, Tékété 2010) qui ont montré sur des collections de sorgho et de mil que plus une variété est tardive plus forte est sa sensibilité au photopériodisme; en revanche, plus grande est la précocité d'une variété, plus faible est sa sensibilité au photopériodisme.

Il est ressorti également de cette étude que quelle que soit la latitude (Haute, moyenne, basse latitude) où les variétés sont issues, on note que certaines sont très peu sensibles à la photopériode alors que d'autres sont en revanche, sensibles au photopériodisme. Ce résultat est différent des observations effectuées par Vaksman *et al.* (1998) qui ont noté que les variétés originaires du Nord (haute latitude) étaient plus photopériodiques que celles du Sud. Il semble donc que dans notre cas, la sensibilité au photopériodisme s'explique surtout par le cycle et pas par l'origine géographique.

S'agissant de la relation entre la durée du cycle et la date de semis, nos résultats ont montré que cette durée du cycle diminue au fur et à mesure que le semis est retardé. Cette diminution est plus remarquable chez les variétés tardives. Traoré *et al.* (2007) ainsi que Clerget (2004) rapportent des résultats similaires. Ils soutiennent que chez les variétés photopériodiques essentiellement celles tardives, la durée du cycle est d'autant plus longue que la date de semis est précoce.

L'étude de la durée semis feuille-drapeau en fonction de la date de semis montre que les plus longues durées SFD sont observées à Saint Louis suivi de Bambey et les plus courtes à Kolda. Ce qui se traduit par une augmentation de la durée SFD suivant la latitude. Donc cette durée du cycle évolue de manière décroissante du Nord au Sud. Les résultats corroborent ceux de

travaux de [Tékété \(2010\)](#) qui, montrent que les plus longues durées SFD sont observées à Saint Louis suivi de Bambey et les plus courtes à Kolda.

En ce qui concerne la relation entre le coefficient photopériodique et la durée semis Feuille-drapeau, l'étude a mis en évidence, une relation linéaire hautement significative. Le coefficient photopériodique augmente la durée semis Feuille-drapeau augmente. Ce résultat confirme que plus les variétés sont tardives plus, il y a des chances qu'elles soient absolument sensibles au photopériodisme. Il est en adéquation avec [Clerget \(2004\)](#) et [\(Haussmann *et al.*, 2007\)](#) qui ont montré que pour chaque date de semis et sous des conditions de culture favorable, la date de floraison du sorgho ou du mil est déterminée par sa sensibilité à la photopériode.

L'évolution du Kp en fonction de l'origine des variétés montre qu'il existe au Nord, au Centre comme au Sud des variétés très peu sensibles à la photopériode et des variétés sensibles à la photopériode. Ce pendant, des études menées par d'autres auteurs ([Vaksman *et al.*, 1998](#)) ont montré que les variétés originaires du Nord (haute latitude) étaient plus photopériodiques que celles du Sud. Cette différence pourrait être due aux aléas climatiques ou aux conditions d'alimentation hydriques ou bien au fait que certaines des variétés ont été introduites dans les zones où elles ont été collectées.

L'analyse de la durée semis feuille-drapeau a permis de classer les variétés en deux groupes : les variétés tardives (Sanio Séfa(S), Sanio Koutima (S), Sanio Maka Hamdallaï (CS), Sanio Allahbougou (CS)) et celles précoces (Souna 3, Thialack 2, PE08030, ICMV IS89305, Souna Backfassagal (CN), Souna Diana Bah (S)). Dans tous les sites la durée du cycle des variétés diminue au fur et à mesure que le semis est retardé. Cette diminution de la durée du cycle est plus accentuée chez les variétés tardives. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par ([Traoré *et al.*, 2007](#) et [Clerget., 2004](#)).

Conclusion et recommandations

A la lumière de cette étude, les résultats obtenus mettent en évidence que la sensibilité au photopériodisme est liée à la durée du cycle. Les variétés tardives étant plus sensibles à la photopériode que les variétés précoces. La durée SFD des variétés diminue au fur et à mesure que le semis est retardé. Mais cette réduction est beaucoup plus importante pour les variétés à cycle long par rapport à celles à cycle court. Au dernier semis, les variétés tardives au premier semis deviennent plus précoces que celles précoces au premier semis. Il existe une variation de la durée SFD en fonction de la latitude et de la date de semis. Les plus longues durées SFD sont observées à Saint Louis et les plus courtes à Kolda. La variation de la durée du cycle est beaucoup plus marquée chez les variétés à cycles long. Au dernier semis, la durée du cycle est presque la même sous les trois latitudes avec une différence maximale de 10 jours entre les sites. Chez les variétés à cycle court, la durée SFD est quasiment la même sur les trois sites pour chaque date de semis. Pour chaque date de semis et dans des conditions de culture favorables, la date de la ligulation de la feuille-drapeau est déterminée par sa sensibilité à la photopériode. L'étude de la durée SFD des variétés a permis d'identifier deux groupes de variétés : les variétés tardives (Sanio Séfa (S), Sanio Koutima (S), Sanio Maka Hamdallai (CS), Sanio Allahbougou (CS)) et celles précoces (Souna 3, Thialack 2, PE08030, ICMV IS89305, Souna Backfassagal (CN), Souna Diana Bah (S)).

Sur la base des résultats, il apparaît que la variabilité du cycle de développement des variétés de mil en fonction de la latitude est une question capitale qu'il faut élucider si l'on veut améliorer la prédiction de leurs productivités dans les différentes zones agro-écologiques du Sénégal. Ce travail présente la limite d'avoir été mené dans un temps limité (une seule saison humide) et très insuffisant pour avoir des données affinées sur le comportement des variétés étudiées dans les différents sites d'essai. C'est pourquoi, les recommandations suivantes sont formulées pour approfondir et confirmer les données obtenues. Ainsi, il convient:

- de conduire cette étude sur plusieurs saisons afin d'obtenir des données pouvant fournir des informations qui pourraient contribuer à une meilleure connaissance des variétés locales en vue d'améliorer les modèles de prévisions des rendements ;
- inclure des paramètres agro-morphologiques (nombre de feuilles, nombre de talles, hauteur plante, *etc.*) dans les observations. Cela donnerait une évaluation complémentaire et précise des durées SFD.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adamou K.I., 2008. Estimation des paramètres quantitatifs génétiques du mil (*Pennisetum glaucum* (LR. BR.) sous deux niveaux de fertilité du sol, dans quatre séries de croisements factoriels entre des variétés locales.

Andrew H. and Kumar A., 2006. A comparative assessment of the utility of PCR-based marker systems in pearl millet. *Trends Biotech* 23: 48-55.

Barry B., 2010. Effets de la date de semis et de la latitude sur la croissance et le développement du sorgho. Mémoire de fin d'étude. Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, 51p.

Bidinger F.R., Mahalakshmi V., Talukdar B.S. and Alagarswamy G., 1982. Improvement of drought resistance in pearl millet, pp.357-375 in drought resistance in crops with emphasis on rice. Los Baños, Philippines: International Rice Institute.

Benoit P., 1977. The start of the growing season in Northern Nigeria. *Agric For Meteorol* 1977; 18: 91-9.

Bouzou I.M., 2009. Evaluation de l'effet du composte enrichi avec des urines hygiénisées sur la culture du mil.

Bourke D.O'D., (1963). The West African Millet Crop and its improvement. *Sols afr.*, 8: 121-132.

Clerget B., 2004. Le rôle du photopériodisme dans l'élaboration du rendement de trois variétés de sorgho cultivées en Afrique de l'Ouest in : Thomas, B., 1998. Photoperiodism: an overview. In: P. J. Lumdsen and A. J. Millar (Eds.), *Biological rhythms and photoperiodism in plants*. BIOS Scientific Publisher, Oxford, pp. 151-165.

Clerget B., 2004. Le rôle du photopériodisme dans l'élaboration du rendement de trois variétés de sorgho cultivées en Afrique de l'Ouest in : Salisbury, F. B., Ross, C. W., 1985. Photoperiodism. In : *Plant Physiology*. Wadsworth, Belmont, California, pp. 426-446.

Clerget B., 2004. Le rôle du photopériodisme dans l'élaboration du rendement de trois variétés de sorgho cultivées en Afrique de l'Ouest in : Tournois, J., 1912. Influence de la lumière sur la floraison du houblon japonais et du chanvre déterminée par des semis hâtifs. *C.R. Hebd. Scéanc. Acad. Sci. Paris.* 155, 297-300. Vaksman, M., Chantereau, J., Bahmani,

I., Ag Hamada, M., Chartier, M., Bonhomme, R., 1997. Influence of night temperature on photoperiod response of a West African guinea sorghum landrace. In : Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre, CIRAD. Montpellier, France, pp. 23-28.

Clerget B., 2004. Le rôle du photopériodisme dans l'élaboration du rendement de trois variétés de sorgho cultivées en Afrique de l'Ouest in : Klebs, G., 1913. Über das Verhältnis der Aussenwelt zur Entwicklung der Pflanze. Sber. Akad. Wiss. Heidelberg. 5, 1-47.

Cirad-gret., 2002. Mémento de l'agronome. Ministre des affaires étrangères. Paris. France pp 811-817.

Denis, 1984. Manuel des principales cultures sahéliennes. Tome1 FAO, Vol 3 ill. not, N 173, 132P.

Dancette C., 1978. Besoins en eau et adaptation du mil à la saison des pluies au Sénégal, in : Proc. Agroclimatological Res. Needs of the semi-arid tropics. ICRISAT. 211-226.

Dancette C., 1983. Besoins en eau du mil au Sénégal. Adaptation en zone semi-aride tropicale. Agron. Trop., 38 (4) : 267-280.

Denis J., 1984. Manuel des Principales Cultures Sahélienne, Tome 1. Publications Agrhymet, 173, Niamey.

Diop M., Reyniers FN., Sarr B., 2005. Apport du photopériodisme à l'adaptation du mil à la sécheresse en milieu Soudano-sahélien. 16(1) : 35-40.

Do F., 1994. Réponses écophysiologicals de cultivars de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) à une sécheresse de fin de cycle en zone sahélienne : conséquences sur la stabilité du rendement (Thèse), Université Paris II, 267p.

FAO, 1996. Sommet Mondial de l'Alimentation : Déclaration de Rome sur la Sécurité Alimentaire Mondiale et Plan d'Actions du Sommet Mondial de l'Alimentation.

Ferraris R. 1973. Pearl Millet (*Pennisetum typhoides* H. and S.), Commonwealth Agricultural Bureau.

Folliard A, Traoré PCS, Vaksman M, Kouressy M. Modeling of sorghum response to photoperiod : a threshold-hyperbolic approach. *Field Crop Res* 2004 ; 89 : 59-70.

Hausmann et al., 2007. Mécanismes d'adaptation à la variabilité du climat dans les variétés locales de mil Afrique de l'Ouest-. *préalable Journal du SAT recherche agricole*, 3 (1). pp 1-3

Jansen D.M. & Gosseye P., 1986. Simulation of growth of millet (*Pennisetum americanum*) as influenced by water stress. CABO-TT: Wageningen,, 10, 108p.

Kouakou P., 2010. Proposition de model d'estimation de la densité de longueur racinaire chez le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) par des impacts racinaires sur le profil du sol. *Master agroforesterie*. 40p.

IRD, 2009. Le mil aliment du futur au Sahel. Actualité scientifique. Fiche N° 325. Institut de Recherche pour le Développement. Marseille, France, 2p.

Maiti R.K. and Bidinger FR., 1981. Growth and development of the pearl millet plant Research Bulletin No 6. Patancheru, A P., India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

Memento de l'agronome, 2002.

Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage (Direction de l'Agriculture) : La culture et la production du mil et du sorgho au Sénégal: Bilan-diagnostic et perspectives

Ministère de la Coopération et du Développement (1991). Mémento de l'agronome. Quatrième édition, 1635 pp., Collection « Techniques rurales en Afrique », République française, Ministère de la coopération et du développement.

Ndoye M., 1984. Etat de la contrainte phytosanitaire sur la culture du mil dans le sahel: Séminaire international. Projet CILSS de lutte intégrée, Niamey, Niger, 6-13 décembre 1984.

N'Doye et al., 2002. Recueil des méthodes d'analyse du mil, P5-ROCAFREMI. Première édition. Niamey : Réseau Ouest et Centre Africain de la Recherche sur le Mil (ROCAFREMI), 2002. 98pp.

Ouattara B., 2007. Etude du développement et du bilan radiatif de deux variétés du mil (*Pennisetum glaucum*(L.) R. Br) en relation avec la densité de semis. In : FAO 1997. Economie mondiale du sorgho et du mil : fait, tendances et perspectives. FAO, Rome, 68p.

Pradat A., 1962. Le problème *Quelea quelea* (mange-mils). *Agronomie Tropicale* 18(1): 137-142. Proceeding of the International Workshop on Pearl Millet, 7-11 April 1986, A.P., India.

Rachie K.O., et Majmudar Y.V., 1980. Pearl Millet. University Park, Pennsylvania, Etats-Unis: Pennsylvania State University Press.

Siband P., 1981. Croissance, nutrition production du Mil (*Pennisetum typhoides*, Hubb. et Stapf.). Thèse D.E., Univ. Montpellier, II vol, 302p.

Sivakumar MVK., 1988. Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern sahelian and Soudanian climatic zones of West Africa. *Agric For Meteorol* 1988; 42: 295-305.

Spencer D. and Sivakoumar M., 1987. Pearl Millet in African Agriculture. pp. 19-31 in Proc. Int. Pearl Millet Workshop, 7-11 Avr. 1986, ICRISAT Center, India, Patancheru.

Tékété ML., 2010. Caractérisation des cycles de différentes variétés de mil et de sorgho : variation du photopériodisme selon la latitude. Master agroforesterie, UCAD. 49p.

Tompa T., 1983. Etude du problème des chibras. a. Evaluation des pertes de rendements liées aux chibras. 2. Elaboration d'une méthodologie d'épuration des cultivars locaux. Mémoire de fin d'études. Institut polytechnique rural, Katibougou, Mali. 50 pp.

Traoré PCS, Kouressy M, Vaksmann M, et al. Climate prediction and agriculture : what is different about sudano-sahelian West Africa? In : Sivakumar MVK, Hansen J, eds. *Climate Prediction and Agriculture*. Berlin ; Heidelberg : Springer Verlag, 2007.

Traoré SB, Reyniers F-N, Vaksmann M, et al. Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sorghos du Mali. *Sécheresse* 2000 ; 11 : 227-37.

Vaksmann M., Traoré S. B., Kouressy M., Coulibaly H., Reyniers F.N., 1998. Etude du développement d'un sorgho photopériodique du Mali. In : Le futur des céréales photopériodiques pour une production durable en Afrique semi-aride. *CIRAD et Ce.S.I.A., Florence, Italia*, pp. 109-122.

Proceeding of the International Workshop on Pearl Millet, 7-11 April 1986, A.P., India.

Williams R.J., et Andrews D.J., 1983. Breeding for disease and pest resistance in pearl millet. *FAO Plant Production Bulletin* 31(4): 136-158.

Annexe 1: Evolution de la durée SFD en degré jour en fonction de la date de semis des variétés à Saint-Louis, Bambey et Kolda.

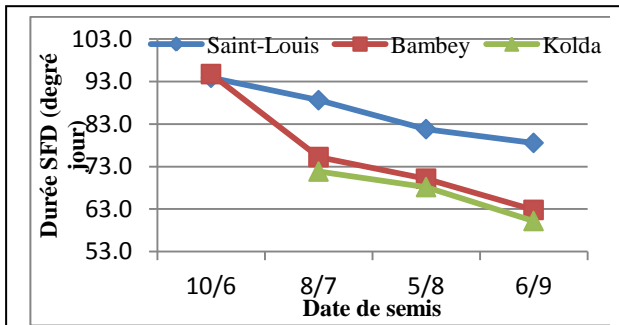


Figure 28: Evolution de la durée SFD de la V1 en fonction de la date de semis

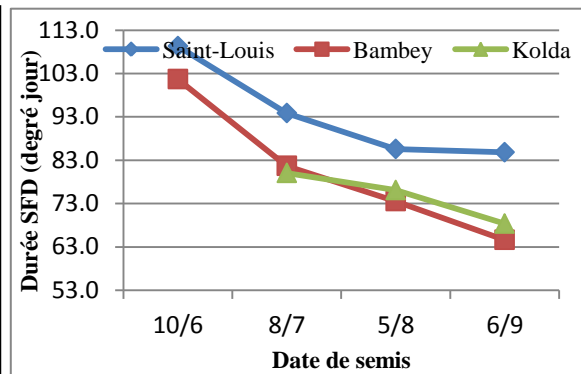


Figure 29: Evolution de la durée SFD de la V2 en fonction de la date de semis

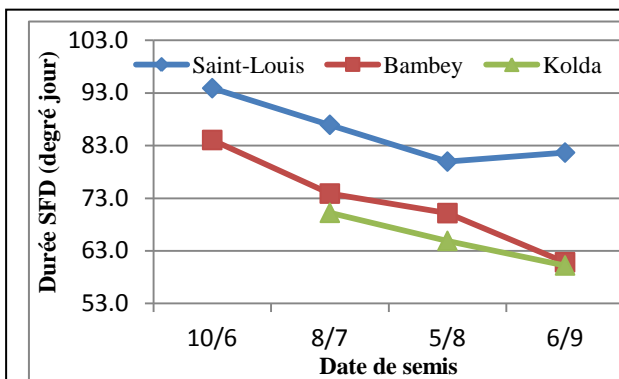


Figure 31: Evolution de la durée SFD de la V3 en fonction de la date de semis

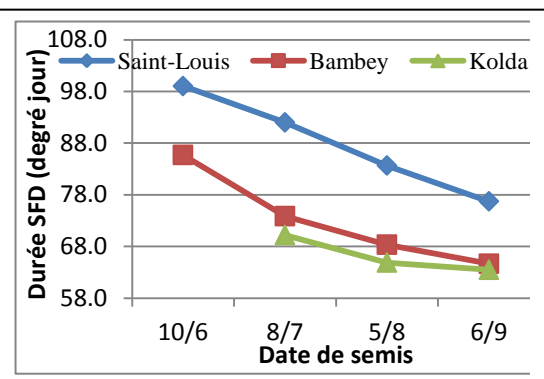


Figure 30: Evolution de la durée SFD de la V4 en fonction de la date de semis

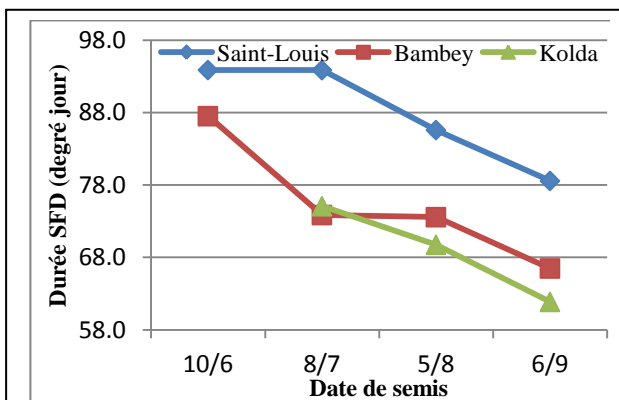


Figure 33: Evolution de la durée SFD de la V5 en fonction de la date de semis

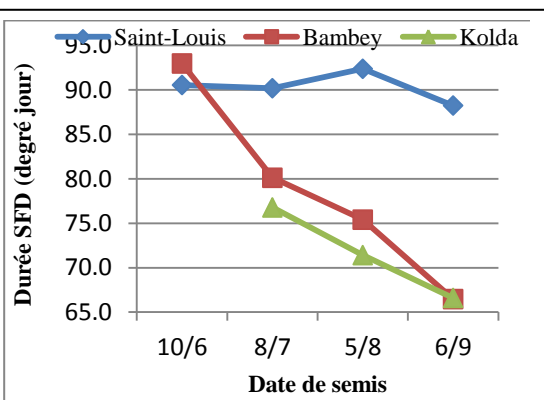


Figure 32: Evolution de la durée SFD de la V6 en fonction de la date de semis

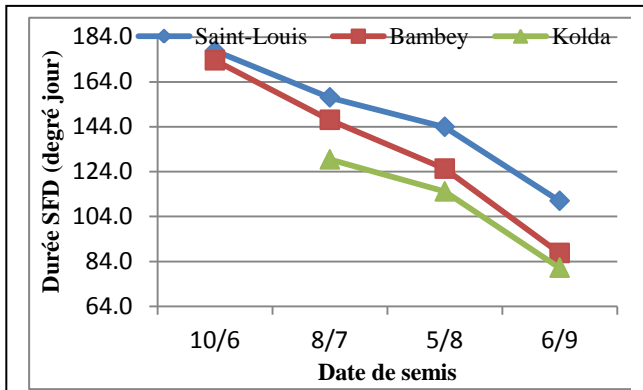


Figure 34: Evolution de la durée SFD de la V7 en fonction de la date de semis

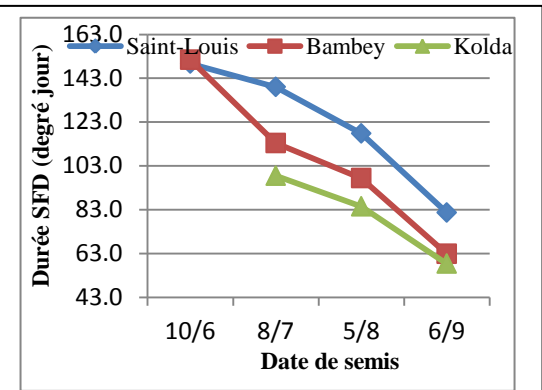


Figure 35: Evolution de la durée SFD de la V8 en fonction de date de semis

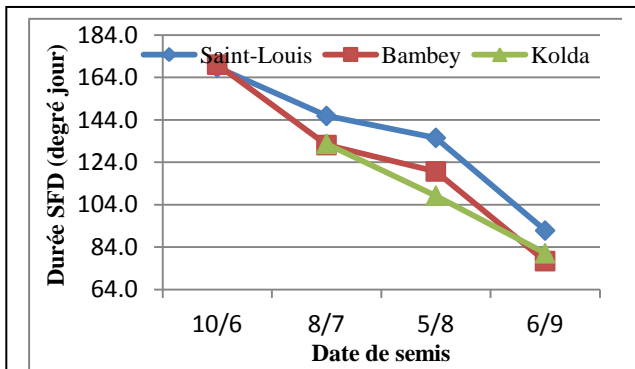


Figure 37: Evolution de la durée SFD de la V9 en fonction de la date de semis

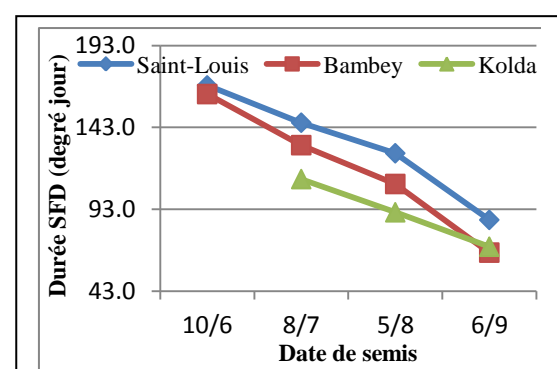


Figure 36: Evolution de la durée SFD de la V10 en fonction de la date de semis

Annexe 2: Evolution de la durée SFD en jour en fonction de la date de semis des variétés à Saint-Louis, Bambey et Kolda.

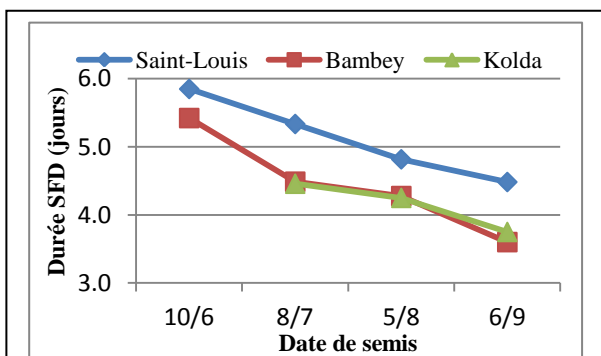


Figure 39: Evolution de la durée SFD de la V1 en fonction de la date de semis

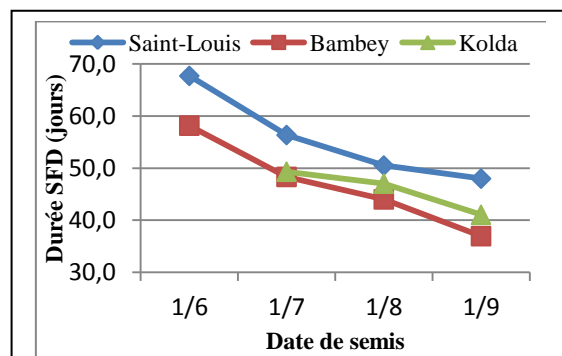


Figure 38: Evolution de la durée SFD de la V2 en fonction de la date de semis

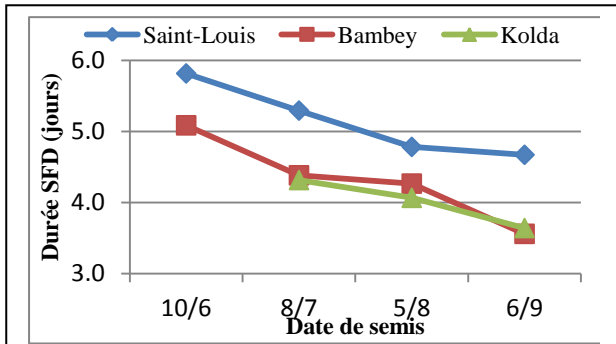


Figure 40: Evolution de la durée SFD de la V3 en fonction de la date de semis

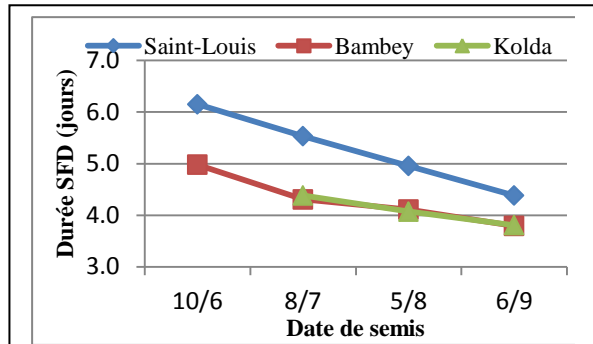


Figure 41: Evolution de la durée SFD de la V4 en fonction de la date de semis

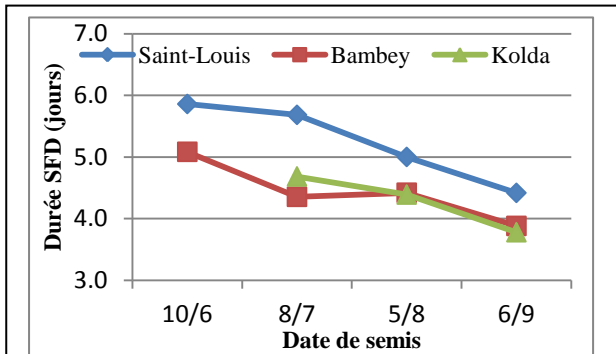


Figure 43: Evolution de la durée SFD de la V5 en fonction de la date de semis

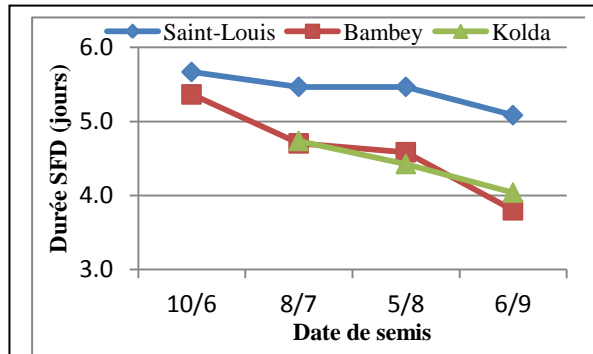


Figure 42: Evolution de la durée SFD de la V6 en fonction de la date de semis

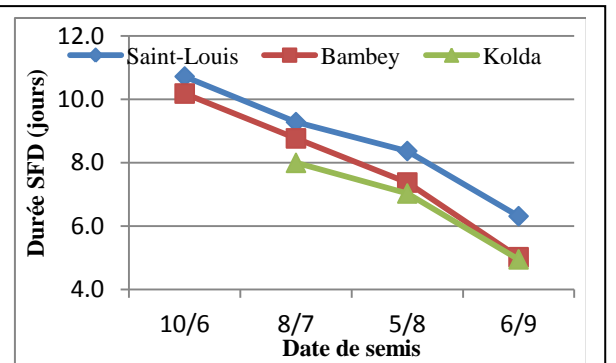


Figure 45: Evolution de la durée SFD de la V7 en fonction de la date de semis

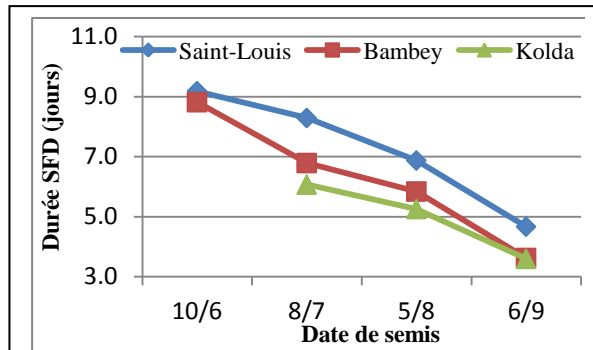


Figure 44: Evolution de la durée SFD de la V8 en fonction de la date de semis

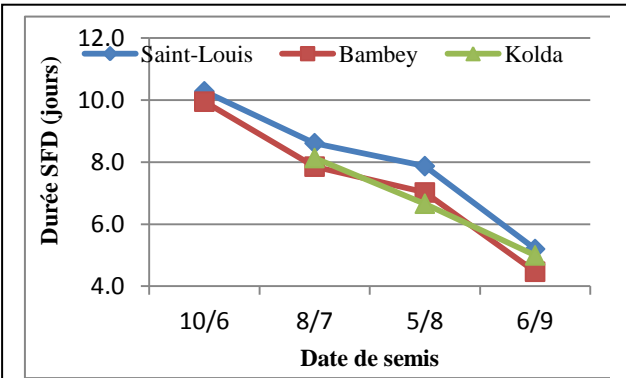


Figure 47: Evolution de la durée SFD de la V9 en fonction de la date de semis

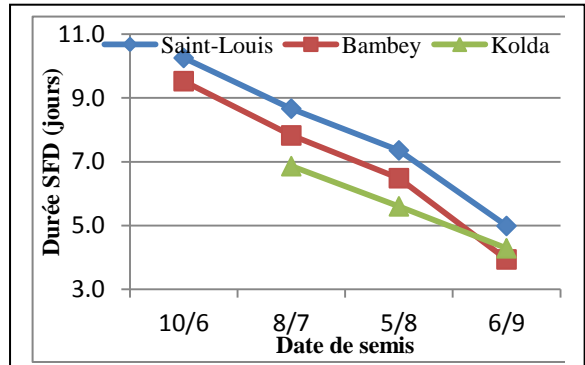


Figure 46: Evolution de la durée SFD de la V10 en fonction de la date de semis