

Ecophysiologie du sorgho

Rapport de campagne d'hivernage 2007

Projet de recherche ICRISAT/CIRAD

B. Clerget, M. Sidibe

Avec la collaboration de Samba Traoré, Abdoulaye Coulibaly, Abocar O. Traoré,
Lise Paresys, Luc Poudiougou et Issa Amadou



Table des matières

Introduction.....	3
Données climatiques pour les 3 stations	5
Effet de la date de semis sur le développement et la croissance d'un écotype et d'un hybride de sorgho	7
Résumé.....	7
Objectif de l'essai.....	7
Matériels et méthodes	7
Résultats et discussions.....	11
1. Le suivi de l'humidité du sol.....	11
2. Cycles et rendements	13
3. Evolution du tallage	13
4. Vitesses de développement	15
5. Dimensions de la panicule	17
Conclusion	17
Potentiel de production d'hybrides et de variétés de taille réduite. Effet de la densité et composantes du rendement.	19
Résumé.....	19
Objectif de l'essai.....	19
Matériel et méthodes	19
Résultats et discussions.....	23
1. La durée du cycle de développement	23
2. Rendements et composantes du rendement.....	27
3. Vitesses de développement et de croissance	31
Conclusion	31
Potentiel de rendement de CSM 63E.....	33
Résumé.....	33
Objectif de l'essai.....	33
Matériel et méthodes	33
Résultats et discussion	37
1. La durée du cycle de développement	37
2. Rendements et composantes du rendement.....	39
3. Vitesses de développement et de croissance	43
Conclusion	43
Caractérisation du développement et de la production d'une collection de sorghos.....	45
Résumé.....	45
Objectif de l'essai.....	45
Matériel et méthodes	45
1. Dispositif expérimental	45
2. Matériel végétal	47
3. Mesures et analyses.....	47
Résultats et discussions.....	51
1. Les durées des phases de développement	51
2. La variabilité des vitesses de développement et leur relation avec la durée du cycle	55
3. Nombre total de feuilles de la tige principale	57
4. Vitesse de montaison et relation avec la vitesse de développement.....	61
5. Rendements, composantes du rendement et corrélations.....	65
Conclusion	65

Ecophysiologie du sorgho Rapport de campagne d'hivernage 2007

B. Clerget, M. Sidibe

Bamako, Mali.

Introduction

Ce projet conjoint CIRAD et ICRISAT d'étude de l'écophysiologie du sorgho tropical a débuté en juin 2000. Il a pour objectifs **(1)** de quantifier et de modéliser les interactions du photopériodisme sur la croissance du sorgho en Afrique de l'Ouest en mettant particulièrement l'accent sur les sorghos locaux de race guinea, pour lesquels il n'a pas été publié de modèle opérationnel. **(2)** de proposer à l'aide de simulation un compromis architectural optimal pour une variété de sorgho améliorée et photosensible en fonction de la variabilité du climat par zone d'adaptation.

Ce projet s'inscrit dans une démarche large visant une meilleure utilisation de la biodiversité des sorghos locaux dans les processus régionaux d'intensification des cultures de céréale, en zones sahélo-soudaniennes et soudaniennes. Il intéresse plusieurs équipes de sélection et d'agronomie, à l'ICRISAT et au CIRAD, à l'IER (Mali), l'INERA (Burkina Faso), l'INRAN (Niger), l'IAR et le LCRI (Nigeria).

Cette huitième campagne d'essais pluviaux a été semée à partir du juin 2007. Elle a été conduite sur les stations ICRISAT de Samanko, IER de Cinzana et Sotuba et du Service Semencier National de Dalabani près de Bougouni. Elle s'est déroulée dans de bonnes conditions pluviométriques en dépit d'un début tardif de la saison, avec une répartition correcte des précipitations jusqu'à mi-octobre.

Préparée par B. Clerget, chercheur du CIRAD en charge de ce projet, elle a été très largement conduite et suivie par Mamourou Sidibé, technicien du programme, qui a aussi eu la charge de la saisie informatique de l'ensemble des données. Les essais de Cinzana ont été conduits en co-responsabilité avec Samba Traoré et son assistant Abdoulaye Coulibaly, ceux de Sotuba par Abocar O. Touré. Trois étudiants ont été accueillis et ont pris en charge les essais de la collection : Lise Paresys, INSA Toulouse, Luc Poudiougou et Issa Amadou, IPR de Katibougou.

Quatre essais ont été conduits, portant (1) sur le développement des panicules en fonction de la date de semis à Samanko, (2) le potentiel et la réponse à la densité des nouveaux hybrides et variétés de sorgho de race guinea de l'ICRISAT-Mali et de l'IER, à Samanko, Cinzana et Sotuba, (3) le potentiel de la variété précoce CSM 63E à Samanko et Cinzana et enfin (4) l'étude des vitesses de développement et du potentiel d'une collection de 36 variétés issues d'une collecte faite au Nigeria et d'un sous-échantillon d'une collection en cours de caractérisation génétique à Hohenheim, à Samanko, Cinzana et Bougouni.

En 2007, le projet a été financé par le CIRAD, l'ICRISAT, le FIDA (Projet PROMISO, TAG#817) et le BMZ/GTZ (Projet 'Enhancing access to genetic diversity through scaling up participatory plant breeding: Roles of different types of farmer and development organization in Mali).

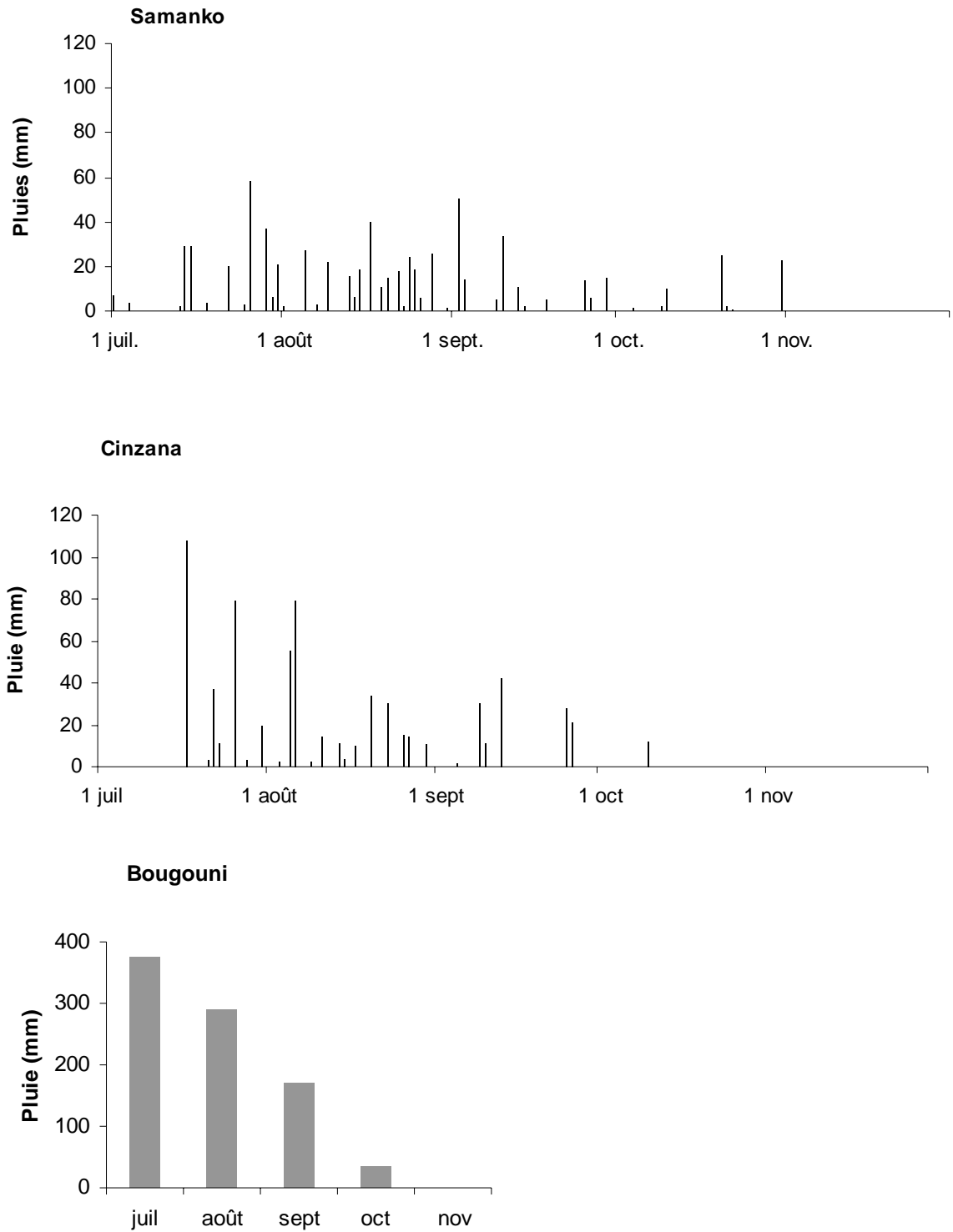


Fig. 1 : Pluviométrie quotidienne (Samanko et Cinzana) ou mensuelle (Bougouni) pendant la culture de la collection 2007.

Données climatiques pour les 3 stations

Après un début tardif de la saison dans tout le Mali, qui n'a permis de semer qu'après la mi-juillet, la saison a été favorable aux cultures sur les 3 stations. Les pluies quotidiennes sont données pour Samanko et Cinzana, mais seul le cumul mensuel reste disponible pour Bougouni (Fig. 1). En 2007, la pluviométrie a été plus élevée à Cinzana qu'à Samanko. Le mois de septembre a été normalement pluvieux sur les 3 stations.

Les températures quotidiennes moyennes $[(\text{Max}+\text{Min})/2]$ ont été voisines sur les 3 stations (Fig. 2A). Jusqu'au 10 Octobre la différence entre les températures moyennes sur les 3 stations n'a jamais dépassée 1,5 °C (Fig. 2B). Après le 10 Octobre, la moyenne des températures quotidiennes est restée plus élevée à Bougouni en raison des températures nocturnes plus élevées.

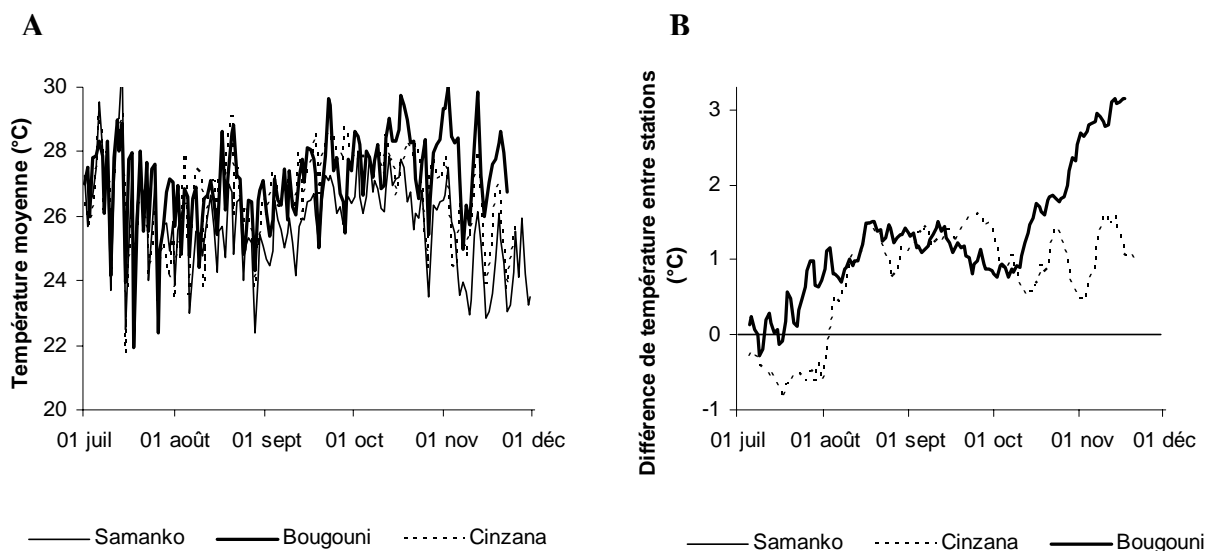


Fig. 2 : **A.** Températures quotidiennes moyennes sur chaque station pendant la saison de culture. **B.** Moyenne décadaire mobile de la différence de température moyenne entre Samanko et les 2 autres stations.

.

Tableau 1: Dates des principales opérations culturales

Semis	Levée	Démariage	Urée + DAP	Urée 2	Récolte
5 juin	9 juin	14 juin	10 juil.	26 juil.	31 oct.
3 juil.	7 juil.	18 juil.	2 août	20 août	31 oct.

Effet de la date de semis sur le développement et la croissance d'un écotype et d'un hybride de sorgho

Résumé

Un essai destiné à mesurer la mise en place du nombre de grains potentiel des panicules en fonction de la date de semis a été conduit sur une variété et un hybride à la station de Samanko. Malgré un excellent développement végétatif, les rendements en grain ont été très faibles, ne dépassant guère 1t/ha, en raison de la faible profondeur de sol arable de la parcelle utilisée. Les panicules des plantes semées en Juillet ont eu plus de ramifications que celles du semis de Juin, en relation avec leur développement plus rapide. Les nombres de grain de panicule n'ont pas pu être comparés en fonction de la date de semis mais l'expérience a montré, par comparaison avec la taille des panicules des mêmes variétés cultivées sur une meilleure parcelle, une réduction provoquée par la sécheresse post-florale d'au moins 40% de ce nombre de grain.

Objectif de l'essai

Plusieurs expériences précédentes tendent à montrer que les panicules des variétés photopériodiques ont plus de grains lorsque le semis est effectué en début juillet que lorsqu'il est effectué en début juin. Ce point nécessite d'être vérifié. Il pourrait résulter d'un rapport très particulier entre les vitesses d'initiation et d'apparition des feuilles pour le semis de juillet qui seront par conséquent mesurées précisément.

Matériels et méthodes

L'essai a été semé à la station de Samanko, Mali (12°32N, 8°04W). Le terrain a d'abord été labouré puis 100 kg de plâtre + 100 kg de DAP (18-46-0) + 100 kg/ha de KCl ont été successivement épandus au moment du semis. Des billons distants de 0.75 m ont été tracés. Les semis manuels ont été effectués les 5 Juin et 3 Juillet à la distance de 0.20 cm sur le rang et avec 10 grains/poquet. Le démariage à 1 plant/poquet a été effectué 2 semaines après la levée assurant une densité initiale de 67 000 pl/ha. Les dates des principales opérations culturales sont reportées dans le tableau 1. Les sarclages et les apports d'engrais étaient effectués simultanément. Un mois après la levée 100 kg de DAP + 100 kg urée ont été apportés puis 100 kg d'urée 3 semaines plus tard.

L'essai comportait d'une part la variété de sorgho de race guinea CSM 335, utilisée comme témoin dans les essais réalisés à Samanko et parfaitement adaptée à la zone. D'autre part, l'hybride Fambé x CSM 388 développé par le programme de sélection de l'ICRISAT et choisi pour son adaptation à la zone, avec une date de floraison proche de celles des sorghos locaux, et la disponibilité en semences. Le dispositif était un split-plot en blocs à 3 répétitions avec la date de semis en sous-blocs. Les parcelles élémentaires comportaient 8 lignes de 5 m de long.

Les dates des stades feuille-drapeau, floraison et maturité ont été enregistrées par parcelle comme la date à laquelle 50% des plantes d'une des lignes de la parcelle avaient atteint le stade concerné (feuille-drapeau déployée, floraison de la moitié de la panicule et point noir sur les grains de la base de la panicule qui sont les derniers à franchir ce stade).

La phénologie et la croissance végétative ont été mesurées chaque semaine de façon non-destructive sur une placette de 10 plantes dans chaque parcelle, repérées de 1 à 10 (Feuilles apparues, hauteur de plante, nombre de talles) et par dissection hebdomadaire de 1 plante par parcelle (feuilles initiées, date de l'initiation paniculaire et hauteur de la tige) jusqu'à la date de l'initiation paniculaire puis bi-hebdomadaire jusqu'à l'épiaison (nombre de nœuds et longueur de la panicule).

La récolte des placettes de 10 plantes a finalement été effectuée ainsi que celles des 2 lignes intérieures de chaque parcelle. Les organes ont été séparés puis mis à sécher afin de déterminer les masses sèches de tige de panicule et de grain pour la tige principale et pour les talles, ainsi que la longueur, le nombre de nœuds et de branches des panicules des tiges principales.

Les données météorologiques étaient enregistrées automatiquement (Centrale 21X, Campbell Scientific Ltd, Shepshed, Loughborough, UK) au pas de temps horaire dans le parc météo de la station de Samanko, à 500 m de la parcelle.

Une série de 8 capteurs d'humidité du sol (Watermark 200, Irrometer Co., Riverside CA, USA) a été mise en place chaque 25 cm dans un trou de 2 m de profondeur, foré dans une parcelle de l'hybride semée au mois de juillet. Une thermistance (107, Campbell Scientific) et 2 thermocouples cuivre/constantan ont été associés aux tensiomètres à 25, 50 et 200. Les potentiels hydriques étaient mesurés chaque 6 heures et enregistrées par une centrale d'acquisition (21X, Campbell Scientific). Afin de s'affranchir des variations rythmiques quotidiennes des mesures, probablement liées aux variations de température, seule la mesure de 6 heures du matin a été utilisée.

L'ensemble des données a été traité à l'aide du logiciel SAS¹. En particulier de nombreuses régressions non-linéaires de la croissance sur le temps thermique ont été effectuées, sur la base du modèle bilinéaire suivant :

$$A = \min(\text{Somme_T}, \text{seuil1})$$

$$B = \min(\text{seuil2} - \text{seuil1}, \max(0, \text{Somme_T} - \text{seuil1}))$$

$$\text{Observation} = b_0 + b_1 * A + b_2 * B$$

avec Somme_T : le temps thermique ; seuil1 et seuil2 : le temps thermique aux points d'inflexion du modèle ; b0, b1 et b2 les coefficients de la régression.

L'utilisation de la procédure NLMIXED, autorisée par le repérage de chacune des plantes, a permis de calculer les intervalles de tous les paramètres du modèle et par conséquent de les comparer ce qui n'était possible jusque-là que pour le premier coefficient de pente, b1.

¹ SAS. 2004. Version 9.1. Cary, NC (USA), SAS Institute Inc.

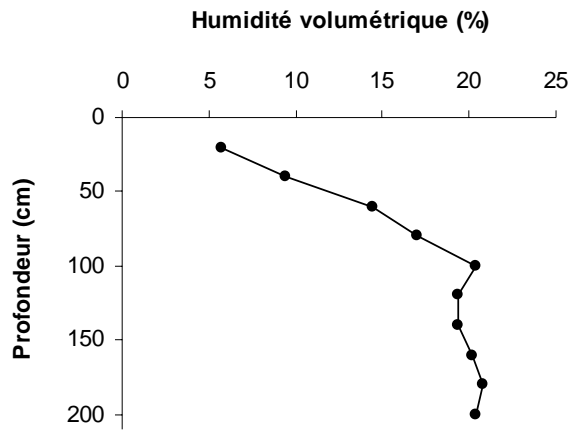


Figure 1 : Mesure d'humidité volumétrique du sol à l'installation des capteurs, le 15 juin 2008.

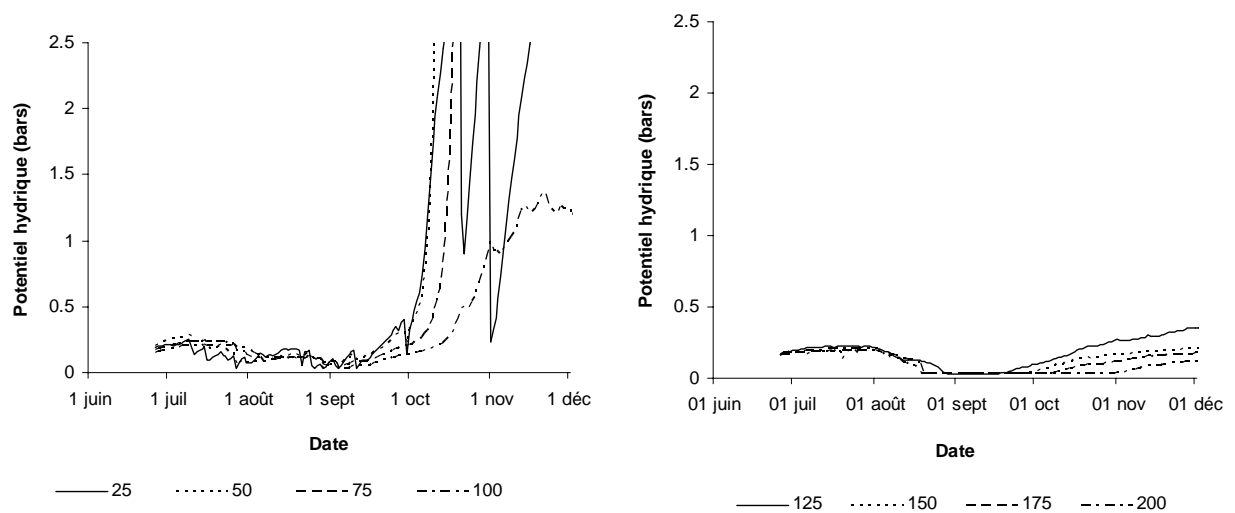


Figure 2 : Evolution quotidienne du potentiel hydrique du sol mesuré chaque 25 cm de 25 à 200 cm de profondeur

Résultats et discussions

1. Le suivi de l'humidité du sol

Le 15 Juin, lors du creusement du trou de descente des tensiomètres, l'humidité volumétrique du sol montrait un profil régulièrement croissant depuis l'horizon de surface, très sec, jusqu'à l'horizon à 1 m, voisin de la capacité au champ (Fig. 1). Les horizons entre 1 et 2m étaient tous à la capacité au champ. Le 26 juin, lorsque les mesures tensiométriques ont débuté, l'ensemble du profil 0-2m était uniformément humide, ce qui s'explique par la pluie de plus de 50 mm du 21 juin (Fig. 2 et Fig. 1 page 4). A la fin du mois d'août, les potentiels hydriques voisins de zéro indiquent que l'ensemble du profil 0-2m était saturé en eau. Les horizons 0 à 0.75m ont commencé à sécher pendant le mois de septembre en raison de la forte évaporation de la culture et de la moindre pluviométrie. Les horizons 0.25 et 0.50m ont franchi le potentiel de 1 bar le 8 octobre. Les pluies de 25 et 22 mm des 24 et 31 octobre ont provisoirement réhumecté l'horizon 0.25m. Les horizons 0.75 et 1.00m ont franchi le potentiel de 1 bar au 15 octobre et 9 novembre. Les horizons inférieurs à 1.00m ont séché très lentement et semblent ne pas avoir participé à l'alimentation hydrique de la culture. A l'inverse de la situation de 2006 où les horizons jusqu'à 1.50 avaient séché rapidement, les racines des plants de sorgho ont puisé lentement dans l'horizon 1.00 m et n'ont pas prélevé d'eau dans les horizons inférieurs. La fosse creusée lors du retrait des tensiomètres a montré une discontinuité du profil du sol à environ 1m. Au dessus de 1m le sol était rouge, aéré et largement colonisé par les racines du sorgho. En dessous de 1m, le sol était gris et très compact avec de concrétions ferriques de taille centimétrique et ne contenait que de rares racines verticales dépourvues de poil absorbant.

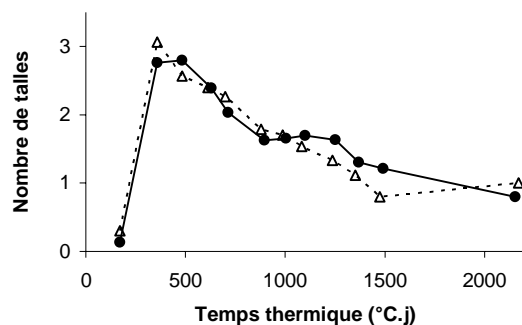
Ce suivi indique que le 8 octobre, 10 jours après la floraison intervenue le 27 septembre, les plantes ne trouvaient plus d'eau au dessus de l'horizon 0.50m et qu'après le 15 octobre, 17 jours après floraison, elles ne parvenaient plus qu'à puiser dans un horizon de 0.25m d'épaisseur entre 0.75 et 1.00m, jusqu'à la maturité du grain, le 31 octobre. La contrainte hydrique a donc été très importante pendant la moitié de la période de remplissage du grain, après le 15 octobre.

Tableau 2 : Dates et durées depuis le semis des principaux événements phénologiques

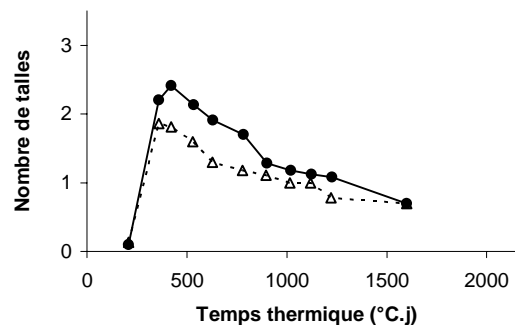
Date de semis	Variété	Dates			Durée			Kp
		Feuille-drapeau	Floraison	Maturité	Feuille-drapeau	Floraison	Maturité	
05 juin	CSM 335	07 sept	18 sept	31-oct	94	105	148	0.68
	Fambé x CSM 388	03 sept	14 sept	31-oct	90	101	148	0.64
03 juil	CSM 335	17 sept	27 sept	31-oct	76	86	120	
	Fambé x CSM 388	13 sept	24 sept	31-oct	72	83	120	

Tableau 3 : Rendements et composantes du rendement

Semis	Variété	Densité de tiges finale (tiges/ha)	Biomasse totale (t/ha)	Rendement en grain (t/ha)	Indice de récolte (%)	Tallage (talle/plante)	Poids de grain par tige (g)	Nombre de grains par panicule	Poids d'un grain (mg)
Juin	CSM 335	12.8	15.4	1.3	8.2	0.8	9.3	1167	18.1
	Fambé x CSM 388	13.2	14.9	0.7	4.5	1.0	4.9	706	17.8
Juillet	CSM 335	9.9	11.3	1.2	10.5	0.7	11.2	1128	18.4
	Fambé x CSM 388	10.2	13.3	1.3	10.0	0.7	12.1	1275	18.9
Moyenne		11.5	13.7	1.1	8.3	0.8	9.4	1069	18.3
Erreur standard		1.9	1.3	0.3	1.5	0.5	1.7	205	0.6
ppds		2.6	1.8	0.4	2.1	0.7	2.3	273	0.8
Facteurs de l'AOV									
Semis		*	**	ns	**	ns	***	*	*
Variété		ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
Variété x semis		ns	ns	*	ns	ns	*	*	ns

Semis de juin

—●— CSM 335 - - △ - - Fambe x CSM 388

Semis de juillet

—●— CSM 335 - - △ - - Fambe x CSM 388

Figure 3 : Evolution du nombre moyen de talles par plante en fonction de la variété et de la date de semis

2. Cycles et rendements

L'hybride Fambé x CSM 388 a été plus précoce que CSM 335 de 3 à 4 jours avec un coefficient photopériodique légèrement inférieur (Tableau 2)

Les rendements en biomasse, de l'ordre de 15 t/ha pour le semis de juin et 12 t/ha en juillet ont été significativement différents entre semis mais pas entre variétés. Ces rendements ont été faibles puisque 20 t/ha sont normalement attendues pour un semis de juin de CSM 335. Les rendements en grain, de 1,1 t/ha, ont été très faibles et non différents entre variétés et dates de semis. En conséquence, les indices de récolte ont aussi été très faibles mais avec des différences significatives entre variétés et semis. L'indice de récolte a été particulièrement faible pour l'hybride semé en juin.

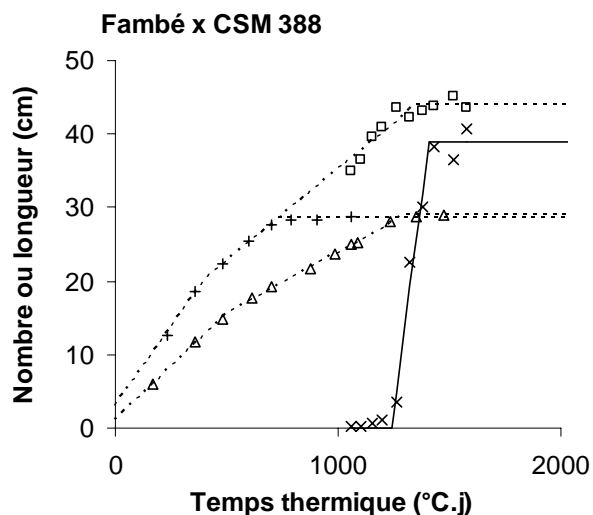
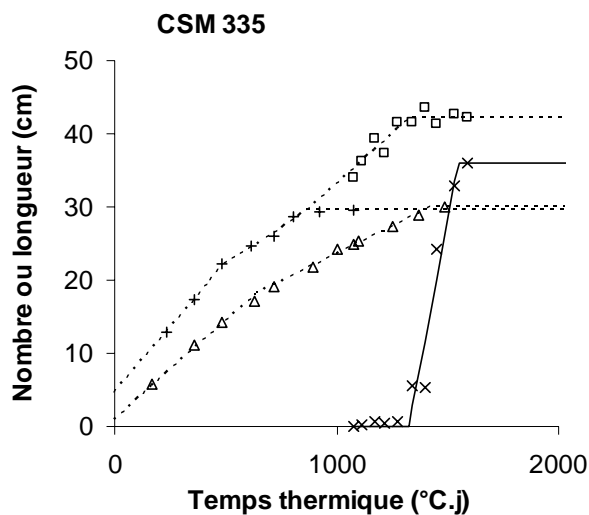
Le même type de résultats a été observé dans tout le champ, utilisé simultanément par le programme de sélection du sorgho. La croissance végétative a été très bonne mais les rendements en grain très faibles. Le suivi hydrique et l'observation du profil racinaire (paragraphe 1) ont montré que la faute en revient à la faible profondeur de sol utilisable par la culture de sorgho et par conséquent à la faible réserve hydrique utilisable pendant la période de remplissage du grain, après l'arrêt des pluies. Ce suivi hydrique a été réalisé dans la parcelle semée en juillet. Les sorghos semés en juin ont produit plutôt moins de grain que ceux de juillet, même si la différence n'a pas été significative. Pourtant la floraison est intervenue 10 jours plus tôt pour le semis de juin. Des enregistrements faits en 2001 et 2002 montraient que dans les parcelles semées en juin le front hydrique descendait plus lentement en raison de la plus grande consommation d'eau du couvert végétal pendant le mois de juillet. Dans le cas présent, le sol n'était profond que de 1m et devait par conséquent être aussi saturé en eau à la fin du mois d'août pour le semis de juin. Par contre la production de biomasse des tiges a été beaucoup plus importante pour le semis de juin et la montaison s'est poursuivie jusqu'à la mi-septembre ce qui aura donc entraîné une plus grande consommation en eau. De sorte qu'au moment des floraisons, le bilan hydrique devait être plus favorable dans la parcelle semée en Juillet.

Le tallage final a été un peu plus faible pour les 2 variétés pour le semis de juillet, aboutissant à une différence significative de la densité finale. Le poids de grain moyen par tige (9,4 g) a été très faible puisqu'il est de 30 à 40 g chez CSM 335 en bonnes conditions. Le poids de grain significativement inférieur pour le semis de juin a cependant été proche de la valeur de 19-20 mg attendu pour CSM 335. En revanche les nombres de grains par panicule, 1069 en moyenne, ont été très réduits. Pour CSM 335, 2500 grains par panicule sont attendus en bonnes conditions. Le stress hydrique subi pendant la période de remplissage des grains a donc provoqué une forte diminution du nombre des grains. Les plantes n'ont pas subi de stress hydrique pendant le développement de la panicule entre l'initiation paniculaire et l'apparition de la feuille-drapeau, le 15 puis le 25 septembre pour les semis de juin et juillet, respectivement. Le nombre de grains potentiels de la panicule ne devait donc pas être affecté et il faut donc supposer qu'un avortement des grains est intervenu pendant la période de remplissage des grains.

3. Evolution du tallage

Les 2 variétés ont produit le même nombre de talles, 3 en juin et 2 en juillet, qui sont en partie morts pendant la montaison pour atteindre un nombre moyen de 1 et de 0.7 au moment de la maturité des grains (Fig. 3).

Semis en juin



Semis en juillet

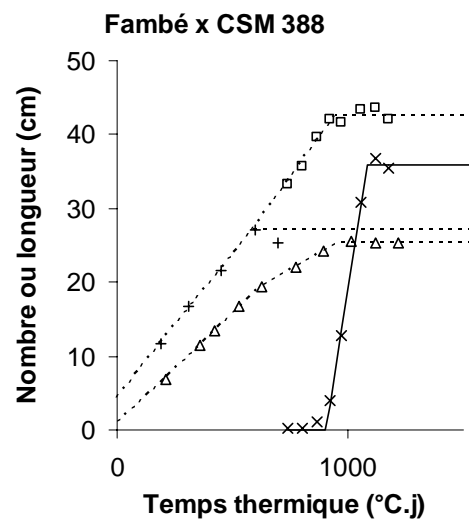
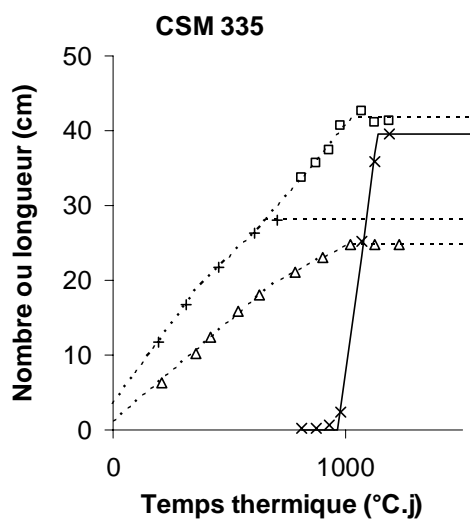


Figure 4 : Cinétique du développement des feuilles et de la panicule en fonction de la variété et de la date de semis. Sont représentés en fonction du temps thermique, les nombres de feuilles déjà initiés (+), ou déjà apparues (Δ), le nombre de nœuds paniculaires déjà initiés (\square) et la longueur de la panicule (\times).

4. Vitesses de développement

Le suivi des vitesses d'initiation des primordia foliaires puis des nœuds paniculaires a confirmé les résultats des années précédentes, identiques pour les 2 variétés (Fig. 4 et tableau 4) :

- la cinétique d'initiation a été bilinéaire pour les semis de juin, linéaire pour ceux de juillet. Par conséquent le développement de la panicule a été plus lent en juin qu'en juillet.
- l'élongation de la panicule a débuté au moment de l'apparition de la feuille-drapeau et mis fin au développement de la panicule.
- La cinétique d'apparition des feuilles a été bilinéaire pour les 2 variétés aux 2 dates de semis.

Tableau 4 : Plastochrones et phyllochrones en fonction de la variété et de la date de semis.

Variété	Semis	Plastochrone initial °Cj.feuille ⁻¹	Plastochrone secondaire °Cj.feuille ⁻¹
CSM 335	juin	26.4 ± 1.1	52.8 ± 8.3
CSM 335	juillet	25.3 ± 1.0	
Fambe x CSM 388	juin	25.0 ± 1.0	40.4 ± 8.5
Fambe x CSM 388	juillet	25.1 ± 1.0	

Variété	Semis	Phyllochrone initial °Cj.feuille ⁻¹	Phyllochrone secondaire °Cj.feuille ⁻¹
CSM 335	juin	37.2 ± 0.9	66.7 ± 5.3
CSM 335	juillet	37.3 ± 0.6	62.2 ± 12.5
Fambe x CSM 388	juin	34.3 ± 0.6	60.7 ± 2.5
Fambe x CSM 388	juillet	33.1 ± 0.9	55.7 ± 13.0

Tableau 5 : Dimensions de la panicule en fonction de la variété et de la date de semis.

Variété	Semis	Longueur panicule (cm)	Nombre		
			Nœuds paniculaires	Ramifications paniculaires	Ramifications par nœud
CSM 335	juin	34	13.0	60.8	4.7
CSM 335	juillet	34	14.0	71.1	5.0
Fambé x CSM 388	juin	36	15.3	80.7	5.3
Fambé x CSM 388	juillet	35	15.1	82.2	5.5
Moyenne		35	14	74	5
Erreur standard		3	1.4	11.1	0.6
Facteurs de l'AOV					
Semis		ns	ns	**	*
Variété		*	***	***	***
Variété x semis		ns	*	*	ns

5. Dimensions de la panicule

Les dimensions des panicules de l'hybride Fambé x CSM 388 ont été supérieures à celles de l'écotype CSM 335 pour la longueur, le nombre de nœuds, le nombre de ramifications et le nombre de ramifications par nœud (Tableau 5). Cela a confirmé les résultats de 2006 qui montraient que les hybrides avaient des dimensions potentielles de la panicule supérieures à celles des variétés témoins.

Conformément à l'hypothèse testée, les dimensions des panicules produites par les plantes semées en juillet ont été supérieures à celles produites par les plantes semées en juin : 0,2 à 1 nœud de plus (non significatif), 10 à 11 ramifications de plus (significatif), donc 0,2 à 0,3 ramifications de plus à chaque nœud (significatif).

Les nombres de grain par panicule observés dans cet essai (semé le 3 juillet) ont été faibles, 1128 pour CSM 335 et 1275 pour Fambé x CSM 388, avec des poids de grain de 18,4 et 18,9 mg, respectivement. Dans l'essai de potentiel des hybrides et variétés (cf. infra, semis du 16 juillet), les nombres de grain par panicule à la même densité ont été de 1800 pour CSM 335 et de 2300 pour Fambé x CSM 388 avec des poids de grain de 20,1 et 20,3 mg. La sécheresse terminale a donc provoqué une réduction au moins égale à 37 et 45 % du nombre de grains par panicule et de 8 et 7 % du poids des grains. Il existe donc un mécanisme fort de régulation du nombre de grain par panicule chez le sorgho, probablement par avortement, en réponse à une sécheresse post-florale.

Conclusion

Les rendements en grain n'ont pas dépassé 1.3 t/ha dans cet essai en raison de la faible profondeur du sol arable dans la parcelle utilisée et par conséquent de la trop faible réserve hydrique utilisable pendant le remplissage des grains.

La vitesse plus rapide de production de la panicule chez les plantes semées en juillet a entraîné une augmentation significative du nombre de ramifications des panicules par rapport au semis de juin. Par contre, il n'a pas été possible de répondre à la question initiale sur le nombre de grains potentiel des panicules en fonction de la date de semis en raison de la sécheresse terminale. En revanche par comparaison avec un deuxième essai il est clairement apparu que la sécheresse post-florale avait provoqué une forte réduction du nombre de grains par panicule, très probablement par avortement.

Tableau 1 : Dates des principales opérations culturales

Semis	Levée	Démariage	Urée + DAP	Urée 2	Récolte
16 juil.	19 juil.	30 juil.	9 août	4 sept.	1-10 nov
18 juil.		2 août	13 août	15 sept.	5 nov.
2 juil.					

Potentiel de production d'hybrides et de variétés de taille réduite. Effet de la densité et composantes du rendement.

Résumé

Un essai variété x densité a été conduit sur 3 stations au Mali, Samanko, Cinzana et Sotuba, avec une fertilisation élevée afin de déterminer le potentiel de production en grain de 3 hybrides et 2 variétés de sorgho. La production de biomasse de l'hybride FambéA x CSM 388 a été supérieure à celle des autres variétés à Samanko et Cinzana. Les rendements moyens en grain ont été de 3,3 t/ha à Samanko, 3,8 t/ha à Cinzana et 1,1 t/ha à Sotuba, sans effet de la densité sur les 3 stations et sans effet de la variété hormis à Samanko. Dans cette station, le rendement en grain a été fortement corrélé avec la date de floraison. Les hybrides et les variétés de taille réduite n'ont donc pas montré de supériorité sur l'écotype local pour le rendement en grain dans ces 3 essais. Le phyllochrone initial de deux des hybrides a été plus court que celui des autres variétés à Samanko. Les dates de floraison ont été plus tardives à Cinzana qu'à Samanko à dates de semis identiques, avec un écart plus important chez les variétés plus précoces.

Objectif de l'essai

Le programme régional de création d'hybrides de sorgho guinea poursuit la mise au point d'hybrides adaptés à la demande paysanne et des variétés de taille réduite arrivent aussi au stade de la diffusion. Il a été montré depuis 2002 que les sorghos guinea supportent très bien les fortes densités et ont un meilleur potentiel dans ces conditions. Le programme d'agronomie-écophysiole apporte un soutien à la mise au point de l'itinéraire technique adapté aux nouvelles variétés et aux hybrides en testant leur potentiel de production en fonction de la densité de semis. En 2007, cet essai a été réalisé sur 3 stations de recherche du Mali : Samanko, Cinzana et Sotuba.

Matériel et méthodes

Les essais ont été semés sur les stations de Samanko (12°32N, 8°04W), Cinzana (13°15N, 5°57W) et Sotuba (12°39N, 7°56W), sur des terrains préalablement labourés puis billonnés à 0,75 m de distance. Les semis ont été manuels, réalisés avec 5 grains/poquet avec une distance de 0,20 m entre poquets. Le démariage a été effectué 2 semaines après la levée à 1, 2 ou 3 plants/poquet suivant les parcelles afin d'assurer des densités de 67, 133 ou 200 000 plants/ha. Les dates des principales opérations culturales sont reportées au tableau 1.

Les sarclages et les apports d'engrais étaient effectués simultanément. 100 kg/ha de DAP + 100 kg/ha de KCl + 100 kg/ha de plâtre ont été apportés au semis, puis 100 kg/ha de DAP + 100 kg/ha d'urée un mois après la levée et enfin 100 kg/ha d'urée 4 semaines plus tard.

Les trois essais comportaient 5 variétés communes, issues des programmes de l'ICRISAT et de l'IER : 2 hybrides guinea (Fambe x CSM 388 et GP271-20A x IS 6731, ICRISAT), 1

variété naine inter-raciale (Kalaban 00-SB-F5DT-19, IER), 1 variété naine guinea (Nafalen-6, ICRISAT) et 1 témoin local (CSM 335, écotype local)

Un hybride inter-racial (02-SB-F5DT-19A x 00-SB-F5DT-18, IER) n'a pu être testé qu'à Samanko, par manque de semence.

Chaque variété était testée à trois densités de culture, 67, 133 et 200 000 pl/ha, dans un dispositif split-plot en blocs à 3 répétitions avec la densité en sous-blocs. Les parcelles élémentaires comportaient 4 lignes de 5 m de long.

Les dates des stades feuille-drapeau, floraison et maturité ont été enregistrées par parcelle comme la date à laquelle 50% des plantes d'une des lignes de la parcelle avaient atteint le stade concerné (feuille-drapeau déployée, floraison de la moitié de la panicule et point noir sur les grains de la base de la panicule qui sont les derniers à franchir ce stade).

A maturité, les 2 lignes intérieures de chaque parcelle ont été récoltées en isolant une placette de 10 plantes pour peser ultérieurement le grain sec. Les poids de tige et de panicule ont été enregistrés.

A Samanko, la phénologie et la croissance végétative ont été mesurées chaque semaine de façon non-destructive sur une placette de 10 plantes dans chaque parcelle, repérées de 1 à 10 (feuilles apparues, hauteur de plante, nombre de talles). La récolte des placettes de 10 plantes a finalement été effectuée ainsi que celles des 2 lignes intérieures de chaque parcelle. Les organes ont été séparés puis mis à sécher afin de déterminer les masses sèches de tige, feuille, axes de la panicule et grain pour la tige principale et pour les talles.

Les données météorologiques étaient enregistrées automatiquement (Centrale Campbell 21X) au pas de temps horaire dans le parc météo de la station de Samanko, à 500 m de la parcelle.

A Cinzana, la pluviométrie est enregistrée manuellement tandis que des données de température au pas de temps de 5 mn ont été fournies par le programme AMMA.

L'ensemble des données a été traité à l'aide du logiciel SAS¹. En particulier de nombreuses régressions non-linéaires de la croissance sur le temps thermique ont été effectuées, sur la base du modèle bilinéaire suivant :

$$A = \min(\text{Somme_T}, \text{seuil1})$$

$$B = \min(\text{seuil2} - \text{seuil1}, \max(0, \text{Somme_T} - \text{seuil1}))$$

$$\text{Observation} = b_0 + b_1 * A + b_2 * B$$

avec Somme_T : le temps thermique ; seuil1 et seuil2 : le temps thermique aux points d'inflexion du modèle ; b0, b1 et b2 les coefficients de la régression.

L'utilisation de la procédure NLMIXED, autorisée par le repérage de chacune des plantes, a permis de calculer les intervalles de tous les paramètres du modèle et par conséquent de les comparer ce qui n'était possible jusque-là que pour le premier coefficient de pente, b1.

¹ SAS. 2004. Version 9.1. Cary, NC (USA), SAS Institute Inc.

Tableau 2 : Dates et durées depuis le semis des principaux événements phénologiques à Samanko

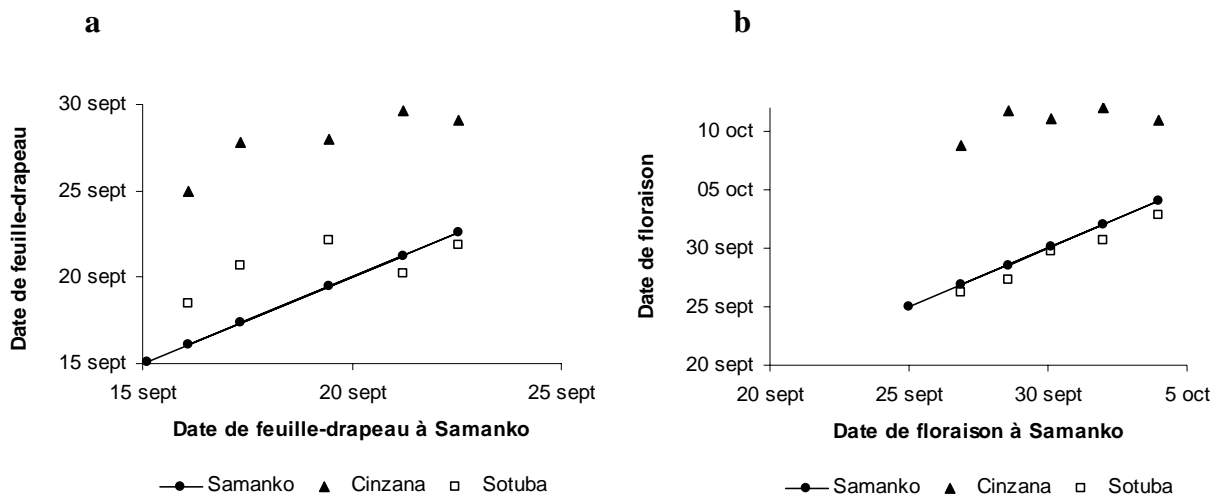
Variété	Densité	Date			Durée		
		Feuille- drapeau	Floraison	Maturité	Feuille- drapeau	Floraison	Maturité
CSM 335	67000	20 sept	02 oct	05 nov	67	78	112
	133000	20 sept	01 oct	03 nov	67	77	111
	200000	22 sept	02 oct	03 nov	68	78	111
FambeA x CSM388	67000	16 sept	27 sept	30 oct	63	74	107
	133000	16 sept	27 sept	29 oct	62	73	105
	200000	15 sept	25 sept	29 oct	61	72	105
GP271-20A x IS6731	67000	23 sept	04 oct	06 nov	69	81	114
	133000	22 sept	03 oct	04 nov	69	80	111
	200000	22 sept	03 oct	05 nov	68	80	113
02-SB-F5DT-12A x 00-SB-F5DT-18	67000	17 sept	27 sept	28 oct	63	73	104
	133000	14 sept	24 sept	25 oct	60	70	102
	200000	14 sept	23 sept	25 oct	60	70	101
Kalaban 00-SB-F5DT-19	67000	20 sept	01 oct	30 oct	66	77	107
	133000	19 sept	29 sept	31 oct	65	75	107
	200000	19 sept	30 sept	31 oct	65	76	107
Nafalen-6	67000	18 sept	29 sept	03 nov	64	75	110
	133000	17 sept	28 sept	31 oct	63	74	107
	200000	17 sept	28 sept	31 oct	63	74	108

Tableau 3 : Dates et durées depuis le semis des principaux événements phénologiques à Cinzana

Variété	Densité	Date			Durée		
		Feuille- drapeau	Floraison	Maturite	Feuille- drapeau	Floraison	Maturité
CSM 335	67000	30 sept	14 oct	04 nov	75	89	111
	133000	29 sept	10 oct	05 nov	74	85	111
	200000	30 sept	11 oct	06 nov	75	87	113
FambeA x CSM388	67000	25 sept	09 oct	04 nov	70	84	110
	133000	24 sept	08 oct	27 oct	69	83	103
	200000	25 sept	09 oct	02 nov	71	84	108
GP271-20A x IS6731	67000	28 sept	11 oct	06 nov	73	87	113
	133000	29 sept	10 oct	03 nov	74	85	109
	200000	30 sept	11 oct	02 nov	75	86	108
Kalaban 00-SB-F5DT-19	67000	28 sept	12 oct	02 nov	73	87	109
	133000	28 sept	11 oct	03 nov	73	86	110
	200000	28 sept	10 oct	03 nov	73	85	110
Nafalen-6	67000	30 sept	12 oct	04 nov	75	87	110
	133000	27 sept	11 oct	01 nov	73	86	107
	200000	25 sept	11 oct	06 nov	71	86	112

Tableau 4 : Dates et durées depuis le semis des principaux événements phénologiques à Sotuba

Variété	Densité	Date		Durée	
		Feuille-drapeau	Floraison	Feuille-drapeau	Floraison
CSM 335	67000	18 sept	01 oct	78	92
	133000	20 sept	01 oct	80	91
	200000	22 sept	29 sept	82	89
FambeA x CSM388	67000	18 sept	26 sept	79	87
	133000	18 sept	27 sept	79	87
	200000	18 sept	25 sept	78	85
GP271-20A x IS6731	67000	21 sept	01 oct	81	92
	133000	25 sept	03 oct	85	93
	200000	19 sept	03 oct	80	93
Kalaban 00-SB-F5DT-19	67000	24 sept	03 oct	84	93
	133000	20 sept	28 sept	80	88
	200000	22 sept	28 sept	82	88
Nafalen-6	67000	22 sept	28 sept	82	88
	133000	20 sept	27 sept	80	88
	200000	20 sept	26 sept	80	86

**Fig. 1 :** Comparaison des dates de a) déploiement des feuilles-drapeau et de b) floraison sur chaque station pour les 5 variétés communes aux trois essais.

Résultats et discussions

1. La durée du cycle de développement

Les semis ont été effectués le 2 juillet à Sotuba et simultanément à Samanko et Cinzana, les 16 et 18 juillet. A Samanko et Sotuba, les dates de floraison de chaque variété ont été quasi-identiques, ce qui est anormal puisque cela suppose que les cycles végétatifs ont été plus longs de 2 semaines à Sotuba, station très proche de Samanko. Ce comportement n'est pas attendu pour le niveau de photopériodisme des variétés testées. Sur ces 2 stations, quatre des 5 variétés testées ont fleuri un peu plus tôt que le témoin CSM 335 (de 2 à 7 jours) tandis que l'hybride GP 271-20A x IS 6731 a fleuri 3 jours plus tard (Tableaux 2 et 3 et Fig. 1). A Cinzana en revanche, les cinq variétés ont déployé leur feuille-drapeau et fleuri 1 à 2 semaines plus tard qu'à Samanko, avec un retard plus grand pour les variétés plus précoces. Cet effet de la latitude est attendu pour les variétés photopériodiques puisque les jours sont un peu plus longs à Cinzana, situées à une latitude 43' plus au nord que Samanko. La variabilité de l'effet est cependant surprenante puisque toutes les variétés testées ont un niveau de photopériodisme assez proche à l'intérieur de la très large gamme existante.

Tableau 5 : Rendements et composantes du rendement à Samanko

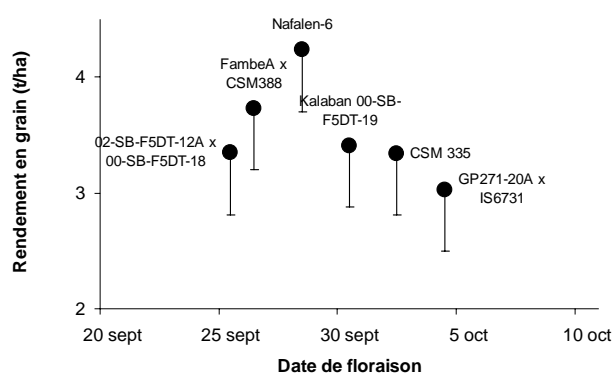
Variété	Densité de		Tallage (talles/pl)	Biomasse totale (t/ha)	Rendement		Nombre de	
	Densité (plante/m ²)	tiges finale (tiges/m ²)			en grain (t/ha)	Indice de récolte (%)	grains par panicule	Poids d'un grain (mg)
CSM 335	67000	9.4	0.5	15.2	3.3	24.6	1796	20.1
	133000	13.7		14.1	3.0	22.4	1398	19.6
	200000	17.4		13.8	2.2	22.8	1079	17.8
FambeA x CSM388	67000	8.7	0.3	21.0	3.6	19.3	2305	20.3
	133000	11.9		17.1	3.7	24.9	1534	21.5
	200000	17.1		15.7	3.6	23.3	1250	19.5
GP271-20A x IS6731	67000	7.6	0.0	16.7	2.9	21.1	2414	19.7
	133000	12.6		15.5	2.8	20.2	1401	19.3
	200000	17.1		13.0	2.2	18.8	1222	18.4
02-SB-F5DT-12A x 00-SB-F5DT-18	67000	6.9	0.0	10.8	3.5	30.6	3409	17.0
	133000	12.2		12.5	3.5	29.2	1908	16.6
	200000	13.4		10.0	2.9	30.1	1581	16.8
Kalaban 00-SB-F5DT-19	67000	6.8	0.0	11.4	3.4	31.2	3944	14.3
	133000	11.5		11.9	3.5	30.8	2232	15.2
	200000	15.0		10.5	3.1	28.6	1865	14.2
Nafalen-6	67000	10.5	0.6	14.8	3.0	23.8	1524	19.0
	133000	13.7		16.4	3.8	25.5	1729	19.3
	200000	18.7		18.9	4.0	26.4	1654	19.6
Moyenne		12.5		14.4	3.5	25.0	1903	18.2
Erreur standard		1.3		3.9	0.8	2.5	442	1.3
ppds		1.7		5.3	1.0	3.4	602	1.8
Facteurs de l'AOV								
Densité		***		*	ns	*	***	ns
Variété		***		**	*	***	***	***
Densité x Variété		*		ns	ns	ns	**	ns

Tableau 6 : Rendements et composantes du rendement à Cinzana

Variété	Densité (plantes/ha)	Densité de tiges finale (tiges/m ²)	Hauteur finale (cm)	Biomasse totale (t/ha)	Rendement en grain (t/ha)	Indice de récolte (%)	Nombre de grains par panicule	Poids d'un grain (mg)
CSM 335	67000	11.5	330	13.6	3.8	28.0	1782	18.0
	133000	14.0	293	15.3	4.3	27.9	1503	18.7
	200000	19.3	299	13.3	3.5	26.4	1054	17.7
FambeA x CSM388	67000	10.7	382	15.4	3.6	23.8	1826	17.3
	133000	12.9	352	17.1	3.7	21.8	1410	19.7
	200000	15.3	362	17.9	4.2	23.5	1395	18.3
GP271-20A x IS6731	67000	8.5	307	12.5	3.7	29.7	2389	17.3
	133000	12.4	297	14.1	4.2	30.6	1761	17.3
	200000	19.4	328	16.2	4.5	27.8	1285	17.7
Kalaban 00-SB-F5DT-19	67000	12.7	238	11.4	4.3	37.9	2146	16.0
	133000	11.2	263	10.1	3.7	36.7	2085	15.7
	200000	10.3	196	8.3	3.1	37.9	1993	14.3
Nafalen-6	67000	11.8	247	12.1	3.4	28.1	1389	19.3
	133000	13.6	257	11.8	3.5	29.6	1324	18.0
	200000	17.2	238	12.7	4.0	31.9	1096	19.0
Moyenne		13.4	293	13.5	3.8	29.4	1629	17.6
Erreur standard		2.0	65	1.9	0.6	2.7	308	2.3
ppds		2.8	91	2.6	0.9	3.8	434	3.2
Facteurs de l'AOV								
Densité		***	ns	ns	ns	ns	*	ns
Variété		**	***	***	ns	***	***	*
Densité x Variété		***	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Tableau 7 : Rendements et composantes du rendement à Sotuba

Variété	Densité (plante/m ²)	Densité de		Rendement		Indice de récolte (%)
		poquets finale (poquets/m ²)	tiges finale (tiges/m ²)	en biomasse (t/ha)	en grain (t/ha)	
CSM 335	67000	3.9	4.3	7.6	1.1	14.9
	133000	4.2	7.4	11.3	1.2	10.7
	200000	4.8	7.1	12.0	1.1	13.3
FambeA x CSM388	67000	3.8	3.8	6.6	0.8	12.7
	133000	4.3	5.4	6.3	0.9	14.7
	200000	3.9	6.5	9.7	0.9	10.2
GP271-20A x IS6731	67000	4.4	5.0	11.0	1.4	12.6
	133000	4.5	6.3	9.4	1.0	11.0
	200000	4.3	7.2	12.3	1.3	10.2
Kalaban 00-SB-F5DT-19	67000	4.2	4.2	8.5	1.2	14.5
	133000	3.1	3.6	7.0	1.3	19.3
	200000	4.5	6.6	6.4	0.9	14.1
Nafalen-6	67000	3.9	4.1	8.4	1.3	15.8
	133000	4.0	6.2	8.7	1.1	11.9
	200000	4.3	7.8	13.3	1.3	9.5
Moyenne			5.7	9.2	1.1	13
Erreur standard			1.4	3.1	0.3	4
ppds			2.0	4.3	0.4	5
Facteurs de l'AOV						
Densité			***	ns	ns	ns
Variété			ns	*	ns	ns
Densité x Variété			ns	ns	ns	ns

**Fig. 2** : Relation entre la date de floraison et le rendement moyen en grain des 6 variétés à Samanko

2. Rendements et composantes du rendement

Les rendements moyens en biomasse ont été élevés à Samanko (14,4 t/ha) et Cinzana (13,5 t/ha), plus faibles à Sotuba (9,2 t/ha), avec un effet significatif des variétés sur les 3 stations et un effet de la densité seulement à Samanko (Tableaux 5,6 et 7). Sur les 3 stations, la production de biomasse de Nafalen 6 a augmenté avec la densité. A Samanko et à Cinzana, l'hybride FambéA x CSM 388 a produit plus de biomasse que les autres variétés.

Les rendements moyens en grain sec ont été élevés à Samanko (3,3 t/ha) et Cinzana (3,8 t/ha) mais faibles à Sotuba (1,1 t/ha). A Samanko, le facteur variété a eu un effet significatif sur le rendement en grain mais pas la densité. A Cinzana et à Sotuba ni la variété, ni la densité n'ont eu d'effet sur les rendements en grain.

A Samanko, la variation des rendements moyens en grain a été fortement liée avec les dates de floraison des variétés, pourtant toutes incluses dans un intervalle de 9 jours du 25 Septembre au 4 Octobre : les variétés qui ont fleuri le plus tard ont produit moins de grain, très probablement parce que les réserves hydriques du sol ont été épuisées plus tôt au cours de leur phase de remplissage du grain (Fig. 2). A Cinzana, la saison des pluies a été particulièrement favorable et l'essai était implanté dans un sol lourd et profond offrant une grande réserve hydrique qui a probablement permis à toutes les variétés d'achever la phase de remplissage des grains sans contrainte majeure. Dans ces conditions les 6 variétés auraient donc atteint le même niveau de rendement en grain de 3,8 t/ha pour toutes les six, soit parce qu'il s'agit de leur potentiel de rendement, soit parce qu'elles ont été également limitées par la réserve hydrique disponible dans le sol pour assurer le remplissage des grains. A l'inverse les faibles rendements en grain à Sotuba indiquent très probablement que le sol sur lequel était implanté l'essai était peu profond donc la réserve hydrique était faible et n'a pas permis de remplir qu'un petit nombre de grains.

Les moyennes des poids de grain ont été très proches à Samanko et Cinzana, égales à 18,2 et 18,0 mg, respectivement, sans effet de la densité de culture mais significativement variables avec la variété. Les moyennes des nombres de grain par panicule ont été de 1903 à Samanko et 1629 à Cinzana, avec un effet significatif de la variété et de la densité sur les 2 stations et une interaction significative variété x densité sur cette composante du rendement à Samanko. Le niveau de rendement en grain à Cinzana est donc expliqué par la plus grande densité finale de tiges donc de panicules, qui a été significativement dépendante de la variété sur les 2 stations.

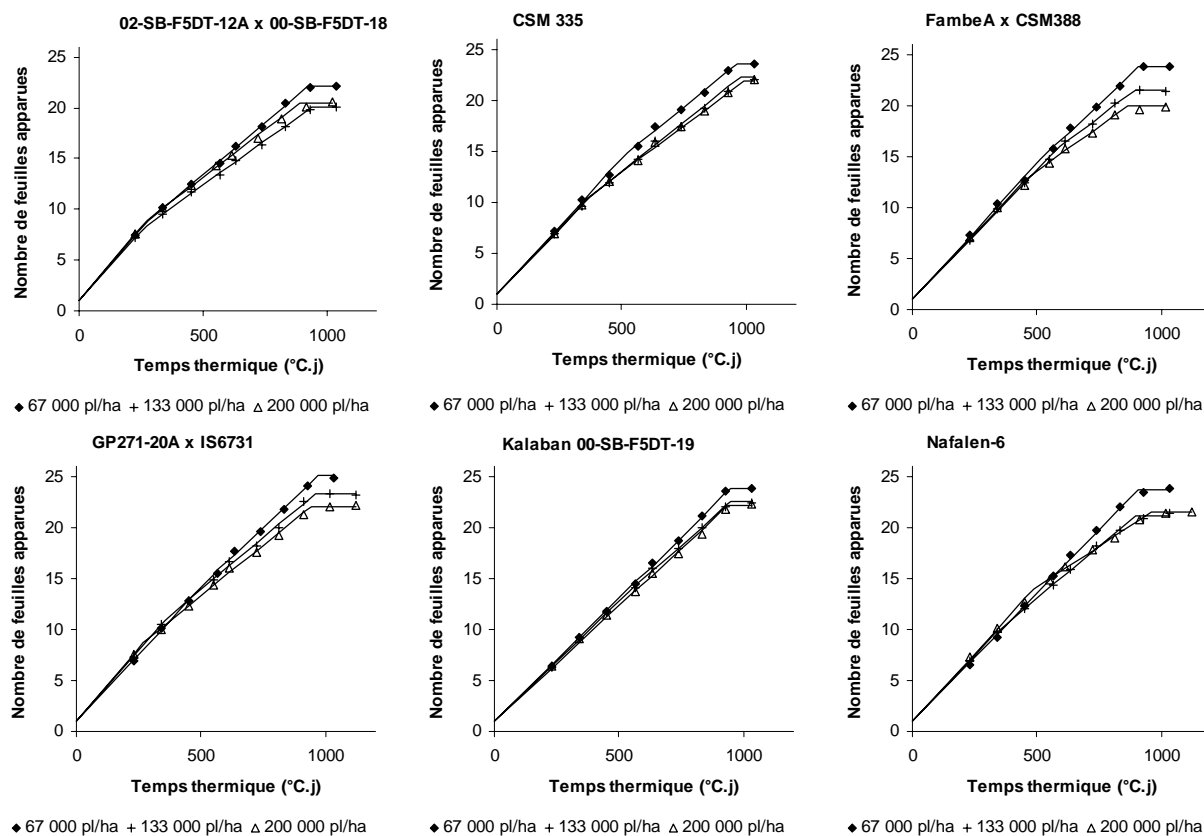


Fig. 3 : Cinétique d'apparition des feuilles en fonction de la densité de semis. Les régressions ont été calculées à l'aide d'une procédure d'optimisation.

Tableau 8 : Valeurs des phyllochrones et des seuils aux points d'inflexion estimées par régression.

Variété	Densité (pl/ha)	Phyllochrone 1 ($^{\circ}\text{C.j.feuille}^{-1}$)	Point d'inflexion ($^{\circ}\text{C.j.}$)	Phyllochrone 2 ($^{\circ}\text{C.j.feuille}^{-1}$)	Feuille-drapeau ($^{\circ}\text{C.j.}$)
02-SB-F5DT-12A x 00-SB-F5DT-18	67000	35.6 ± 1.0	279 ± 45	48.3 ± 2.3	919 ± 27
02-SB-F5DT-12A x 00-SB-F5DT-18	133000	36.9 ± 1.2	271 ± 37	56.7 ± 2.8	935 ± 33
02-SB-F5DT-12A x 00-SB-F5DT-18	200000	34.6 ± 1.5	275 ± 48	53.3 ± 3.8	889 ± 35
CSM 335	67000	37.6 ± 0.8	523 ± 63	50.8 ± 4.1	964 ± 27
CSM 335	133000	39.0 ± 1.1	373 ± 85	51.4 ± 4.5	978 ± 43
CSM 335	200000	38.7 ± 1.1	364 ± 61	54.4 ± 3.9	991 ± 35
FambeA x CSM388	67000	37.4 ± 0.8	514 ± 135	43.4 ± 4.3	907 ± 24
FambeA x CSM388	133000	39.4 ± 0.7	590 ± 76	55.2 ± 13.4	898 ± 46
FambeA x CSM388	200000	38.9 ± 0.8	464 ± 75	57.1 ± 9.9	866 ± 40
GP271-20A x IS6731	67000	38.1 ± 0.6	548 ± 109	43.8 ± 3.1	971 ± 26
GP271-20A x IS6731	133000	35.9 ± 0.9	355 ± 59	48.8 ± 3.0	960 ± 27
GP271-20A x IS6731	200000	34.8 ± 1.2	267 ± 41	50.5 ± 2.2	942 ± 25
Kalaban 00-SB-F5DT-19	67000	41.6 ± 0.4			946 ± 18
Kalaban 00-SB-F5DT-19	133000	42.4 ± 0.8	540 ± 178	46.4 ± 3.1	949 ± 22
Kalaban 00-SB-F5DT-19	200000	44.3 ± 0.5			939 ± 21
Nafalen-6	67000	39.8 ± 0.4			906 ± 15
Nafalen-6	133000	38.6 ± 1.9	331 ± 93	48.7 ± 3.1	894 ± 31
Nafalen-6	200000	37.5 ± 0.8	485 ± 55	62.7 ± 9.8	959 ± 50

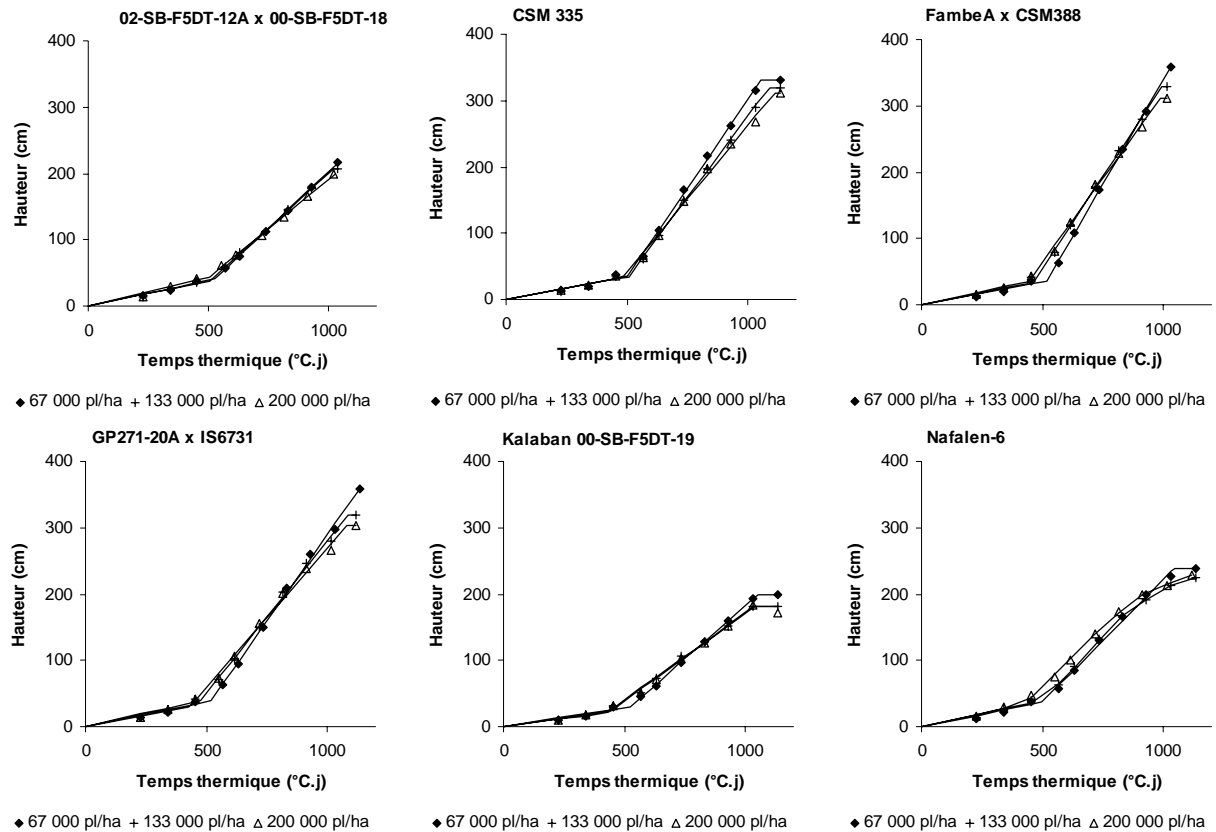


Fig. 4 : Cinétique de la croissance en hauteur des tiges principales en fonction de la densité de semis. Les régressions ont été calculées à l'aide d'une procédure d'optimisation.

Tableau 9 : Valeurs des pentes et seuils aux points d'inflexion de la cinétique de croissance en hauteur estimées par régression.

Variété	Densité	b1	Début montaison	b2	Inflexion	b3	Fin Montaison
	(pl/ha)	(cm.°C ⁻¹ .j ⁻¹)	(°C.j)	(cm.°C ⁻¹ .j ⁻¹)			
02-SB-F5DT-12A x 00-SB-F5DT-18	67000	0.078 ± 0.003	527 ± 9	0.344 ± 0.005			1039 ± 5
02-SB-F5DT-12A x 00-SB-F5DT-18	133000	0.074 ± 0.003	503 ± 8	0.326 ± 0.005			1023 ± 5
02-SB-F5DT-12A x 00-SB-F5DT-18	200000	0.087 ± 0.005	503 ± 16	0.298 ± 0.007			1026 ± 8
CSM 335	67000	0.071 ± 0.007	505 ± 11	0.536 ± 0.011			1057 ± 7
CSM 335	133000	0.068 ± 0.006	506 ± 9	0.489 ± 0.008			1090 ± 6
CSM 335	200000	0.071 ± 0.011	489 ± 22	0.445 ± 0.017			1112 ± 15
FambeA x CSM388	67000	0.068 ± 0.005	520 ± 7	0.631 ± 0.011			1031 ± 6
FambeA x CSM388	133000	0.079 ± 0.006	470 ± 10	0.557 ± 0.013			995 ± 7
FambeA x CSM388	200000	0.073 ± 0.013	436 ± 17	0.505 ± 0.014			988 ± 10
GP271-20A x IS6731	67000	0.074 ± 0.011	519 ± 17	0.521 ± 0.017			1135 ± 13
GP271-20A x IS6731	133000	0.083 ± 0.009	476 ± 17	0.458 ± 0.014			1087 ± 11
GP271-20A x IS6731	200000	0.071 ± 0.017	429 ± 25	0.417 ± 0.014			1083 ± 14
Kalaban 00-SB-F5DT-19	67000	0.057 ± 0.004	526 ± 11	0.320 ± 0.006			1057 ± 7
Kalaban 00-SB-F5DT-19	133000	0.052 ± 0.008	433 ± 21	0.262 ± 0.007			1040 ± 10
Kalaban 00-SB-F5DT-19	200000	0.049 ± 0.013	435 ± 31	0.265 ± 0.010			1041 ± 15
Nafalen-6	67000	0.073 ± 0.009	499 ± 22	0.368 ± 0.014			1048 ± 12
Nafalen-6	133000	0.078 ± 0.004	504 ± 11	0.389 ± 0.012	860 ± 26	0.193 ± 0.033	1104 ± 23
Nafalen-6	200000	0.079 ± 0.007	422 ± 14	0.353 ± 0.010	872 ± 20	0.147 ± 0.019	1125 ± 19

3. Vitesses de développement et de croissance

A Samanko, les cinétiques d'apparition des feuilles ont été bilinéaires pour 4 des variétés et linéaires ou bilinéaires en fonction de la densité de semis pour les 2 autres variétés (Fig. 3 et tableau 8).

Dans cette expérience, les phyllochrones initiaux des variétés ont été significativement différents entre eux : plus courts chez les hybrides 02-SB-F5DT-12Ax00-SB-F5DT-18 et GP271-20AxIS6731, plus longs chez Kalaban 00-SB-F5DT-19. C'est la première fois qu'une telle relation est mise en évidence, en raison à la fois des trois répétitions par variété et de la nouvelle méthode de calcul du phyllochrone utilisée. Elle tend à lier la vigueur observée chez les hybrides à un raccourcissement du phyllochrone et par conséquent du plastochrone, puisqu'il a été montré précédemment que les deux sont étroitement liés.

Comme attendu, l'augmentation de la densité de semis a provoqué chez toutes les variétés un ralentissement de la vitesse d'apparition des feuilles et par conséquent de leur vitesse d'initiation par l'apex, sans modification significative de la date d'apparition de la feuille-drapeau et une réduction du nombre total de feuilles émises. Cette réduction du nombre de feuilles apparaît comme la conséquence de la réduction de la vitesse de développement et de la durée stable de la phase végétative.

En raison de la réduction du nombre de phytomères, la hauteur des plantes a été moindre à haute densité à Samanko (Fig. 4) comme à Cinzana (Tableau 6). Mais le déclenchement de la montaison a été plus précoce à haute densité chez 4 variétés (Tableau 9), ce qui se traduit par une hauteur supérieure des parcelles les plus denses au début de la montaison. Les vitesses de croissance en hauteur sont restées généralement stables pendant toute la durée de la montaison, sauf chez Nafalen 6 à haute densité.

Conclusion

Les rendements en grain ont été faibles à Sotuba, élevés à Samanko et Cinzana. Il n'a pas été mesuré d'avantage significatif pour le rendement en grain des hybrides ou des variétés de taille réduite sur l'écotype CSM 335 dans ces trois essais. A Samanko, le seul essai où le rendement a varié significativement avec la variété, c'est la date de floraison qui a joué le rôle principal sur les rendements en grain. Il est probable que ce soit la réserve hydrique du sol qui ait limité les rendements à Sotuba et à Samanko, tandis qu'à Cinzana, la question est ouverte : est-ce que toutes les variétés ont totalement exprimé un égal potentiel de rendement ou est-ce qu'elles ont toutes subies une égale limitation du rendement par la même réserve hydrique à dates de floraison très proches ?

Tableau 1 : Dates des principales opérations culturales

Semis	Levée	Démariage	Urée + DAP	Urée 2	Récolte
Samanko					
16 juil.	19 juil.	30 juil.	9 août	5 sept.	16 oct.
1 août	5 août	18 août	31 août		29 oct.
Cinzana					
18 juil.		2 août	13 août	15 sept.	18 oct.
4 août		19 août	4 sept.	22 sept.	3 nov.

Potentiel de rendement de CSM 63E

Résumé

Un essai date de semis x densité a été conduit sur 2 stations du Mali, Samanko et Cinzana, avec une fertilisation élevée afin de déterminer le potentiel de production en grain de la variété précoce CSM 63E. Les rendements en grain sec ont atteint 4,5 t/ha à Cinzana contre 2,5 t/ha à Samanko et ont été significativement influencés par la date de semis mais pas par la densité. Cette différence de potentiel s'explique par une réaction photopériodique de CSM 63E à la latitude, qui a provoqué une différence de la durée de la phase végétative entre les 2 stations et par voie de conséquence une modification du nombre de feuilles émises induisant chez cette variété précoce une grande différence des capacités de synthèse de biomasse.

Objectif de l'essai

La variété CSM 63E a un comportement de variété non-photopériodique pour les semis entre Juin et Août. Par conséquent elle est très précoce et devrait en principe n'être adaptée que dans les régions sahéliennes. Pourtant elle connaît depuis plusieurs années un développement important dans la région de Ségou, en zone sahélo-soudanienne, à la suite d'opérations semencières conduites par les associations paysannes. Ce succès non attendu suppose d'une part que la variété résiste correctement à toutes les attaques et maladies prédites pour une telle variété trop précoce en regard des critères définis pour la zone et d'autre part qu'elle a un potentiel de rendement satisfaisant pour les paysans. C'est ce dernier point qu'il s'agissait de mesurer.

Matériel et méthodes

Les essais ont été semés sur les stations de Samanko (12°32N, 8°04W) et de Cinzana (13°15N, 5°57W), sur des terrains préalablement labourés puis billonnés à 0,75 m de distance. Les semis ont été manuels, réalisés avec 5 grains/poquet avec une distance de 0,20 m entre poquets. Le démariage a été effectué 2 semaines après la levée à 1, 2,3 ou 4 plants/poquet suivant les parcelles afin d'assurer des densités de 67, 133, 200 ou 267 000 plants/ha. Les dates des principales opérations culturales sont reportées au tableau 1.

Les sarclages et les apports d'engrais étaient effectués simultanément. 100 kg/ha de DAP + 100 kg/ha de KCl + 100 kg/ha de plâtre ont été apportés au semis, puis 100 kg/ha de DAP + 100 kg/ha d'urée un mois après la levée et enfin 100 kg/ha d'urée 4 semaines plus tard.

La variété CSM 63E a été fournie par le programme de sélection ICRISAT de Samanko. Elle a été testée à deux dates de semis distantes de 2 semaines et 4 densités de culture, 67, 133, 200 et 267 000 pl/ha, dans un dispositif split-plot en blocs à 3 répétitions avec la date de semis en sous-blocs. Les parcelles élémentaires comportaient 4 lignes de 5 m de long.

Les dates des stades feuille-drapeau, floraison et maturité ont été enregistrées par parcelle comme la date à laquelle 50% des plantes d'une des lignes de la parcelle avaient atteint le stade concerné (feuille-drapeau déployée, floraison de la moitié de la panicule et point noir sur les grains de la base de la panicule qui sont les derniers à atteindre ce stade).

A maturité, les 2 lignes intérieures de chaque parcelle ont été récoltées en isolant une placette de 10 plantes pour peser ultérieurement le grain sec. Les poids de tige et de panicule ont été enregistrés.

A Samanko, la phénologie et la croissance végétative ont été mesurées chaque semaine de façon non-destructive sur une placette de 10 plantes dans chaque parcelle, repérées de 1 à 10 (feuilles apparues, hauteur de plante, nombre de talles). La récolte des placettes de 10 plantes a finalement été effectuée ainsi que celles des 2 lignes intérieures de chaque parcelle. Les organes ont été séparés puis mis à sécher afin de déterminer les masses sèches de tige, feuille, axes de la panicule et grain pour la tige principale et pour les talles.

Les données météorologiques étaient enregistrées automatiquement (Centrale Campbell 21X) au pas de temps horaire dans le parc météo de la station de Samanko, à 500 m de la parcelle.

A Cinzana, la pluviométrie est enregistrée manuellement tandis que des données de température au pas de temps de 5 mn ont été fournies par le programme AMMA.

L'ensemble des données a été traité à l'aide du logiciel SAS¹. En particulier les régressions non-linéaires de la croissance sur le temps thermique ont été effectuées sur la base du modèle bilinéaire suivant :

$$A = \min(\text{Somme_T}, \text{seuil1})$$

$$B = \min(\text{seuil2} - \text{seuil1}, \max(0, \text{Somme_T} - \text{seuil1}))$$

$$\text{Observation} = b_0 + b_1 * A + b_2 * B$$

avec Somme_T : le temps thermique ; seuil1 et seuil2 : le temps thermique aux points d'inflexion du modèle ; b0, b1 et b2 les coefficients de la régression.

L'utilisation de la procédure NLMIXED, autorisée par le repérage de chacune des plantes, a permis de calculer les intervalles de tous les paramètres du modèle et par conséquent de les comparer ce qui n'était possible jusque-là que pour le premier coefficient de pente, b1.

¹ SAS. 2004. Version 9.1. Cary, NC (USA), SAS Institute Inc.

Tableau 2 : Dates des principaux événements phénologiques et durées des phases depuis le semis pour l'essai de Samanko

Semis	Densité	Date			Durée			
		Levée	Feuille- drapeau	Floraison	Maturité	Feuille- drapeau	Floraison	Maturité
16 juil	67000	19 juil	03 sept	14 sept	16 oct	46	57	89
	133000	19 juil	05 sept	16 sept	16 oct	48	59	89
	200000	19 juil	04 sept	14 sept	16 oct	47	58	89
	267000	19 juil	04 sept	14 sept	16 oct	47	58	89
01 août	67000	05 août	17 sept	28 sept	29 oct	43	54	85
	133000	05 août	17 sept	27 sept	29 oct	43	54	85
	200000	05 août	17 sept	28 sept	29 oct	43	54	85
	267000	05 août	19 sept	29 sept	29 oct	45	55	85

Tableau 3 : Dates des principaux événements phénologiques et durées des phases depuis le semis pour l'essai de Cinzana

Date de semis	Densité	Date		Durée	
		Floraison	Maturité	Floraison	Maturité
18 juil	67000	20 sept	10 oct	64	84
	133000	20 sept	10 oct	64	84
	200000	20 sept	10 oct	64	84
	267000	20 sept	10 oct	64	84
04 août	67000	30 sept	26 oct	57	83
	133000	30 sept	26 oct	57	83
	200000	30 sept	26 oct	57	83
	267000	29 sept	26 oct	56	83

Résultats et discussion

1. La durée du cycle de développement

Les semis ont été effectués simultanément à Samanko et Cinzana, ce qui autorisera une comparaison des durées de cycle entre les stations. A Samanko, les durées de ce cycle pour la feuille-drapeau, la floraison et la maturité ont été diminuées de 3 à 4 jours entre les deux dates de semis (Tableaux 2 et 3). A Cinzana une diminution de 7 jours de la durée de cycle a été observée pour la floraison mais pas pour la maturité. Aux deux dates de semis, les durées de cycle jusqu'à la floraison ont été plus longues à Cinzana qu'à Samanko : + 6 jours pour le semis de juillet, + 3 jours pour celui d'août. En revanche la densité n'a pas eu d'effet sur les durées de cycle.

La différence de durée de cycle entre les 2 stations est accompagnée d'une différence importante du nombre total de feuilles produites pour le semis de juillet à la densité de 67 000 pl/ha : $16,4 \pm 0,6$ feuilles, dans l'essai de Samanko et $19,2 \pm 0,4$ feuilles dans la collection variétale à Cinzana (Tableau 5 page 56). Par contre les phyllochrones mesurés dans les mêmes parcelles ont été identiques : $45,1 \pm 0,9$ à Samanko et $45,9 \pm 0,7$ à Cinzana.

Par conséquent, la date d'initiation paniculaire a été plus tardive à Cinzana qu'à Samanko pour le semis de juillet et vraisemblablement aussi pour le semis d'août. Cette différence n'est pas due à une différence de température entre les stations, puisque les moyennes quotidiennes ont été égales à un degré près. Ce résultat est inattendu chez cette variété qui a été montrée non-photopériodique pour les semis réalisés de Juin à Octobre : il plaide en faveur d'une action de la latitude sur la date d'initiation paniculaire de CSM 63E. Le 15 août, au moment de l'initiation paniculaire environ 30 jours après la levée, la durée du jour civil était de 13h18mn33s à Cinzana contre 13h16mn52s à Samanko, donc plus long de 1mn41s à Cinzana. Cependant la durée du jour civil à Cinzana n'était plus que de 13h16mn25s le 18 août, 4 jours plus tard. Par conséquent un effet strict de la durée du jour aurait pu entraîner une différence de 4 jours entre les dates d'initiation sur les deux stations, conduisant à une différence d'environ deux feuilles produites au total. L'action d'un seuil photopériodique strict, non attendue chez cette variété 'non-photopériodique', pourrait donc expliquer la différence de 2,8 feuilles au total entre les 2 stations.

L'effet de la latitude sur la réaction photopériodique est donc plus complexe qu'attendu puisqu'aux latitudes inférieures, entre 7 et 11°, la latitude n'avait pas d'effet sur la date d'initiation et de floraison.

Tableau 4 : Rendements et composantes du rendement pour l'essai de Samanko

Semis	Densité (pl.m ⁻²)	Densité de tiges finale (tiges/m ²)	Hauteur de tiges finale (m)	Biomasse totale (t/ha)	Rendement en grain (t/ha)	Indice de récolte (%)	Nombre de feuilles total	Nombre de grains par panicule	Poids d'un grain (mg)
16 Juillet	67000	8.3	225	8.3	1.9	26.6	16.4	1579	18.4
	133000	12.4	224	8.5	2.5	26.1	16.1	1025	18.5
	200000	17.1	223	8.1	2.1	27.6	16.2	620	18.2
	267000	22.5	229	9.6	1.9	21.6	15.0	487	17.8
1 Août	67000	5.7	154	2.2	1.0	26.9	14.9	935	16.2
	133000	11.5	147	3.5	0.9	18.7	14.6	593	16.8
	200000	13.9	175	3.6	1.3	20.7	15.2	514	16.7
	267000	18.3	147	3.5	1.0	17.7	14.1	544	16.2
Moyenne		13.7	203	5.9	1.6	23.3	15.3	787	17.3
Erreur standard		1.3	40	1.4	0.2	6.7	1.9	173	1.2
ppds		2.0	30	2.2	0.5	3.7	0.8	338	1.9
Facteurs de l'AOV									
Date		***	***	***	***	ns	***	**	ns
Densité		***	ns	ns	ns	ns	***	***	ns
Date x densité		*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns

Tableau 5 : Rendements et composantes du rendement pour l'essai de Cinzana

Semis	Densité (plantes.ha ⁻¹)	Densité de tiges finale (tiges.m ⁻²)	Hauteur de tiges finale (m)	Biomasse totale (t/ha)	Rendement en grain (t/ha)	Indice de récolte (%)	Nombre de grains par panicule	Poids d'un grain (mg)
17 Juillet	67000	12.5	293	17.7	4.1	23.3	1566	22.0
	133000	14.4	279	16.2	4.1	25.5	1291	21.3
	200000	19.4	282	16.8	4.2	24.8	1095	21.7
	267000	22.2	292	18.8	4.5	24.1	1125	20.7
2 Août	67000	6.5	250	7.2	1.9	26.3	1499	19.7
	133000	12.7	258	8.4	2.1	25.2	924	19.7
	200000	14.0	262	8.6	2.0	23.9	890	19.0
	267000	18.7	224	8.9	2.2	25.1	680	20.0
Moyenne		15.0	267	12.8	3.2	24.8	1134	20.5
Erreur standard		2.2	29	1.6	0.3	1.3	248	1.2
ppds		3.4	45	2.1	0.5	2.0	382	1.9
Facteurs de l'AOV								
Date		***	**	***	***	ns	*	**
Densité		***	ns	ns	ns	ns	**	ns
Date x densité		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

2. Rendements et composantes du rendement

Les productions de biomasse et de grains ont été très différentes entre les 2 localités (Tableaux 4 et 5). A Samanko, la production de biomasse moyenne a été de 5,9 t/ha contre 12,8 t/ha à Cinzana, avec de grandes différences, significatives, entre les dates de semis et pas de différence entre les densités de semis. Les moyennes de rendement en grain ont été de 1,6 t/ha à Samanko contre 3,2 t/ha à Cinzana. A Cinzana, les rendements en grain ont été supérieurs à 4 t/ha pour le semis du 18 juillet.

En revanche, les indices de récolte ont peu varié entre les stations, avec une moyenne de 23,3 à Samanko et 24,8 à Cinzana, et n'ont pas subi d'influence des facteurs dates de semis et densité.

Les poids de grain, mesurés sur des balances différentes, ont été en moyenne de 17,3 mg à Samanko et 20,5 mg à Cinzana. Ils ont été inférieurs pour la 2^{ème} date de semis, significativement à Cinzana, mais indépendants de la densité.

Les nombres de grains par panicule ont significativement diminués avec le retard de semis et avec l'augmentation de densité. L'effet de la densité sur le nombre de grains par panicule a été beaucoup plus marqué à Samanko.

Sur les deux stations, les hauteurs finales ont significativement diminués avec le semis tardif et ont été indépendantes de la densité. Ces hauteurs finales ont été nettement supérieures à Cinzana. Pour le semis de juillet à la densité de 67 000 pl/ha, la différence de hauteur a été de 75 cm, due à la différence du nombre de phytomères mise en évidence par le nombre de feuilles total. Il est tout à fait cohérent qu'une différence entre tiges de 4,6 entre-nœuds d'une hauteur moyenne de 16 cm ait entraîné une différence de hauteur des tiges de 75 cm.

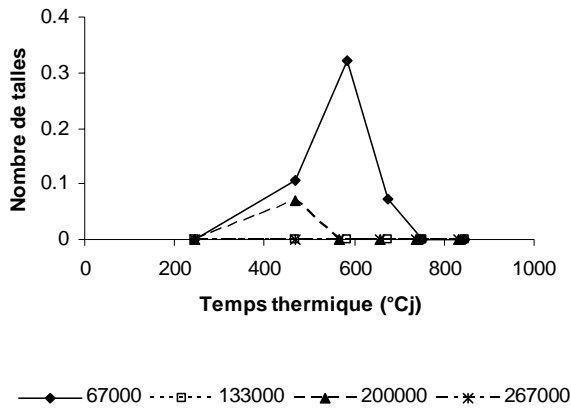


Figure 1 : Evolution du nombre moyen de talles par plante en fonction de la densité, pour le semis de juin à Samanko

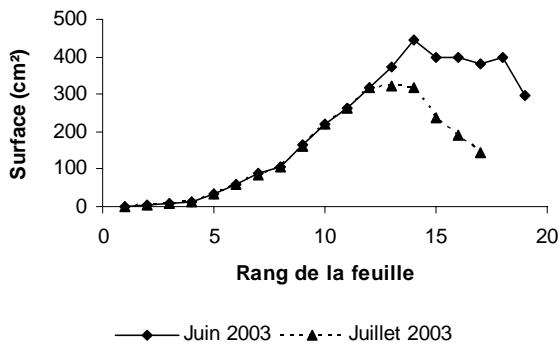


Figure 2 : Profils foliaires pour CSM 63E réalisés à Samanko en 2003 sur 10 plantes ayant émis une moyenne de 18.8 et 16.3 feuilles.

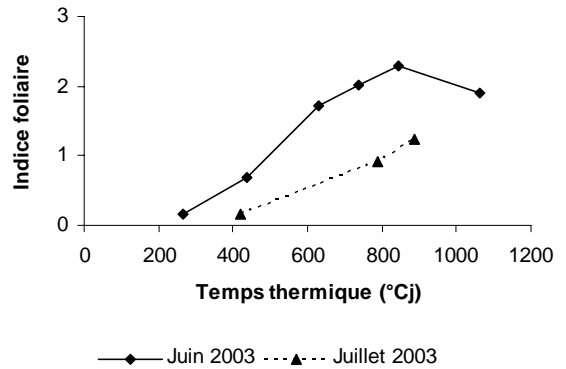


Figure 3 : Evolution de l'indice foliaire pour les tiges principales de CSM 63E mesurée à Samanko en 2003 jusqu'au déploiement de la feuille-drapeau.

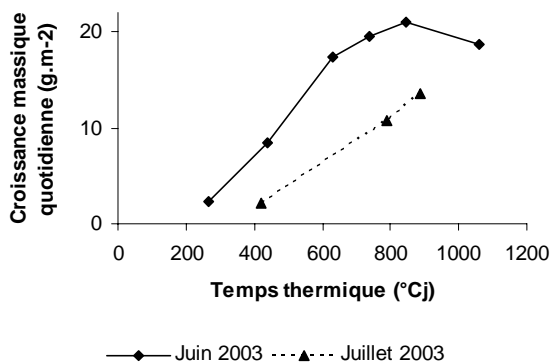


Figure 4 : Estimation de l'évolution de la croissance massique quotidienne des tiges principales de CSM 63E à Samanko en 2003, sur la base d'un rayonnement de $20 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$.

Le tallage a été très faible à nul à Samanko, ne dépassant pas une moyenne de 0.3 talles/plante à la densité de 67 000 plant/ha (Fig. 1). Pour les 30 plantes suivies, les talles produites n'ont pas survécu pendant la montaison et il n'y avait plus aucune au moment de la récolte. Cependant la densité finale de 8.3 tiges.m⁻² indique un minimum de 0.24 talles/plante au moment de la récolte pour l'ensemble des plantes des 2 lignes récoltées (Tableau 4). A Cinzana, la densité finale de 12,5 tiges.m⁻² dans les parcelles semées à 67 000 pl/ha indique un fort tallage conduisant à un tallage final proche 1 talle par plante (Tableau 5).

Les différences de rendements en biomasse et en grains entre les deux stations n'ont pas été provoquées par un accident de végétation à Samanko, puisque les densités et la végétation étaient homogènes et que les phyllochrones ont été linéaires. Elles n'ont pas non plus pour cause une différence de fertilité des sols, puisque dans l'essai adjacent à Samanko les hybrides, variétés à taille réduite et le témoin CSM 335 ont produit en moyenne 14,4 t/ha de biomasse et 3,5 t/ha de grains (Tableau 5 page 25). Cette différence est donc clairement provoquée par la différence de latitude et la différence de nombre de feuilles qu'elle a induite. Les profils de surface foliaire réalisés pour CSM 63E à Samanko en Juin et Juillet 2003 dans les semis mensuels montrent en effet une grande différence des surfaces des dernières feuilles entre les semis de juin et juillet pour lesquels le nombre total de feuilles étaient de 18.8 et 16.3, comme à Cinzana (19.2) et Samanko (16.4) en 2007 (Fig. 2). Les données des semis mensuels permettent de calculer une estimation des LAI pour la tige principale jusqu'à son maximum à la feuille-drapeau (Fig.3) et par conséquent une estimation de la synthèse quotidienne de biomasse des tiges principales avec une radiation solaire de 20 MJ.m⁻².jour⁻¹ (Fig. 4). Au moment du déploiement de la feuille-drapeau, la croissance quotidienne de biomasse pour les plantes atteignant un total de 18.8 feuilles est donc près de 2 fois supérieure à celle des plantes ne développant que 16.3 feuilles. La moindre surface des dernières feuilles, celles qui assurent le remplissage des grains, pour le semis de Juillet explique la différence majeure de potentiel de rendement entre les plantes de CSM 63E cultivées à Samanko ou à Cinzana.

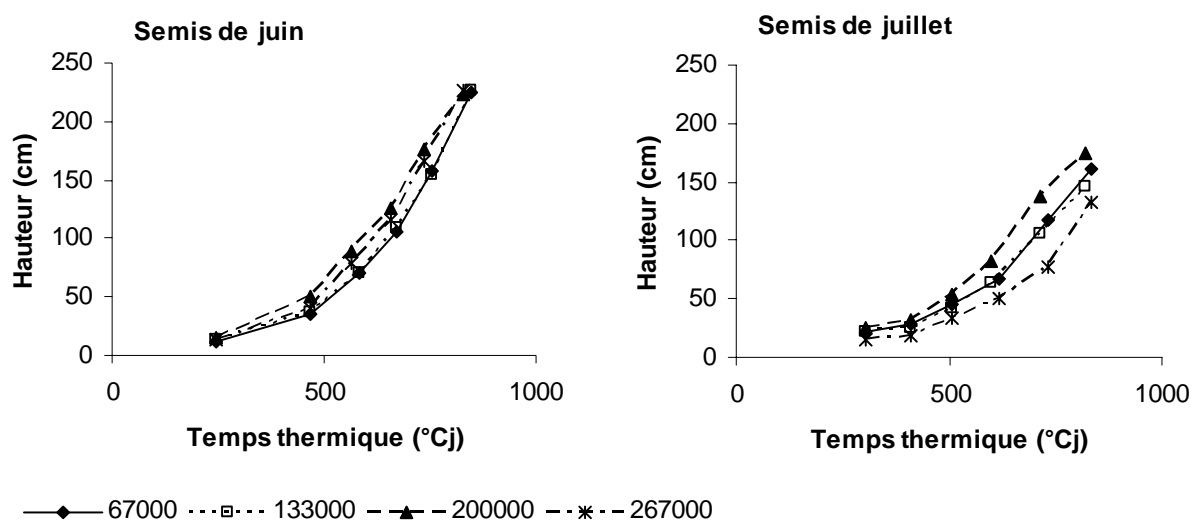
Ces données apportent un nouvel élément au complexe d'adaptation aux conditions locales. L'essai sur la collection va permettre de déterminer s'il s'agit d'une réponse isolée de cette variété très particulière sur plusieurs points ou au contraire d'une réaction générale.

Tableau 6 : Valeur moyennes du phyllochrone par traitement.

Semis	Densité	Phyllochrone (°Cd.feuille ⁻¹)	Feuille-drapeau (°C jour)	Nombre de feuilles total
16 Juillet	67000	45.1 ± 0.9	694 ± 19	16.4 ± 0.6
	133000	46.2 ± 0.7	670 ± 21	16.1 ± 0.4
	200000	44.3 ± 0.9	698 ± 16	16.2 ± 0.4
	267000	47.6 ± 0.8	669 ± 18	15.0 ± 0.3
1 Août	67000	46.9 ± 1.1	671 ± 18	14.9 ± 0.4
	133000	48.9 ± 1.0	641 ± 15	14.6 ± 0.3
	200000	45.6 ± 0.8	665 ± 15	15.2 ± 0.3
	267000	53.9 ± 1.6	693 ± 25	14.1 ± 0.4
Moyennes				
	67000	46.0	682	15.6
	133000	47.5	655	15.3
	200000	45.0	681	15.7
	267000	50.8	681	14.5
16 Juillet		45.8	683	15.9
1 Août		48.8	667	14.7

Tableau 7 : Analyse de covariance sur les mesures répétées afin de tester les effets de la densité et de la date de semis sur la vitesse d'apparition des feuilles (pente de la régression en temps thermique). Les interactions entre les facteurs et le temps thermique indiquent les effets sur la pente, tandis que les facteurs simples indiquent les effets sur l'intercept.

Source	ddl		F	P
	Num	Den		
Temps thermique	1	56.2	3801	<0.0001
Temps thermique x densité	3	13.7	5.1	0.0138
Temps thermique x semis	1	13.7	11.8	0.0042
Temps thermique x densité x semis	3	13.7	0.7	ns

**Figure 5 :** Evolution de la hauteur moyenne des plantes en fonction de la date et de la densité de semis à Samanko.

3. Vitesses de développement et de croissance

A Samanko, la cinétique de vitesse d'apparition des feuilles a été linéaire aux deux dates de semis, ce qui est attendu pour un cycle court. Les phyllochrones ont été significativement plus long pour le semis du 1^{er} Août que pour celui du 16 Juillet et significativement plus long pour la densité la plus élevée que pour les 3 autres (Tableaux 6 et 7). L'effet de la densité s'est exprimé dans cette expérience dès le début de la croissance des plantes en réponse au grand nombre de plantes en croissance dans le même poquet. Il n'y a par contre pas eu d'effet mesurable pendant la montaison rapide de cette variété précoce, comparable à celui connu chez des variétés plus tardives telle que CSM 335.

A Samanko, les cinétiques de croissance en hauteur ont été linéaires aux 2 dates de semis pendant la période d'élongation de la tige ou montaison, après 500 °Cj (Fig. 5). Les hauteurs finales ont été significativement différentes pour les deux dates de semis mais pas en réponse à la densité (Tableaux 4 et 5). Les courbes de croissance en hauteur montrent cependant que la montaison a commencé plus tôt dans les parcelles plus denses pour le semis du mois de juillet et qu'au contraire la montaison a été retardée dans les parcelles les plus denses pour le semis d'août, sans doute en raison d'un déficit hydrique.

Conclusion

La variété CSM 63E est en réalité fortement photopériodique. Elle a réagi à la latitude à laquelle elle était cultivée alors que toutes les autres conditions environnementales étaient peu variables. A Cinzana, 13°25N, la phase végétative de CSM 63E a duré une semaine de plus qu'à Samanko, 12°32N, pour le semis du 16-18 Juillet. En conséquence, la production totale de feuilles a été de 19,2 à Cinzana contre 16,4 à Samanko, ce qui a entraîné un doublement de la capacité de synthèse de biomasse à Cinzana. Pour un semis de mi-juillet, le potentiel de production de CSM 63E est donc de 4,5 t/ha de grain sec à la latitude de Cinzana contre seulement 2,5 t/ha à la latitude de Bamako.

Tableau 1 : Liste des variétés testées sur chacune des stations

Projet	Variete	Samanko	Cinzana	Bougouni
FIDA/PROMISO	Sambalma (1)	X	X	X
FIDA/PROMISO	Bahu Banza	X	X	X
FIDA/PROMISO	Sambalma (3)	X		
FIDA/PROMISO	Zabuwa (4)	X	X	X
FIDA/PROMISO	Jardawa (5)	X		
FIDA/PROMISO	Jaddawa	X	X	X
FIDA/PROMISO	Mace da Kunya	X	X	X
FIDA/PROMISO	Fara-fara (8)	X	X	X
FIDA/PROMISO	Gizo	X	X	X
FIDA/PROMISO	Zabuwa (10)	X	X	X
FIDA/PROMISO	Bahura	X	X	X
FIDA/PROMISO	Jardawa (12)	X	X	X
FIDA/PROMISO	Fara	X	X	X
FIDA/PROMISO	Yarfalgori	X	X	X
FIDA/PROMISO	Kabo	X	X	X
FIDA/PROMISO	Yarshemori	X	X	X
GTZ/BMZ	SSV 20023	X		X
GTZ/BMZ	Fara Fara (18)	X		X
GTZ/BMZ	IS 30804ca	X	X	X
GTZ/BMZ	IS 6731bf	X	X	X
GTZ/BMZ	FambéB	X	X	X
GTZ/BMZ	GP 271-20	X	X	X
GTZ/BMZ	97-SB-F5DT-150 B	X	X	X
GTZ/BMZ	02-SB-F5DT-12 B	X	X	X
GTZ/BMZ	02PR-3009K B	X	X	X
GTZ/BMZ	CLO B	X	X	X
GTZ/BMZ	00-KO-F5DT-19	X	X	X
GTZ/BMZ	99-SB-F5DT-189	X	X	X
GTZ/BMZ	S29	X	X	X
GTZ/BMZ	Pougyalm-bangdo	X	X	X
GTZ/BMZ	S35	X		X
GTZ/BMZ	CSM388	X	X	X
	Farafara 17	X	X	X
	Kaura D12	X	X	X
	Short Kaura	X	X	X
	CSM 335	X	X	X
	CSM 63E		X	
	GP 271-20 x IS6731			X

Caractérisation du développement et de la production d'une collection de sorghos

Résumé

Une collection de 36 variétés, constituée d'une prospection nigériane et d'un choix dans une core-collection du GTZ, a été cultivée sur 3 stations au Mali, Samanko, Cinzana et Bougouni. Ces 3 stations devaient normalement constituer un gradient de durée de la saison des pluies mais en 2007 des durées ont été identiques pour les 3 lieux. Les variétés nigérianes n'ont montré aucun avantage particulier pour le rendement en grain et les témoins locaux CSM 335 et CSM 63E ont atteint les meilleurs rendements. Les durées des phases végétatives des variétés ont varié avec le lieu de culture probablement par un effet de la différence de latitude entre Samanko et Cinzana et par un effet de la faible fertilité du sol à Bougouni.

Objectif de l'essai

Une collection des 16 variétés de sorgho les plus cultivées au Nord du Nigéria a été effectuée en 2006 dans le cadre du projet PROMISO. Leur caractérisation a été réalisée sur 3 stations au Mali en 2007. Les sorghos cultivés au Nigéria ont des caractères morpho-génétiques très différents de ceux qui sont cultivés dans la zone Mali-Burkina Faso et cette étude avait pour but de comparer le potentiel de production du groupe Nigérian à celui du groupe Mali-Burkina Faso. Un set additionnel de 16 autres variétés a été choisi dans la liste des variétés en cours de caractérisation phénotypique et génétique dans le cadre d'un projet sur les pools hétérotiques financé par GTZ/BMZ. Enfin 3 variétés nigérianes dont la réponse photopériodique avait été entièrement caractérisée dans une série de semis mensuels ont été ajoutées, ainsi que la variété témoin des programmes de Samanko, CSM 335.

Matériel et méthodes

1. Dispositif expérimental

La collection a été cultivée sur 3 stations au Mali : Samanko (12°32N, 8°04W), Cinzana (13°15N, 5°57W) et Dalabani près de Bougouni (11°25N, 6°33W). Les sols étaient profonds et fertiles à Samanko et Cinzana, plus superficiel et nettement moins fertile à Dalabani. Les trois essais ont été semés assez tardivement en raison du début tardif de la saison des pluies sur l'ensemble du pays.

Le terrain a d'abord été labouré puis 100 kg de plâtre + 100 kg de DAP (18-46-0) + 100 kg/ha de KCl ont été successivement épandus au moment du semis. A Samanko et Cinzana des billons distants de 0.75 m ont été tracés, tandis que le semis a été réalisé à plat à Bougouni. Les semis manuels ont été effectués à la distance de 0.20 cm sur le rang et avec 10 grains/poquet. Le démariage à 1 plant/poquet a été effectué 2 semaines après la levée assurant une densité initiale de 67 000 pl/ha. Les dates des principales opérations culturales sont reportées dans le tableau 1. Les sarclages et les apports d'engrais étaient effectués simultanément. Un mois après la levée 100 kg de DAP + 100 kg urée ont été apportés puis 100 kg d'urée 3 semaines plus tard.

Le dispositif expérimental était un lattice alpha-design à 3 répétitions. Les parcelles élémentaires comportaient 4 lignes de 5m, à l'exception des parcelles de la première répétition à Samanko qui comportaient 6 rangs.

Tableau 1 : Dates des opérations culturales dans les 3 stations

Station	Semis	Levée	Démariage	Urée + TSP	Urée 2
Samanko	16 juil.	19 juil.	30 juil.	9 août	4 sept.
Cinzana	17 juil.	21 juil.	30 juil.	13 août	3 sept.
Bougouni	11 juil.	17 juil.	31 juil.	6 août	29 août

2. Matériel végétal

En raison de la faible quantité de semences disponible pour 4 des variétés de la liste, cette liste a légèrement variée d'une station à l'autre (Tableau 1). La variété précoce CSM 63E a été ajoutée à Cinzana et l'hybride plus tardif GP 271-20 x IS6731 a été ajouté à Bougouni.

3. Mesures et analyses

Dans chaque parcelle, 10 plantes contiguës du 2^{ème} rang ont été marquées de 1 à 10 et les feuilles de leur tige principale numérotées à mesure de leur apparition. Les nombres de feuilles déjà apparues et la hauteur de plante étaient enregistrés chaque semaine, sur chacune des tiges principales de ces 10 plantes. Pour chaque parcelle, ont été notées les dates auxquelles 50% des plantes avaient déployé leur feuille-drapeau, épié et fleuri.

A Samanko, toutes les feuilles de toutes les tiges principales des plantes d'une ligne supplémentaire des parcelles de la première répétition étaient repérées. Chaque semaine, 2 plantes de ces parcelles étaient prélevées et disséquées afin de compter les nombres de feuilles initiées, apparues et ligulées, de mesurer les hauteurs de plante et de tige et de vérifier l'état de l'apex, végétatif ou reproductif.

Les données météorologiques étaient enregistrées automatiquement (Centrale Campbell 21X) au pas de temps horaire dans le parc météo de la station de Samanko, à 500 m de la parcelle. La température de l'air a été fournie par le programme AMMA pour la station de Cinzana, sous forme d'un enregistrement automatique au pas de 5 mn. Enfin la station météorologique de Bougouni, à 11 km de l'essai, a fourni les températures maxi et mini quotidiennes, ainsi que la pluviométrie.

L'analyse des résultats a été effectuée à l'aide du logiciel SAS (2004)¹, en utilisant les méthodes mises au point lors des expériences précédentes.

Dans un certain nombre de parcelles, les plantes ont constitué 2 populations distinctes, avec une cinétique de développement soit linéaire, soit bi-linéaire. Ces populations ont été séparées à l'aide d'un test de p.p.d.s. effectué sur la moyenne générale du nombre de feuilles apparues sur une plante au cours du cycle (Proc GLM, SAS). La population majoritaire était alors seule conservée. Ce test a aussi permis d'éliminer les plantes qui ont eu un mauvais développement, ont été dominées au moment de la montaison ou sont mortes pendant le déroulement de l'expérience.

Une procédure de régression itérative portant uniquement sur les plantes de la population majoritaire a ensuite été utilisée pour estimer les pentes des cinétiques de développement et de croissance en hauteur, linéaires ou bi-linéaires suivant les variétés (Proc NLMIXED, SAS). Le choix entre les modèles était effectué à l'aide d'un test F sur la différence entre les sommes des carrés des écarts de chacun d'eux.

L'utilisation de la procédure NLMIXED, autorisée par le repérage de chacune des plantes, a permis de calculer les intervalles de tous les paramètres du modèle et par conséquent de les comparer ce qui n'était possible jusque-là que pour le premier coefficient de pente, b1.

¹ SAS. 2004. Version 9.1. Cary, NC (USA), SAS Institute Inc.

Tableau 3 : Dates des principaux évènements physiologiques

Variété	Samanko				Cinzana				Bougouni			
	FD	Floraison	Maturité	Récolte	FD	Floraison	Maturité	Récolte	FD	Floraison	Maturité	Récolte
Sambalma (1)	4 oct	14 oct	20 nov	21 nov	22 oct	3 nov			4 oct	16 oct	13 nov	21 nov
Bahu Banza	8 oct	20 oct	23 nov	25 nov	20 oct	3 nov			10 oct	23 oct		
Sambalma (3)	15 oct	27 oct	28 nov	28 nov								
Zabuwa (4)	1 oct	10 oct	12 nov	15 nov	12 oct	20 oct	8 nov	12 nov	2 oct	13 oct	12 nov	21 nov
Jardawa (5)	4 sept	17 sept	24 oct	1 nov								
Jaddawa	25 sept	5 oct	12 nov	15 nov	6 oct	15 oct	10 nov	14 nov	25 sept	7 oct		
Mace da Kunya	1 oct	9 oct	14 nov	15 nov	6 oct	15 oct	6 nov	12 nov	4 oct	15 oct	12 nov	21 nov
Fara-fara (8)	1 oct	9 oct	14 nov	15 nov	12 oct	20 oct	10 nov	13 nov	2 oct	13 oct	9 nov	18 nov
Gizo	9 oct	17 oct	23 nov	25 nov	20 oct	28 oct			11 oct	22 oct		
Zabuwa (10)	29 sept	9 oct	12 nov	15 nov	12 oct	20 oct	10 nov	13 nov	1 oct	11 oct	11 nov	21 nov
Bahura	29 sept	7 oct	14 nov	15 nov	6-Oct	15-Oct	7-Nov	12 nov	1 oct	12 oct		
Jardawa (12)	17 sept	24 sept	25 oct	1 nov	23 sept	2 oct	22 oct	26 oct	11 sept	23 sept	25 oct	7 nov
Fara	7 sept	19 sept	23 oct	1 nov	21 sept	2 oct	26 oct	29 oct	9 sept	22 sept	16 oct	25 oct
Yarfalgori	30 sept	9 oct	12 nov	15 nov	10 oct	18 oct	7 nov	12 nov	29 sept	10 oct	12 nov	21 nov
Kabo	28 sept	6 oct	14 nov	15 nov	6 oct	15 oct	7 nov	12 nov	28 sept	7 oct		
Yarshemori	6 oct	15 oct	22 nov	25 nov	20 oct	27 oct			7 oct	18 oct		
SSV 20023	28 sept	6 oct	9 nov	13 nov					29 sept	11 oct	28 oct	17 nov
Fara Fara (18)	1 oct	9 oct	12 nov	15 nov					1 oct	12 oct	7 nov	16 nov
IS 30804ca	9 oct	17 oct	23 nov	28 nov	20 oct	20 oct	15 nov	19 nov	10 oct	23 oct		
IS 6731bf	26 sept	6 oct	10 nov	15 nov	29 sept	12 oct	2 nov	7 nov	26 sept	6 oct	5 nov	15 nov
FambéB	17 sept	25 sept	30 oct	3 nov	24 sept	4 oct	23 oct	26 oct	17 sept	28 sept	23 oct	3 nov
GP 271-20	25 sept	6 oct	8 nov	13 nov	28 sept	11 oct	29 oct	1 nov	28 sept	11 oct	2 nov	9 nov
97-SB-F5DT-150 B	27 sept	4 oct	2 nov	9 nov	26 sept	8 oct	27 oct	29 oct	28 sept	10 oct	30 oct	8 nov
02-SB-F5DT-12 B	23 sept	1 oct	2 nov	9 nov	22 sept	2 oct	23 oct	26 oct	28 sept	9 oct	4 nov	14 nov
02PR-3009K B	21 sept	2 oct	2 nov	8 nov	17 sept	27 sept	20 oct	24 oct	22 sept	5 oct	2 nov	11 nov
CLO B	24 août	7 sept	11 oct	11 oct	27 août	17 sept	12 oct	16 oct	31 août	9 sept	8 oct	14 oct
00-KO-F5DT-19	24 sept	3 oct	2 nov	9 nov	21 sept	30 sept	22 oct	24 oct	1 oct	13 oct	1 nov	12 nov
99-SB-F5DT-189	18 sept	25 sept	29 oct	8 nov	21 sept	30 sept	22 oct	24 oct	19 sept	2 oct	28 oct	7 nov
S29	8 sept	22 sept	27 oct	3 nov	26 sept	5 oct	25 oct	25 oct	12 sept	24 sept	23 oct	1 nov
Pougyalm-bangdo	10 sept	23 sept	25 oct	1 nov	22 sept	2 oct	23 oct	24 oct	14 sept	26 sept	23 oct	3 nov
S35	13 sept	22 sept	23 oct	1 nov					16 sept	26 sept	19 oct	27 oct
CSM388	23 sept	2 oct	5 nov	11 nov	26 sept	8 oct	28 oct	1 nov	22 sept	3 oct	29 oct	7 nov
Farafara 17	5 oct	14 oct	16 nov	17 nov	12 oct	20 oct	15 nov	19 nov	8 oct	19 oct	13 nov	21 nov
Kaura D12	3 oct	12 oct	16 nov	17 nov	12 oct	20 oct	15 nov	19 nov	5 oct	17 oct		
Short Kaura	16 oct	27 oct	28 nov	28 nov	-				22 oct	3 nov		
CSM 335	24 sept	2 oct	3 nov	9 nov	27 sept	9 oct	28 oct	1 nov	23 sept	4 oct	27 oct	7 nov
GP271-20 X IS6731									24 sept	5 oct	30 oct	7 nov
CSM 63E					14 sept	25 sept	15 oct	17 oct				

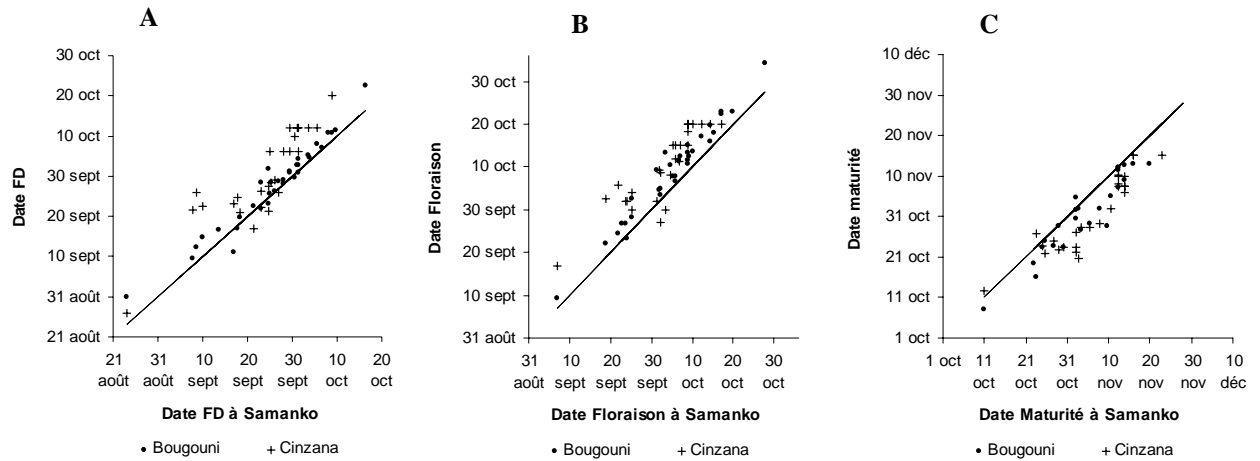


Fig. 1 : Comparaison entre les dates de déploiement de la feuille-drapeau (FD), de la floraison et de la maturité enregistrées pour chaque variété à Samanko et sur les 2 autres stations.

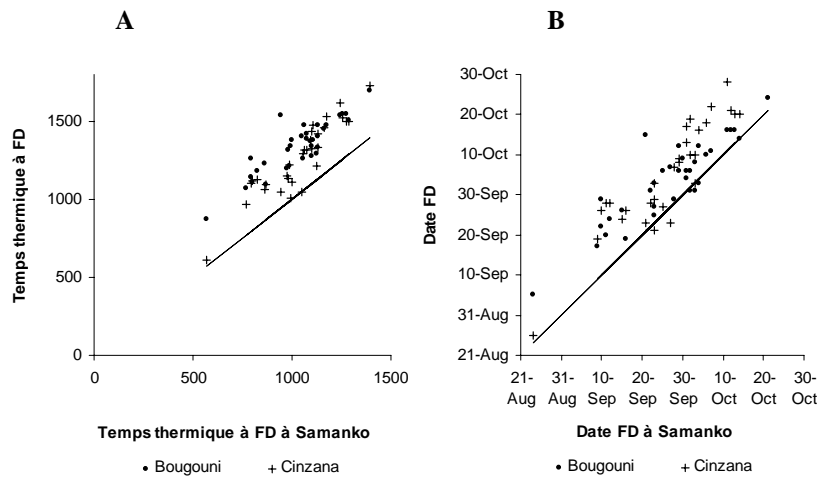


Fig. 2 : Comparaison entre les temps thermiques (A) et les dates (B) estimés à partir des cinétiques de croissance pour l'apparition de la feuille-drapeau de chaque variété à Samanko et sur les 2 autres stations.

Résultats et discussions

1. Les durées des phases de développement

Les dates des évènements physiologiques et les durées depuis le semis sont reportées dans les tableaux 3 et 4. A Cinzana, 4 variétés ne sont pas parvenues à maturité avant le 20 novembre, au moment du départ du stagiaire et 1 variété, Short Kaura, n'avait pas atteint le stade feuille-drapeau à cette date. A Bougouni, 8 variétés n'avaient pas atteint la maturité le 22 novembre au départ du stagiaire. Ces variétés tardives n'ont pas été récoltées à Cinzana et Bougouni.

La comparaison des dates enregistrées sur les 3 stations a montré que les dates de déploiement de la feuille-drapeau ont été sensiblement égales pour l'ensemble des variétés à Samanko et Bougouni mais plus tardives à Cinzana pour les variétés précoces et tardives (Fig 1a). Les dates de floraison ont généralement été plus tardives à Bougouni et Cinzana qu'à Samanko (Fig. 1b, tandis qu'à l'inverse les dates de maturité ont été plus précoces à Samanko que sur les 2 autres stations (Fig. 1c). Les écarts de date entre stations ont tous été compris dans des intervalles de durée inférieurs à 20 jours. Ces comparaisons sont basées sur des données recueillies par des étudiants non expérimentés à Cinzana et Bougouni et sont donc sujettes à caution, en particulier en raison de l'inversion de tendance entre les dates de feuille-drapeau et de floraison et celles de maturité. Une vérification a pu être réalisée pour les dates d'apparition des feuilles-drapeau qu'il était possible d'estimer à partir des relations établies entre les nombres de feuilles apparues et le temps thermique (Fig. 2a et b). La durée et la date estimées pour l'apparition de la feuille-drapeau confirment que le cycle végétatif a été plus long à Cinzana qu'à Samanko (donc la notation visuelle était correcte) et indique qu'il a aussi été plus long à Bougouni qu'à Samanko (la notation de l'étudiant était probablement un peu précoce).

En conséquence, il n'apparaît pas d'effet univoque de la différence de la latitude sur la phase végétative des variétés testées, dans des conditions de températures très voisines sur les 3 stations (cf. page 5).

Tableau 5 : Estimations des plastochrones et phyllochrones (°C.j) de chaque variété sur les 3 stations

variete	Samanko			Cinzana		Bougouni	
	plastol	phyllo1	phyllo2	phyllo1	phyllo2	phyllo1	phyllo2
Sambalma (1)	28.7 ± 1.4	37.0 ± 0.5	55.1 ± 3.5	41.2 ± 0.7	80.0 ± 5.5	54.0 ± 2.0	
Bahu Banza	28.1 ± 0.3	39.0 ± 0.7	62.6 ± 7.9	41.8 ± 0.7	74.7 ± 7.2	49.2 ± 2.1	61.3 ± 8.5
Sambalma (3)	30.5 ± 0.5	40.1 ± 0.6	61.2 ± 3.9				
Zabuwa (4)	28.7 ± 1.4	39.7 ± 0.6	54.5 ± 4.2	43.5 ± 1.7	68.4 ± 3.5	47.6 ± 2.2	61.0 ± 3.6
Jardawa (5)	25.4 ± 6.2	40.3 ± 0.8					
Jaddawa	26.8 ± 0.4	41.0 ± 0.4		40.9 ± 1.2	57.3 ± 2.9	48.4 ± 1.2	
Mace da Kunya	30.1 ± 0.9	39.6 ± 0.4	51.5 ± 4.3	40.5 ± 1.2	57.3 ± 2.4	49.3 ± 2.3	67.7 ± 18.9
Fara-fara (8)	31.0 ± 1.9	39.4 ± 0.6	53.5 ± 4.2	40.8 ± 1.1	62.5 ± 3.4	56.7 ± 2.1	
Gizo	27.0 ± 0.9	37.2 ± 0.6	59.3 ± 5.3	41.3 ± 0.6	81.6 ± 6.2	53.4 ± 2.4	64.4 ± 5.1
Zabuwa (10)	31.2 ± 1.8	38.4 ± 0.8	51.4 ± 5.7	39.5 ± 0.9	64.4 ± 3.3	49.8 ± 1.8	
Bahura	26.3 ± 1.2	37.0 ± 0.6	48.7 ± 2.4	37.6 ± 1.1	60.5 ± 2.8	54.7 ± 2.1	
Jardawa (12)	27.8 ± 1.6	38.5 ± 0.5		44.4 ± 0.8		47.8 ± 2.4	
Fara	26.6 ± 1.9	38.7 ± 0.5		46.6 ± 0.9		50.3 ± 2.3	
Yarfalgori	30.0 ± 1.9	40.3 ± 0.8	53.1 ± 1.9	41.1 ± 0.8	58.6 ± 1.7	54.8 ± 1.6	
Kabo	28.9 ± 2.2	38.2 ± 0.8	51.3 ± 5.6	38.3 ± 0.9	60.2 ± 2.6	49.1 ± 1.6	
Yarshemori	28.4 ± 0.3	36.5 ± 0.8	59.4 ± 6.2	40.0 ± 0.6	80.4 ± 5.4	49.9 ± 3.8	60.5 ± 6.4
SSV 20023	28.7 ± 1.3	39.5 ± 0.7	51.0 ± 2.3			56.5 ± 1.9	
Fara Fara (18)	34.6 ± 1.4	41.7 ± 1.3	54.8 ± 4.8			51.6 ± 1.5	
IS 30804ca	31.0 ± 1.3	41.9 ± 0.5	64.4 ± 4.8	39.6 ± 0.8	73.9 ± 2.6	51.1 ± 1.9	68.9 ± 4.1
IS 6731bf	28.1 ± 2.5	44.9 ± 0.7	56.2 ± 3.5	44.6 ± 0.6	70.9 ± 16.8	52.4 ± 1.4	
FambeB	26.2 ± 2.0	39.4 ± 0.4		39.9 ± 1.1	59.6 ± 4.6	49.4 ± 1.5	
GP 271-20	27.7 ± 1.2	40.7 ± 0.4		42.2 ± 0.7		47.3 ± 1.4	
97-SB-F5DT-150 B	35.9 ± 3.1	46.8 ± 0.8		48.5 ± 0.8	62.2 ± 7.7	55.1 ± 2.5	
02-SB-F5DT-12 B	30.1 ± 1.7	41.9 ± 0.9	50.3 ± 5.1	47.4 ± 0.5		52.6 ± 2.3	
02PR-3009K B	27.8 ± 1.2	43.6 ± 1.1	61.1 ± 3.4	47.0 ± 0.7		57.6 ± 1.9	
CLO B	30.4 ± 1.3	39.9 ± 0.5		41.8 ± 0.8		56.2 ± 5.0	
00-KO-F5DT-19	29.1 ± 1.3	43.1 ± 1.4	52.4 ± 4.5	45.1 ± 0.6		53.3 ± 2.1	
99-SB-F5DT-189	28.5 ± 2.1	43.2 ± 0.5		41.4 ± 0.9	54.5 ± 2.6	57.7 ± 1.7	
S29	26.1 ± 1.5	39.4 ± 0.6		44.3 ± 0.8		51.1 ± 1.7	
Pougyalm-bangdo	27.9 ± 1.9	40.7 ± 0.6		40.5 ± 0.8	68.4 ± 6.1	55.5 ± 1.6	
S35	29.6 ± 2.6	44.2 ± 0.6				55.7 ± 2.0	
CSM388	27.2 ± 1.5	39.0 ± 0.7	46.8 ± 3.2	41.1 ± 1.2	57.4 ± 3.7	48.8 ± 2.2	
Farafara 17	26.5 ± 0.9	37.9 ± 0.5	60.6 ± 4.4	41.6 ± 0.7	68.6 ± 3.1	47.8 ± 3.7	62.8 ± 6.9
Kaura D12	26.6 ± 1.7	36.2 ± 0.8	58.0 ± 4.2	39.5 ± 1.1	61.9 ± 3.2	56.8 ± 1.8	
Short Kaura	30.1 ± 2.0	36.9 ± 0.5	59.3 ± 4.1	41.9 ± 0.6	69.9 ± 2.7	50.3 ± 4.0	61.5 ± 6.2
CSM 335	27.8 ± 1.9	39.4 ± 0.8	50.1 ± 3.6	42.9 ± 1.3	63.7 ± 3.2	47.7 ± 1.6	
GP 27120X IS6731		38.3 ± 0.5	46.0 ± 7.0			44.9 ± 1.5	
CSM 63E		45.1 ± 0.9		45.9 ± 0.7			

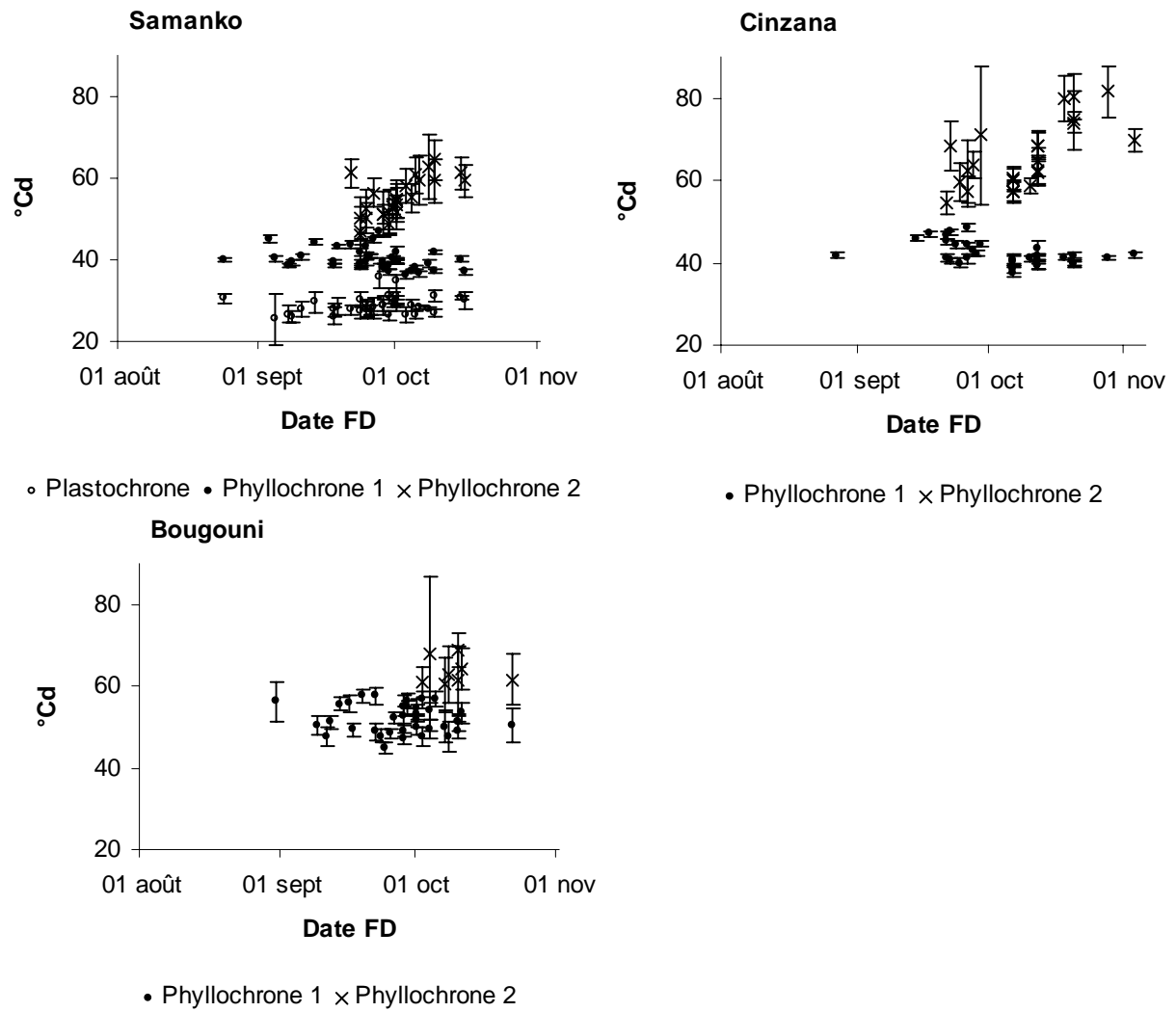


Fig. 3 : Relation entre les plastochrones et phyllochrones et la date de déploiement de la feuille-drapeau (FD) pour l'ensemble de la collection sur les 3 stations.

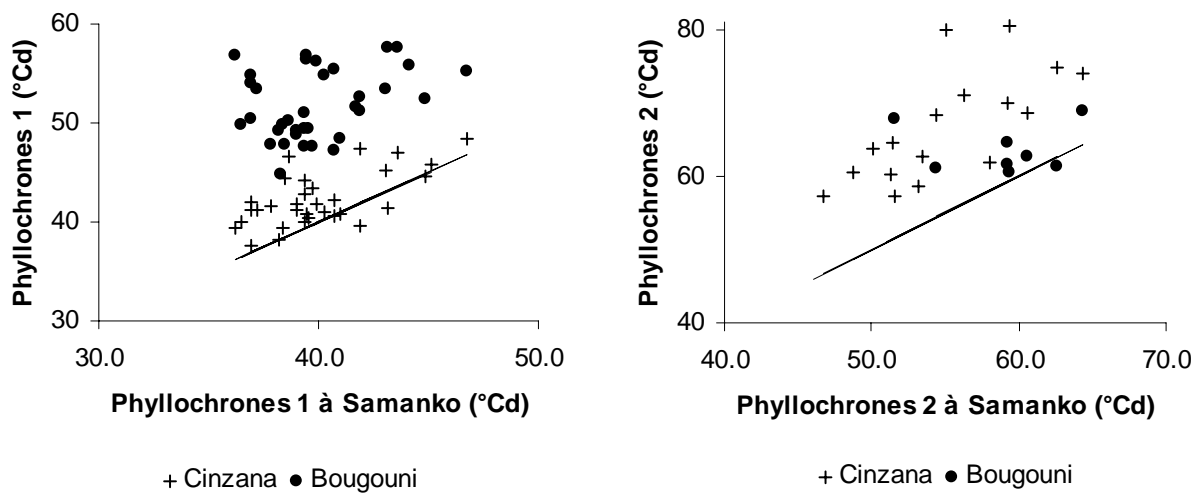


Fig. 4 : Relation entre les phyllochrones primaires et secondaires estimés à Samanko et sur les 2 autres stations.

2. La variabilité des vitesses de développement et leur relation avec la durée du cycle

Toutes les cinétiques d'émission des feuilles ont été linéaires à Samanko, en raison du semis tardif du 16 juillet (Tableau 5). Les plastochrones ont été significativement différents entre variétés, sans relation apparente avec la précocité (Fig. 3).

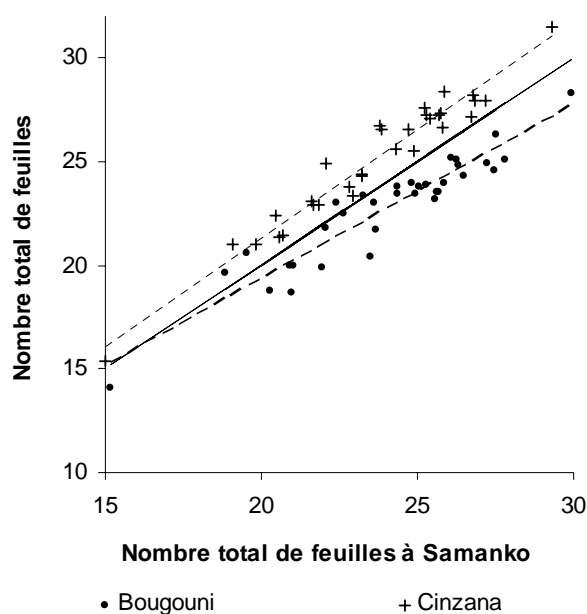
Sur les trois stations, les cinétiques d'apparition des feuilles ont été linéaires ou bilinéaires suivant les variétés. La bilinéarité a été fréquente à Samanko, moins à Cinzana et rare à Bougouni. Les phyllochrones primaires et secondaires ont été significativement différents entre variétés.

C'est la première fois qu'il est possible de mettre en évidence une telle différence pour les phyllochrones primaires grâce au nombre de plantes suivies (30) et à l'amélioration de la méthode de régression. A Samanko et Cinzana, les phyllochrones primaires des variétés précoces tendent à être plus longs que ceux des variétés tardives. Les phyllochrones primaires ont été pour partie un peu plus longs à Cinzana et tous beaucoup plus longs à Bougouni, peut-être en relation avec la moindre fertilité du terrain utilisé (Fig. 4a).

A Samanko et Cinzana, les phyllochrones secondaires ont été positivement corrélés avec la durée du cycle végétatif (Fig. 3). Les phyllochrones secondaires ont été plus longs à Cinzana qu'à Samanko (Fig. 4b).

Tableau 5 : Moyennes du nombre total de feuilles sur la tige principale de chaque variété sur les 3 stations

Variété	Samanko	Cinzana	Bougouni
Sambalma (1)	27.3 ± 0.4		
Bahu Banza	27.5 ± 0.7	28.2 ± 1.1	26.3 ± 0.7
Sambalma (3)	27.2 ± 0.5	27.2 ± 0.8	24.9 ± 0.6
Zabuwa (4)	25.3 ± 0.4	25.5 ± 0.5	23.9 ± 0.4
Jardawa (5)	20.0 ± 0.6		
Jaddawa	25.1 ± 0.4	26.6 ± 0.5	23.8 ± 0.4
Mace da Kunya	25.7 ± 0.3	27.1 ± 0.5	23.5 ± 0.8
Fara-fara (8)	25.6 ± 0.4		23.1 ± 0.4
Gizo	27.5 ± 0.6	28.0 ± 0.7	24.5 ± 0.5
Zabuwa (10)	26.3 ± 0.6	27.3 ± 0.6	24.8 ± 0.5
Bahura	25.6 ± 0.4	27.6 ± 0.4	23.5 ± 0.5
Jardawa (12)	23.5 ± 0.6	23.3 ± 0.8	20.4 ± 0.6
Fara	21.0 ± 0.4	21.4 ± 0.7	18.7 ± 0.5
Yarfalgori	24.4 ± 0.5	26.6 ± 0.4	23.8 ± 0.4
Kabo	25.9 ± 0.6	27.3 ± 0.4	24.0 ± 0.5
Yarshemori	27.8 ± 0.6	27.9 ± 0.9	25.1 ± 0.5
SSV 20023	24.9 ± 0.3		23.4 ± 0.4
Fara Fara (18)	24.4 ± 0.6	26.7 ± 0.7	23.4 ± 0.5
IS 30804ca	26.1 ± 0.4	27.2 ± 0.4	25.1 ± 0.4
IS 6731bf	22.7 ± 0.6	24.9 ± 0.4	22.5 ± 0.5
FambeB	22.0 ± 0.3	22.9 ± 0.5	19.9 ± 0.4
GP 271-20	24.8 ± 0.5	25.6 ± 0.5	23.9 ± 0.6
97-SB-F5DT-150 B	22.1 ± 0.5	23.0 ± 0.4	21.8 ± 0.6
02-SB-F5DT-12 B	22.4 ± 0.6	22.9 ± 0.3	23.0 ± 1.1
02PR-3009K B	19.5 ± 0.5	21.0 ± 0.4	20.6 ± 0.6
CLO B	15.2 ± 0.2	15.4 ± 0.3	14.1 ± 0.4
00-KO-F5DT-19	23.3 ± 0.4	23.8 ± 0.5	23.4 ± 0.7
99-SB-F5DT-189	20.9 ± 0.4	22.4 ± 0.5	19.9 ± 0.6
S29	21.0 ± 0.3	21.4 ± 0.8	20.0 ± 0.6
Pougyalm-bangdo	20.3 ± 0.5	21.0 ± 0.5	18.8 ± 0.4
S35	18.8 ± 0.4		19.6 ± 0.6
CSM388	23.7 ± 0.4	24.4 ± 0.4	21.7 ± 0.5
Farafara 17	26.3 ± 0.5	26.6 ± 0.6	25.0 ± 0.3
Kaura D12	26.5 ± 0.6	28.3 ± 0.7	24.3 ± 0.6
Short Kaura	30.0 ± 0.6	31.5 ± 0.6	28.3 ± 0.6
CSM 335	23.6 ± 0.4	24.3 ± 0.4	23.0 ± 0.5
GP 27120X IS6731			24.0 ± 0.6
CSM 63E		19.2 ± 0.4	

**Fig. 5** : Relation entre le nombre total de feuilles sur la tige principale à Samanko et sur les 2 autres stations.

3. Nombre total de feuilles de la tige principale

Le nombre total de feuilles émis par la tige principale a été significativement différents pour une même variété sur les 3 stations (Tableau 5 et Fig. 5). En moyenne, les plantes ont émis une feuille de plus à Cinzana qu'à Samanko, ce qui est en accord avec la durée plus longue de la phase végétative (Fig. 2), probablement en partie compensée par le développement un plus lent (Fig. 4a). Les plantes ont produit 1,3 feuille de moins à Bougouni qu'à Samanko. La différence a augmenté avec la durée du cycle végétatif en raison de la durée plus longue du phyllochrone, et donc du plastochrone, sur cette station (Fig. 4a).

Tableau 6 : Taux de croissance en hauteur des tiges principales pendant la montaison (cm.°C⁻¹)

Variété	Samanko	Cinzana	Bougouni
Sambalma (1)	0.47 ± 0.01	0.39 ± 0.02	0.30 ± 0.05
Bahu Banza	0.24 ±	0.37 ± 0.01	0.23 ± 0.03
Sambalma (3)	0.32 ± 0.01		±
Zabuwa (4)	0.48 ± 0.01	0.40 ± 0.00	0.39 ± 0.00
Jardawa (5)	0.62 ± 0.05		±
Jaddawa	0.49 ± 0.01	0.49 ± 0.02	0.40 ± 0.02
Mace da Kunya	0.35 ± 0.01	0.38 ±	0.22 ± 0.01
Fara-fara (8)	0.49 ± 0.02		0.38 ± 0.02
Gizo	0.37 ± 0.01	0.40 ± 0.02	0.25 ± 0.02
Zabuwa (10)	0.50 ± 0.02	0.46 ± 0.02	0.37 ± -0.01
Bahura	0.50 ± 0.02	0.47 ± 0.02	0.32 ± 0.04
Jardawa (12)	0.67 ± 0.10	0.54 ± 0.03	0.48 ± 0.03
Fara	0.73 ± 0.04	0.60 ± 0.04	0.46 ± 0.05
Yarfalgori	0.36 ±	0.43 ± 0.01	0.34 ± 0.02
Kabo	0.50 ± 0.02	0.46 ± 0.02	0.40 ± 0.02
Yarshemori	0.34 ± 0.02	0.40 ± 0.01	0.31 ± 0.03
SSV 20023	0.43 ± 0.01		0.31 ± 0.02
Fara Fara (18)	0.35 ± 0.02	0.43 ± 0.01	0.32 ± 0.32
IS 30804ca	0.35 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.32 ± 0.01
IS 6731bf	0.37 ± 0.01	0.45 ± 0.01	0.34 ±
FambeB	0.56 ± 0.02	0.49 ± 0.02	0.36 ±
GP 271-20	0.24 ± 0.01	0.28 ± 0.00	0.19 ± 0.00
97-SB-F5DT-150 B	0.13 ± 0.00	0.15 ± 0.01	0.12 ± 0.01
02PR-3009K B	0.17 ± 0.02	0.39 ± 0.02	0.14 ±
02-SB-F5DT-12 B	0.12 ± 0.01	0.15 ± 0.00	0.10 ± 0.01
CLO B	0.32 ± 0.07	0.44 ± 0.05	0.12 ± 0.01
00-KO-F5DT-19	0.21 ± 0.01	0.31 ± 0.01	0.15 ± 0.00
99-SB-F5DT-189	0.56 ± 0.03	0.62 ± 0.03	0.36 ± 0.02
S29	0.46 ± 0.04	0.46 ± 0.03	0.37 ± 0.02
Pougyalm-bangdo	0.51 ± 0.03	0.53 ± 0.03	0.40 ±
S35	0.29 ±		0.28 ± 0.06
CSM388	0.51 ± 0.02	0.53 ± 0.00	0.46 ± 0.00
Farafara 17	0.36 ± 0.01	0.34 ± 0.01	0.31 ± 0.01
Kaura D12	0.39 ±	0.41 ± 0.01	0.28 ± 0.07
Short Kaura	0.16 ± 0.01	0.21 ± 0.00	0.14 ± 0.01
CSM 335	0.48 ± 0.02	0.47 ± 0.01	0.48 ± 0.02
CSM 63E		0.52 ± 0.03	
GP 27120X IS6731			0.45 ±

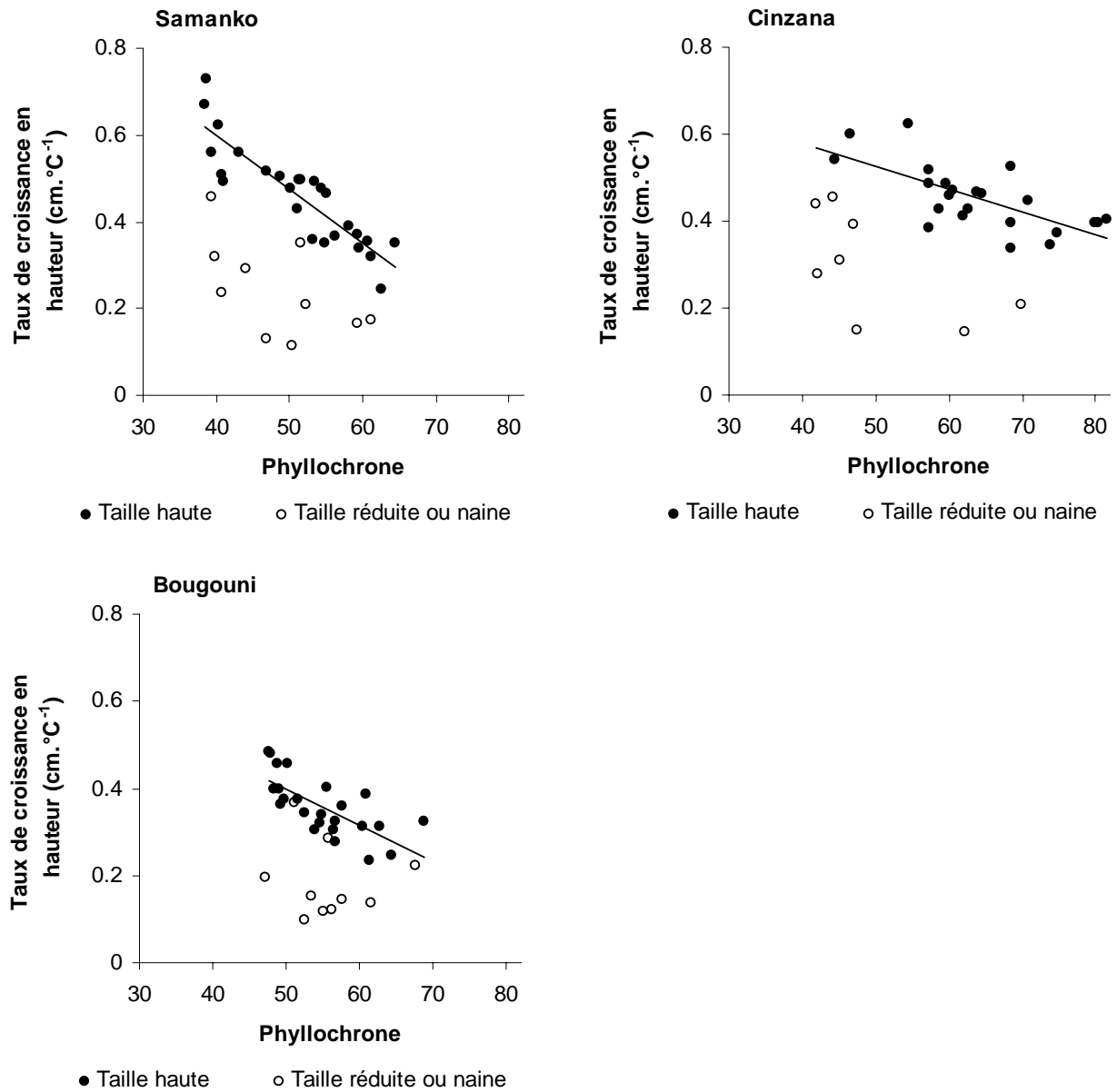


Fig. 6 : Relation entre le taux de croissance en hauteur des tiges et le phyllochrone pendant la montaison pour les 3 variétés.

4. Vitesse de montaison et relation avec la vitesse de développement

La vitesse de croissance en hauteur a été stable pendant toute la montaison pour l'ensemble des variétés sur les 3 stations (Tableau 6).

Ces vitesses ont été proches sur à Samanko et Cinzana mais bien inférieures à Bougouni (Fig. 6). Sur les 3 stations la vitesse de croissance en hauteur pendant la montaison, qui reflète exactement la vitesse d'élongation de la tige, a été corrélée négativement avec le phyllochrone en cours (phyllochrone secondaire si défini, primaire sinon) pour les variétés hautes dont la taille d'entre-nœud est supérieure ou égale à 20 cm. Cet effet est logique en raison de la synchronisation du début de la croissance de chaque entre-nœud avec la fin de l'élongation de la feuille de son phytomère : un ralentissement de la cinétique de développement des feuilles entraîne directement un retard du début de croissance des entre-nœuds. Et par voie de conséquence, les variétés les plus tardives qui ont les phyllochrones secondaires les plus longs ont les vitesses de croissance en hauteur les plus lentes. C'est la confirmation sur un nombre important de variétés d'une conséquence du photopériodisme montrée auparavant sur 3 variétés.

Tableau 7 : Rendements, composantes du rendement et matrice des corrélations pour l'essai de Samanko

Variété	Densité finale (pl.m ⁻²)	Tallage final (talle/pl)	Rendement biomasse (t/ha)	Rendement grain (t/ha)	Indice de récolte (%)	Nombre grains par panicule	Poids d'un grain (mg)
Sambalma (1)	6.7	0.2	19.5	1.9	10	1016	28.3
Bahu Banza	6.5	0.0	12.6	0.3	3	206	17.0
Sambalma (3)	6.5	0.3	16.2	0.1	1	50	21.5
Zabuwa (10)	6.3	0.2	18.2	2.9	16	1354	25.4
Jardawa (12)	6.5	0.0	15.5	3.4	23	2147	21.4
Jaddawa	6.7	0.1	15.9	3.0	19	1580	22.2
Mace da Kunya	6.5	0.0	13.9	3.5	25	1995	31.7
Fara-fara (8)	6.5	0.5	18.5	3.3	17	1346	24.8
Gizo	6.6	0.1	15.0	0.3	3	268	23.6
Zabuwa (4)	6.4	0.2	17.8	2.9	16	1614	24.9
Bahura	6.0	0.1	16.4	2.4	14	1376	24.5
Jardawa (5)	6.5	0.3	11.7	2.8	24	1210	25.0
Fara	6.6	0.2	15.0	3.7	24	1453	25.4
Yarfalgori	6.9	0.0	17.6	3.3	19	1673	24.1
Kabo	6.5	0.2	15.4	2.8	18	1416	24.6
Yarshemori	6.5	0.2	15.5	0.6	3	348	22.1
SSV 20023	6.5	0.0	15.8	3.3	20	1914	27.9
Fara Fara (18)	6.5	0.0	13.8	2.3	17	1326	23.1
IS 30804ca	6.5	0.0	16.7	2.6	16	1275	30.3
IS 6731bf	6.6	0.0	11.3	2.2	19	1750	20.3
FambéB	6.6	0.3	11.5	2.8	25	1468	21.0
GP 271-20	6.5	0.1	7.7	1.9	23	1703	15.2
97-SB-F5DT-150 B	6.3	0.0	6.6	1.9	25	1849	15.7
02-SB-F5DT-12 B	6.5	0.0	5.7	1.3	25	1039	18.4
02PR-3009K B	6.2	0.0	7.9	2.5	33	2335	13.8
CLO B	6.5	0.1	5.7	1.8	33	1199	20.0
00-KO-F5DT-19	6.3	0.0	9.7	3.0	32	2648	14.9
99-SB-F5DT-189	6.6	0.2	12.0	2.1	18	1473	18.9
S29	6.7	0.1	10.6	2.2	21	1061	22.7
Pougyalm-bangdo	6.6	0.5	11.9	2.8	24	1011	22.3
S35	6.3	0.0	8.4	2.7	31	1814	28.7
CSM388	6.6	0.1	12.6	2.9	23	1756	21.9
Farafara 17	6.6	0.0	16.1	1.6	10	962	27.9
Kaura D12	6.4	0.2	15.5	1.5	9	921	23.1
Short Kaura	6.6	0.0	10.0	0.0	0	69	11.5
CSM 335	6.5	0.2	17.1	3.8	23	1778	20.5
Moyenne	6.5	0.1	13.4	2.3	18	1345	22.4
Erreur standard	0.1	0.1	1.3	0.3	2	246	
ppds	0.3	0.2	2.6	0.6	4	493	
AOV : variété	ns	***	***	***	***	***	

	rdt_grain	rdt_BM	nb_gr_pan	date_FD	densite_fin	tallage_fin	hi	P100gr
rdt_grain	1.00							
rdt_BM	0.22	1.00						
nb_gr_pan	0.81 ***	-0.15	1.00					
date_FD	-0.46 **	0.47 **	-0.39 **	1.00				
densite_fin	-0.04	0.14	-0.25	-0.07	1.00			
tallage_fin	0.12	0.32 *	-0.25	-0.18	0.12	1.00		
hi	0.70	-0.50 ***	0.82 ***	-0.76 ***	-0.18	-0.09	1.00	
P100gr	0.39	0.60 ***	0.03	0.01	0.07	0.15	-0.05	1.00

Tableau 8 : Rendements, composantes du rendement et matrice des corrélations pour l'essai de Cinzana

Variété	Densité finale (pl.m ⁻²)	Tallage finale (talle/pl)	Rendement biomasse (t/ha)	Rendement grain (t/ha)	Indice de récolte (%)	Nombre de grains par panicule
Zabuwa (4)	6.6	0.3	17.9	3.0	16.7	1322
Jaddawa	6.6	0.7	12.1	1.2	10.8	1033
Mace da Kunya	6.3	0.1	12.8	3.3	24.9	1799
Fara-fara (8)	6.4	0.4	15.0	1.9	12.6	929
Zabuwa (10)	6.5	0.5	18.3	3.2	18.1	1591
Bahura	6.7	0.4	15.5	2.1	14.0	1093
Jardawa (12)	6.5	0.4	14.5	3.6	25.0	2175
Fara	6.5	0.2	11.2	2.7	24.7	1168
Yarfalgori	6.4	0.4	17.6	3.0	16.6	1524
Kabo	6.4	0.5	16.4	2.5	15.1	1275
IS 30804ca	6.6	0.3	14.6	1.7	12.1	888
IS 6731bf	6.4	0.1	15.3	3.0	19.6	2025
FambéB	6.4	0.5	14.7	3.4	23.4	1486
GP 271-20	6.3	0.8	11.9	3.0	25.0	2007
97-SB-F5DT-150 B	6.6	0.1	12.7	3.2	25.8	2527
02PR-3009K B	6.6	0.2	9.0	2.6	30.0	1932
02-SB-F5DT-12 B	6.4	0.3	11.5	3.6	32.9	3050
CLO B	6.6	1.0	7.0	1.9	26.3	705
00-KO-F5DT-19	6.4	0.3	12.5	4.3	33.0	3413
99-SB-F5DT-189	6.4	1.0	16.3	3.2	20.4	1563
S29	6.6	0.9	13.3	2.5	18.9	1132
Pougyalm-bangdo	6.5	1.2	13.9	3.8	27.4	1352
CSM388	6.6	0.7	16.0	3.4	20.9	1526
Farafara 17	6.5	0.1	16.7	1.5	10.5	928
Kaura D12	6.7	0.3	12.0	0.9	9.0	667
CSM 335	6.6	0.5	19.9	4.1	19.8	1797
CSM 63E	6.7	0.5	17.0	3.7	22.3	1656
Moyenne	6.5	0.5	14.3	2.8	20.6	1576
Ecart-type	0.1	0.2	1.4	0.4	1.9	248
ppds	0.2	0.4	2.8	0.8	3.9	515
AOV. Variété	ns	*	***	***	***	***

	rdt_grain	rdt_BM	nb_gr_pan	FD	densite_fin	tallage_fin	hi
rdt_grain	1.00						
rdt_BM	0.27	1.00					
nb_gr_pan	0.74 ***	-0.07	1.00				
FD	-0.38 *	0.52 **	-0.28	1.00			
densite_fin	-0.36	-0.02	-0.43 *	-0.07	1.00		
tallage_fin	0.09	-0.05	-0.26	-0.39 *	0.13	1.00	
hi	0.72 ***	-0.45 *	0.74 ***	-0.72 ***	-0.31	0.07	1.00

Tableau 9 : Rendements, composantes du rendement et matrice des corrélations pour l'essai de Bougouni

Variété	Densité finale (pl.m ⁻²)	Tallage finale (talle/pl)	Rendement biomasse (t/ha)	Rendement grain (t/ha)	Indice de récolte (%)	Nombre de grains par panicule
Sambalma	6.7	0.0	10.9	2.0	16.8	1444
Zabuwa	5.9	0.3	10.7	2.1	19.4	1438
Mace da Kunya	5.9	0.0	7.5	1.7	23.0	1202
Fara-fara	6.5	0.3	9.8	1.9	18.8	1407
Zabuwa	6.3	0.1	10.9	2.3	21.6	1600
Jardawa	6.6	0.0	7.2	1.5	20.6	1094
Fara	6.6	0.3	7.3	1.7	22.9	932
Yarfalgori	6.3	0.3	10.1	1.9	18.9	1441
SSV 20023	6.3	0.0	9.0	2.0	23.0	1275
Fara Fara	6.3	0.0	7.9	1.7	21.8	1352
IS 6731bf	6.4	0.1	9.1	1.7	19.1	1662
FambéB	6.4	0.3	7.0	1.9	27.2	1486
GP 271-20	5.8	0.2	5.1	1.2	24.0	1607
97-SB-F5DT-150 B	6.0	0.0	6.1	1.7	26.6	1954
02-SB-F5DT-12 B	6.0	0.0	4.4	1.2	26.1	1098
02PR-3009K B	5.0	0.1	5.6	2.0	35.5	3381
CLO B	5.4	0.6	4.5	1.6	34.5	816
00-KO-F5DT-19	5.6	0.0	6.6	2.2	34.9	2960
99-SB-F5DT-189	6.0	0.2	5.7	1.1	19.8	1077
S29	6.3	0.4	5.7	1.0	19.7	767
Pougyalm-bangdo	5.9	0.5	7.0	1.5	22.5	1076
S35	6.4	0.0	6.3	1.9	28.0	1142
CSM388	6.6	0.2	9.0	2.1	24.1	1305
Farafara 17	6.3	0.0	11.6	1.6	13.4	1391
CSM 335	6.8	0.5	11.5	2.4	21.1	1530
Moyenne	6.2	0.2	7.9	1.8	23.3	1458
Ecart-type	0.3	0.1	1.0	0.2	1.8	246
ppds	0.6	0.2	2.1	0.5	3.7	493
AOV. Variété	**	***	***	**	***	***

	rdt_grain	rdt_BM	nb_gr_pan	FD	densite_fin	tallage_fin	hi			
rdt_grain	1.00									
rdt_BM	0.63	***	1.00							
nb_gr_pan	0.43	*	-0.01	1.00						
FD	0.35	0.55	**	0.46	*	1.00				
densite_fin	0.20	0.56	**	-0.52	**	0.00	1.00			
tallage_fin	-0.04	-0.05	-0.33	-0.59	***	-0.05	1.00			
hi	0.13	-0.66	***	0.49	*	-0.32	-0.66	***	0.06	1.00

5. Rendements, composantes du rendement et corrélations

Les rendements moyens en biomasse ont été élevés, avec des différences significatives entre variétés, à Samanko (13,4 t/ha) et Cinzana (4,3 t/ha), mais faibles à Bougouni (7,9 t/ha) en raison de la mauvaise fertilité du terrain utilisé (Tableaux 7, 8 et 9).

Les rendements en grain ont été plus élevés à Cinzana (2,8 t/ha) sur un nombre moindre de variétés puisque les variétés tardives n'ont pas pu être récoltées, qu'à Samanko (2,3 t/ha) et Bougouni (1,8 t/ha). Des différences significatives existent entre variétés pour le rendement en grain. La gamme des rendements en grain a été plus large à Samanko (0-3,8 t/ha) et Cinzana (0,9-4,3 t/ha) qu'à Bougouni (1,0-2,4 t/ha). Le témoin CSM 335 a été la plus productive à Samanko et Bougouni et la deuxième à Cinzana. Les variétés du Nigéria n'ont pas montré de supériorité particulière pour le rendement en grain. Certaines d'entre-elles ont un bon potentiel de rendement en grain dans les conditions du Mali, Yarfalgori et Mace da Kunya en particulier. Il en va de même pour SSV 20023.

Les indices de récolte moyens ont été plus élevés à Bougouni (23,3%) qu'à Cinzana (20,6%) et Samanko (18%). Les densités finales ont été peu variables et proches de la densité de semis à Samanko et Cinzana ($6,5 \text{ pl.m}^{-2}$) et un peu plus faibles avec des différences significatives entre variétés ($6,2 \text{ pl.m}^{-2}$) à Bougouni ou la levée a été moins bonne à cause du terrain. Le tallage a été généralement faible mais quelques variétés ont significativement tallé plus sur les 3 stations, CLO B et Pougyalm-bangdo en particulier. Enfin le nombre de grains par panicule a significativement varié avec la variété sur les 3 stations.

Dans les 3 stations le rendement en grain a été significativement corrélé positivement avec le nombre de grain par panicule. A Samanko et Cinzana, le rendement en grain a été corrélé négativement avec la date de la feuille-drapeau (donc la durée du cycle). Cette corrélation est moindre à Cinzana où les variétés les plus tardives n'ont pas été récoltées. Elle est en effet principalement due au très faible rendement des variétés les plus tardives.

A Bougouni, le rendement en grain a été corrélé avec la production de biomasse totale : dans les conditions de faible fertilité ce sont les variétés qui ont eu la meilleure croissance végétative qui ont produit le plus de grain. C'est pourquoi sur cette station la relation du rendement en grain avec la date de feuille-drapeau a été positive, puisque sur les 3 stations la production de biomasse a été positivement corrélée avec la durée du cycle.

A Cinzana et Bougouni, l'indice de récolte (HI) a été corrélé négativement avec la durée de cycle, en raison avec l'augmentation de la biomasse totale produite quand le cycle s'allonge.

Conclusion

Les témoins locaux CSM 335 et pour Cinzana CSM 63E ont été les variétés les plus productives de la collection testée. Les variétés du Nigéria n'ont pas d'avantage spécifique pour le rendement en grain. Le nombre de grains par panicule et la date de la feuille-drapeau ont été les composantes du rendement les plus fortement corrélées au rendement en grain lorsqu'il a été suffisamment variable.

La variation de latitude semble avoir provoqué un allongement homogène de la phase végétative sensu-stricto (de la levée à l'initiation paniculaire), avec production d'un plus grand nombre de feuilles à Cinzana par rapport à Samanko alors que les autres paramètres du développement ont été identiques. La phase levée-floraison a aussi été allongée à Bougouni mais cette fois avec un moins grand nombre de feuilles produites. La raison en est l'important allongement des phyllochrones primaires peut-être provoqué par les conditions de faible fertilité de sol.