

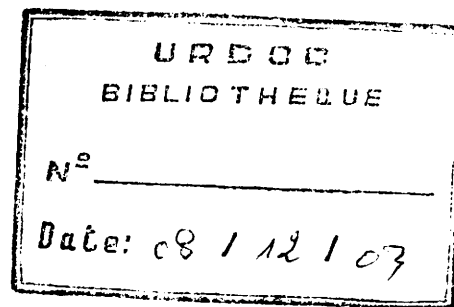
Ecophysiologie du sorgho

Rapport de campagne d'hivernage 2000

B. Clerget, M. Sidibe, I. Diallo, S. Braconnier, B. Sarr

Projet de recherche ICRISAT/CIRAD/CERAAS

B00
1616



Ecophysiologie du sorgho

Rapport de campagne d'hivernage 2000

B. Clerget, M. Sidibe, I. Diallo, S. Braconnier, B. Sarr

Bamako, Mali. Juillet 2001

Introduction

Ce projet d'étude de l'écophysiologie du sorgho a été discuté et élaboré par le CIRAD et l'ICRISAT entre juillet 1999 et Mai 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 zone de production cotonnière en particulier. Il intéresse plusieurs équipes de sélection, d'agronomie, d'agro-météorologie et de technologie à l'IER (Mali), à l'ICRISAT, au CERAAS (Sénégal) et au CIRAD.

Au Mali, cette première campagne, longuement préparée, a été semée dans l'urgence à partir du 5 juillet 2000, mais dans de bonnes conditions et à la bonne date grâce à l'appui de toute l'équipe ICRISAT-Mali. B. Clerget, chercheur du CIRAD en charge de ce projet, n'était arrivé à Bamako que le 5 juin. Ibrehima Diallo, étudiant à l'IPR de Katibougou a joint ses forces à l'équipe le 1^{er} juillet pour effectuer son stage de fin d'études. Mamourou Sidibe a complété l'effectif lorsqu'il a été recruté comme technicien le 1^{er} août.

Au Sénégal, le dispositif était mieux rôdé, puisqu'une première expérience avait été conduite par B. Clerget en 1999. Serge Braconnier et Benoît Sarr ont eu la responsabilité de l'essai, avec l'appui de l'équipe du CERAAS à Bambey.

Les essais sont présentés et analysés séparément dans ce rapport. Cela permet de conserver dans un document l'ensemble des informations qui ont été recueillies. Elles servent de base aux réflexions en cours sur les modifications à apporter aux modèles de simulation de croissance du sorgho pour les adapter au guinea et plus largement à la prise en compte de la forte réponse photopériodique des variétés cultivées en Afrique de l'Ouest. Une synthèse des principales conclusions est proposée dans la conclusion.

Matériel et méthodes

Trois essais ont été semés à la station de Samanko, Mali (12°32N, 8°04W). Un hectare de terrain a été labouré le 20 juin. Les analyses texturales et chimiques sont reportées au tableau 1. Le 24 juin 100 kg de SSP, 100 kg de KCl et 100 kg de DAP ont été épandus mécaniquement puis enfouis. Le billonage a été effectué le même jour, avec un écartement de 0.75 m. Un premier semis manuel à 3 grains par poquet a été effectué du 5 au 8 juillet. Les premières plantules ont émergé le 9 juillet, le démariage à un plant par poquet a eu lieu le 24 juillet. Trois sarclages manuels ont été effectués les 28 juillet, 7 août et 21 août et un buttage avec des bœufs le 10 août. Deux applications de 100 kg/ha d'urée à la ligne ont été faites les 28 juillet et 21 août. La récolte a eu lieu entre le 23 octobre et le 13 décembre. Un deuxième semis a été effectué le 11 août, levée le 15, démariage le 28 août, sarclage et fertilisation avec 100 kg/ha d'urée les 29 août et 25 septembre, récolte entre le 4 et le 13 décembre.

A la récolte, deux lignes ont été mesurées dans chaque parcelle. Le nombre de plants et le nombre de panicules étaient comptés puis les masses fraîches de tiges+feuilles et de panicules étaient pesées. Un échantillon de 10 plantes successives était préalablement isolé de l'une des lignes, traité comme précédemment, puis mis à sécher afin de déterminer les masses sèches de tige, feuille et grain, et mesurer les hauteurs d'entre-nœuds et le nombre de nœuds et de branches paniculaires.

Tableau 1 : Analyses texturales et chimiques du sol de la parcelle d'essai de Samanko

Classification (française) : Sol ferrugineux tropical lessivé

a) Etude pédologique de 1988 :

Prof (cm)	Argile	limon	sable	texture	C%	N%	C/N	pH H ₂ O	PH KCl	OM%
0-20	7.8	33.1	59.5	LS	0.2	0.03	6.6	5.2	4.4	0.39
20-70	23.6	39.9	37.5	L	0.18	0.03	5.1	5.3	3.8	0.31
70-120	29.7	42.7	27.6	LA	0.12	0.03	3	5.1	3.7	0.2

b) Analyses chimiques de Juin 2000

Prof (cm)	pH-H ₂ O (1:2.5)	H ⁺ cmol+/Kg	Al ³⁺ cmol+/Kg	Na ⁺ cmol+/Kg	K ⁺ cmol+/Kg	Ca ²⁺ cmol+/Kg	Mg ²⁺ cmol+/Kg	CEC-Ag cmol+/Kg	Bray P1 mg-P/Kg	C Org. % C.O	Total N mg-N/Kg
0-20	4.5	0.11	0.07	0.07	0.21	0.92	0.38	1.9	2.72	0.37	311
20-40	4.6	0.12	0.08	0.08	0.13	1.48	0.60	2.9	1.02	0.30	284

Six tubes de 1.50 m ont été implantés le 24 juin, afin de permettre le suivi de l'humidité du sol par mesures neutroniques. Deux échantillonnages gravimétriques ont été effectués le long des tubes, à la pose et le 21 septembre, pour tracer la courbe de calibration. Les données météorologiques ont été enregistrées automatiquement (Centrale Campbell 21X) au pas de temps horaire, à partir du 1^{er} juillet. La station était située à environ 500 m de la parcelle d'essai.

Un quatrième essai a été conduit sur la station de Bambey, Sénégal (14°42N, 16°28W) par l'équipe du CERAAS (Centre d'Etudes Régionales pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse) de Thiès. Cette station dispose d'un équipement d'irrigation précis, favorable à l'étude de l'effet des déficits hydriques. Les caractéristiques de sol sont disponibles dans un précédent rapport (Clerget, 1999). L'essai a été semé le 26 juin et récolté entre le 22 octobre et le 9 novembre.

Trois variétés avaient été retenues pour cette étude et ont été utilisées dans tous les essais. Elles avaient été choisies dans le but de disposer de couples contrastés pour les caractères de sensibilité à la photopériode, de hauteur de tige et d'origine génétique (guinea/caudatum). Elles devaient aussi être bien adaptées à la zone d'étude. CSM 335 est un écotype malien, de type guinea, très sensible à la photopériode, haut et à fort tallage. Sariaso 10 est une variété améliorée de type caudatum, moins sensible à la photopériode, semi-naine. IRAT 174 est aussi une variété améliorée de type caudatum, très sensible à la photopériode et naine.

1- Essai variétés x dates de semis. Samanko, Mali.

Les 3 variétés de l'étude ont été semées à 2 dates, le 5 juillet et le 11 août, à une densité de 67000 plants/ha (0.75 x 0.20 m). Le dispositif était un split-plot à 3 répétitions, avec la date de semis en sous-blocs. Les parcelles élémentaires comportaient 15 lignes de 5 mètres. Chaque semaine la croissance phénologique était mesurée : hauteur, nombre de feuilles apparues, ligulées puis mortes sur chaque tige de 10 plantes marquées spécialement. Chaque quinzaine 3 plantes par parcelle étaient disséquées afin de déterminer le nombre de feuilles déjà émises par l'apex, ainsi que la date de l'initiation paniculaire. Avec la même périodicité, 10 plantes successives d'une ligne étaient prélevées pour déterminer les masses sèches par organe, ainsi que la surface et la masse spécifique de chaque étage foliaire.

2- Essai de validation 8 variétés x dates de semis. Samanko, Mali.

Cet essai était destiné à recueillir des données sur la croissance de variétés supplémentaires complétant la grille matricielle à 3 entrées qui définit l'étude (Tableau 2). On constate qu'il n'y pas de variété guinea non sensible à la photopériode et naine. Une lignée convertie aux USA aurait pu convenir, mais il n'y avait pas de semences disponibles.

Tableau 2 : Les huit variétés complétant la grille matricielle à 3 entrées

	GUINEA		CAUDATUM	
	Haut	Nain	Haut	Naian
PP-sensible	CSM 335, Nazongala	CGM 19/9-1-1	IS 15401	IRAT 174
Non PP-sensible	CSM 63E		Sariaso 10	ICHs 89002

Cet essai a fait l'objet d'un suivi moindre. En dehors des données de récolte, les dates de sortie de la feuille-drapeau, de floraison et de maturité, ainsi que le nombre de feuilles totales sur la tige principale ont été enregistrés.

3 - Essai variétés x densités x fertilisation azotée. Samanko, Mali.

Un essai comportant les 3 variétés de l'étude, 3 niveaux de densité : 33000, 67000 et 133000 plants/ha (0.75 x 0.40, 0.20 ou 0.10 m) et 2 niveaux de fertilisation azotée : 18 et 110 kg/ha N a été semé le 5 juillet. Le dispositif était un split-plot à 3 étages, fertilisation/densité/variétés, et à 3 répétitions. Les parcelles élémentaires comportaient 15 lignes de 5 mètres. Les tubes de suivi de l'humidité du sol ont été posés dans cet essai. La croissance phénologique a été mesurée sur 10 plantes par parcelle à 36, 53 et 84 JAL (jours après la levée). La croissance massique aérienne a été estimée sur une placette de 5 plantes successives pour chaque parcelle prélevé chaque quinzaine à partir de 30 JAL. La croissance massique racinaire a été

Tableau 3 : Durées de cycle, masses sèches récoltées et composantes du rendement pour les 3 variétés testées à densité moyenne, en fonction de la date de semis

Variété	date de semis	Date des événements (jours après levée)				MS aérienne (g/m²)	MS grain (g/m²)	Rapport grain/biomasse (%)	Densité finale (pl/m²)	Panicules / plante	Grains / panicule	Poids de grain (mg)
		Initiation paniculaire	Feuille-drapeau	Floraison	Maturité							
CSM 335	05-juil	41	68	81	123	1025	298	29.0	5.3	1.6	1567	22.4
	11-août	36	51	68	95	557	158	29.6	5.8	1.1	1107	23.3
Sariaso 10	05-juil	41	65	75	105	1030	314	30.5	6.4	1.1	1847	24.5
	11-août	36	57	74	112	451	64	15.0	5.9	0.9	637	20.4
IRAT 174	05-juil	53	68	79	117	746	305	40.9	5.5	1.0	2377	22.6
	11-août	36	50	62	101	437	160	38.4	6.0	1.0	1079	26.2
Etr						159	63	0.6	0.2	0.2	283	1.2
ppds						300	118	6.6	1.5	0.3	534	2.3

Tableau 4 : Données architecturales en fonction de la date de semis

Variété	date de semis	Durée des phases (jours)				Hauteur	Nombre de feuilles total	Nombre de nœuds paniculaires	Nombre de branches paniculaires
		Levée-initiation paniculaire	Initiation Paniculaire-Feuille drapeau	Feuille drapeau-floraison	Floraison-maturité				
CSM 335	05-juil	41	27	13	42	314	23	13	65
	11-août	36	15	17	27	228	18	13	57
Sariaso 10	05-juil	41	24	10	30	190	21	10	56
	11-août	36	21	17	38	139	18	10	49
IRAT 174	05-juil	53	15	11	38	117	24	10	79
	11-août	36	14	12	39	98	18	9	66
Etr				2	1	12	0	1	6
ppds				3	2	23	1	2	11

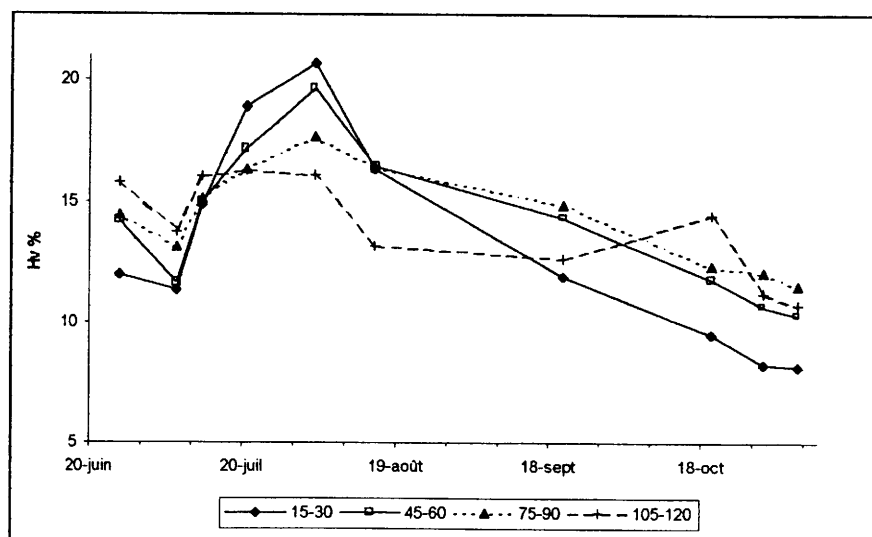


Fig. 1 : Evolution de l'humidité volumétrique du sol (%) dans la parcelle de Samanko entre le 23 Juin et le 6 Novembre 2000, pour 4 horizons entre 15 et 120 cm de profondeur

estimée à 44 et 84 JAL par prélèvement et lavage d'un monolithe de sol de base égale à la surface occupée par 3 plantes, dans les 18 parcelles cultivées à densité moyenne (67000 plants/ha).

4- Essai variétés x alimentation hydrique. Bambey, Sénégal.

Cet essai comportait les 2 variétés caudatum de l'étude et la variété de type guinea Nazongala en place de CSM 335, en raison du choix tardif de cette dernière pour le Mali. Il était prévu 3 régimes hydriques : satisfaction de l'évapo-transpiration maximale (ETM), déficit en début de cycle, déficit en fin de cycle. Un tube de 3 m pour le passage de la sonde à neutron a été posé dans chaque parcelle et l'humidité du sol a été mesurée chaque semaine. La croissance phénologique a été suivie chaque semaine sur 5 plants par parcelle à partir de 25 JAL et la croissance massique chaque quinzaine à partir de la levée. La longueur des feuilles de chaque tige a été mesurée sur 5 plants de chaque parcelle. La croissance massique racinaire a été estimée à 41, 73 et 101 JAL par prélèvement et lavage d'un monolithe de sol de base égale à la surface occupée par 1 plante, dans chacune des 27 parcelles.

Résultats et discussions

A Samanko, les fortes pluies de juillet et août ont provoqué un engorgement de la parcelle et des stagnations d'eau par places. La situation a pu être améliorée par le creusement d'un fossé de drainage. La pluviométrie de septembre a été faible, inférieure à 100 mm et la dernière pluie significative est tombée le 4 octobre.

A Bambey, la pluviométrie totale a été de 630 mm, bien supérieure à celle des dernières années. Pour cette raison il n'a pas été possible de provoquer de déficit hydrique en fin de cycle. Le déficit hydrique de début de cycle a été perturbé par de petites pluies d'environ 10 mm et n'a été maintenu que pendant une semaine (2 irrigations non appliquées).

1- Essai variétés x dates de semis. Samanko, Mali.

Cet essai a été plus particulièrement suivi par I. Diallo qui en a publié les résultats dans son mémoire de fin d'études (Diallo, 2000).

Le premier semis n'a pu être effectué que le 5 juillet en raison de l'arrivée tardive des premières pluies. Le 2^{ème} semis a été différé jusqu'au 11 août afin de créer deux situations réellement contrastées. La maturité est intervenue entre le 18 octobre et le 5 novembre pour le premier et entre le 14 novembre et le 1^{er} décembre pour le second. Le suivi hydrique conduit jusqu'au 6 novembre montre qu'à cette date la réserve utile du sol était en voie d'épuisement jusqu'à 30 cm et devait être de l'ordre de 50 à 70 mm dans l'horizon 30-120 cm colonisé par le sorgho (fig.1). L'assèchement de la surface interdisant l'évaporation, cette réserve permettait la maturation sans stress hydrique des sorghos semés en août pendant une vingtaine de jours en comptant une transpiration de l'ordre de 3 mm/jour, à condition que la profondeur d'enracinement soit effectivement de 120 cm. Cette estimation rapide corrobore l'absence de symptôme visuel de stress hydrique dans les parcelles concernées.

Les différences de comportement entre dates de semis n'ont donc pas eu pour origine un déficit d'alimentation hydrique. En revanche les conditions de fertilité de sol ont probablement été différentes. D'une part, l'azote minéralisé rapidement à la reprise des pluies était en cours de lixiviation lors du 2^{ème} semis. D'autre part Gigou (1997) a montré que le pH

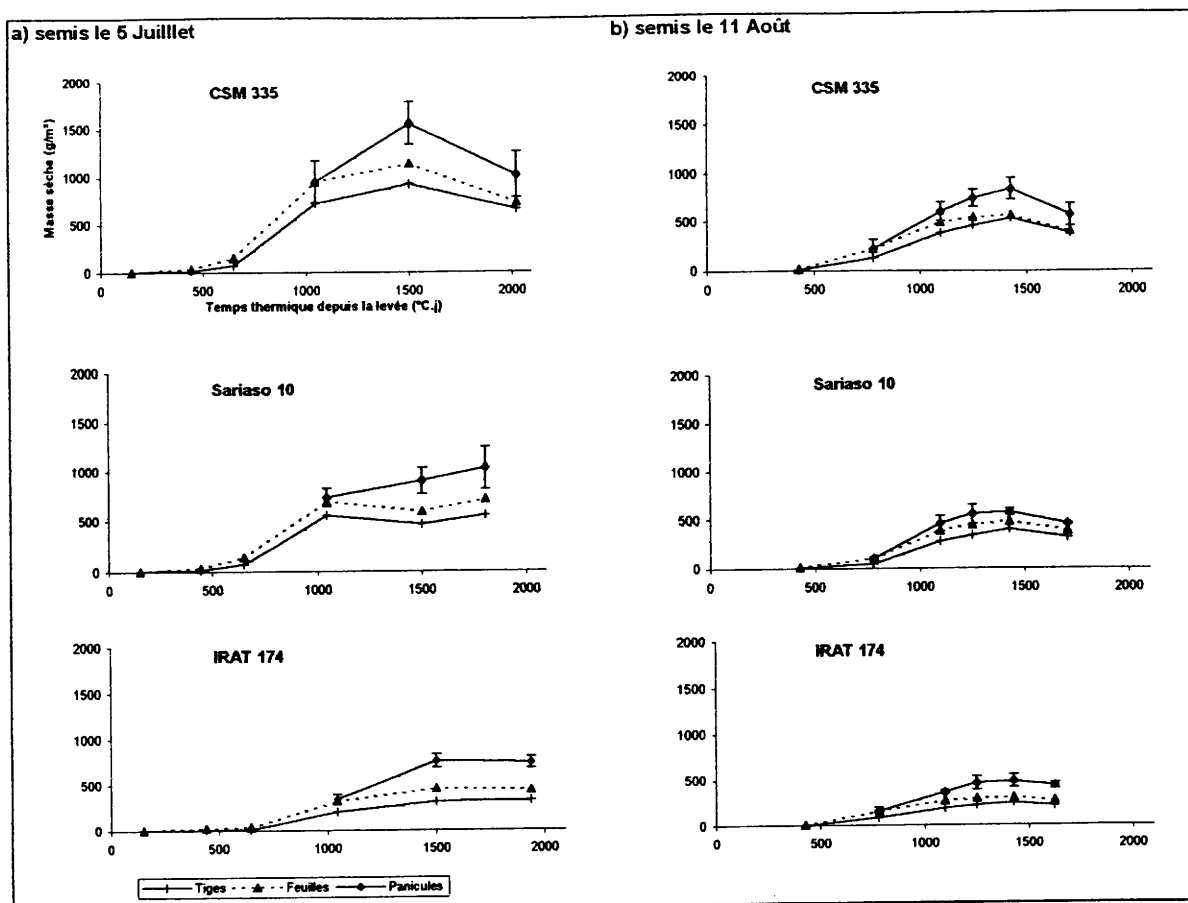


Fig. 2 : Croissance massique cumulée par organes pour les trois variétés en fonction de la date de semis. Les barres représentent les écart-types pour les chaque mesure de la matière sèche totale.

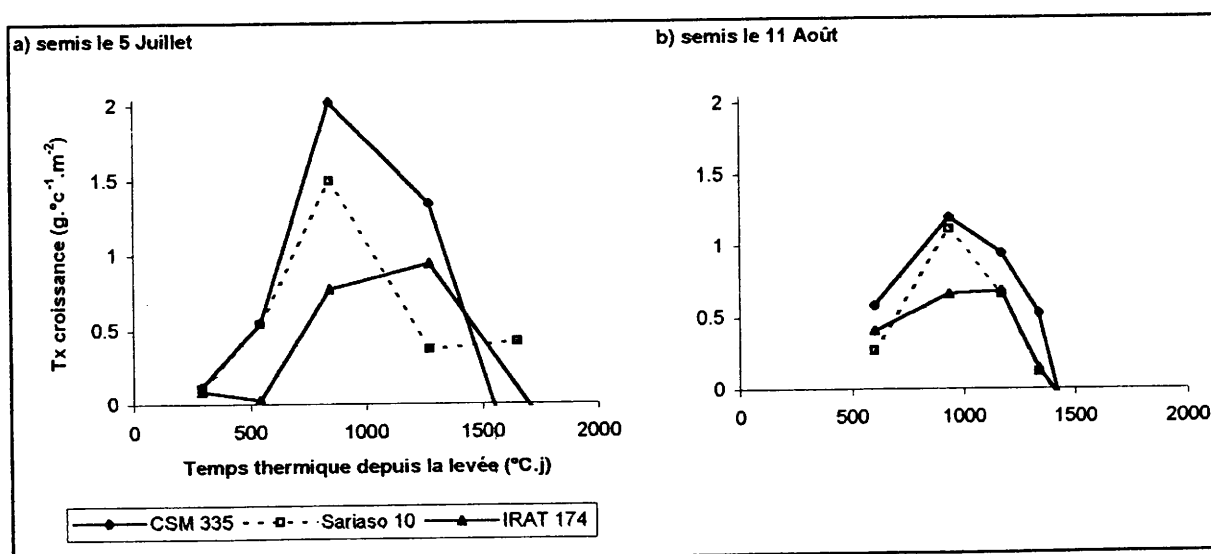


Fig. 3 : Evolution du taux de croissance massique pour les trois variétés en fonction de la date de semis

des sols ferrugineux déjà faible en début de campagne (≈ 5) pouvait descendre d'une unité au plus fort de la saison des pluies. Des pH compris entre 3.8 et 4.5 ont été effectivement mesurés dans les parcelles à la fin du mois d'août. Afin de compenser ce phénomène une dose de 50 kg/ha de gypse avait été apportée au poquet lors du 2^{ème} semis.

Ces variations de la fertilité du sol au cours de la saison font partie intégrante du système de culture du sorgho dans la région et doivent être prises en compte lors d'une étude sur le comportement en fonction de la date de semis. Elles ont interagi, sans qu'il soit possible de distinguer les effets respectifs de chaque facteur, avec les effets climatiques directs -température, RG et photopériode- sur le développement et la croissance des plantes. En conséquence, les conclusions sur la phénologie faites à l'issue de cet essai ne pourront donc pas être mises en relation de manière univoque avec les seules modifications climatiques engendrées par la modification de la date de semis. Il sera nécessaire d'essayer de séparer les effets sols des effets climatiques lors des prochaines expérimentations.

Pour le semis du 5 juillet, la production de biomasse a été de 10 t/ha pour CMS 335 et Sarioso 10, contre 7.5 t/ha pour IRAT 174, tandis que la production de grain était de 3 t/ha pour les 3 variétés (Tbl. 3). IRAT 174 montrait donc un rapport grain/biomasse de 40 % contre 30 % pour les 2 autres variétés, malheureusement associée à une moindre production de biomasse. La production totale de matière sèche a été faible, comparée au 24 t/ha atteintes à Bambey avec les mêmes variétés (cf infra) ou au 40 t/ha produits à Samaru, Nigeria (Goldsworthy, 1970). Certains facteurs limitants n'ont donc pas été levés au cours de cet essai. Ce point sera discuté au cours de l'analyse de l'essai densités x azote. On constate en premier lieu que le LAI est resté faible dans tous les essais conduits à Samanko, toujours inférieur à 4 (Fig. 8).

La production de biomasse a été réduite de moitié pour CSM 335 et Sarioso 10 semés au mois d'août, un peu moins pour IRAT 174. Mais tandis que la production était réduite dans des proportions équivalentes chez CSM 335 et IRAT 174, elle s'effondrait chez Sarioso 10 en raison principalement d'une forte réduction du nombre de grains par panicule. La diminution du nombre de grains par panicule a affecté les trois variétés avec une intensité variable. Elle a été moindre pour CSM 335 chez qui une autre composante du rendement, le tallage a été affectée antérieurement au cours du cycle. Elle a été la seule composante sensiblement affectée chez IRAT 174.

Cette diminution du nombre de grains n'est pas reliée à la durée de la phase initiation paniculaire-floraison pendant laquelle s'est constitué cette composante du rendement (Tbl. 4). Du premier au 2^{ème} semis cette durée a été réduite chez CSM 335, invariante pour IRAT 174 et allongée pour Sarioso 10. Le nombre de nœuds paniculaires a été peu affecté, il est légèrement inférieur chez IRAT 174 et le nombre de branches paniculaires a été réduit de 12 à 16 %, suivant les variétés. Les ramifications de premier ordre ont donc été en partie affectées. Il serait nécessaire de vérifier le comportement des ramifications d'ordre supérieur, afin de vérifier si la diminution du nombre de grains est la conséquence d'une diminution de la production d'épillets ou d'une augmentation du nombre d'avortements en début de phase de remplissage.

Le début de la phase de forte croissance massique est intervenu après l'initiation paniculaire (environ 600 °C.j, fig 4) pour les deux dates de semis (fig. 2). Les taux de croissance (fig. 3) ont été maximum pendant la montaison, achevée vers 1200 °C pour le semis du 5 juillet et 1000°C pour celui du 11 août (fig. 4b), et ont décliné très rapidement ensuite, pendant la phase de remplissage du grain. La LAI n'a pas diminué aussi tôt et avec une telle intensité. Il est probable que la taille du puit représenté par les panicules à ce moment n'était pas suffisante pour utiliser pleinement la capacité photosynthétique mise en place. Pour le semis du 11 août, les taux de croissance sont restés très faibles, même au cours de la montaison. Dans cette

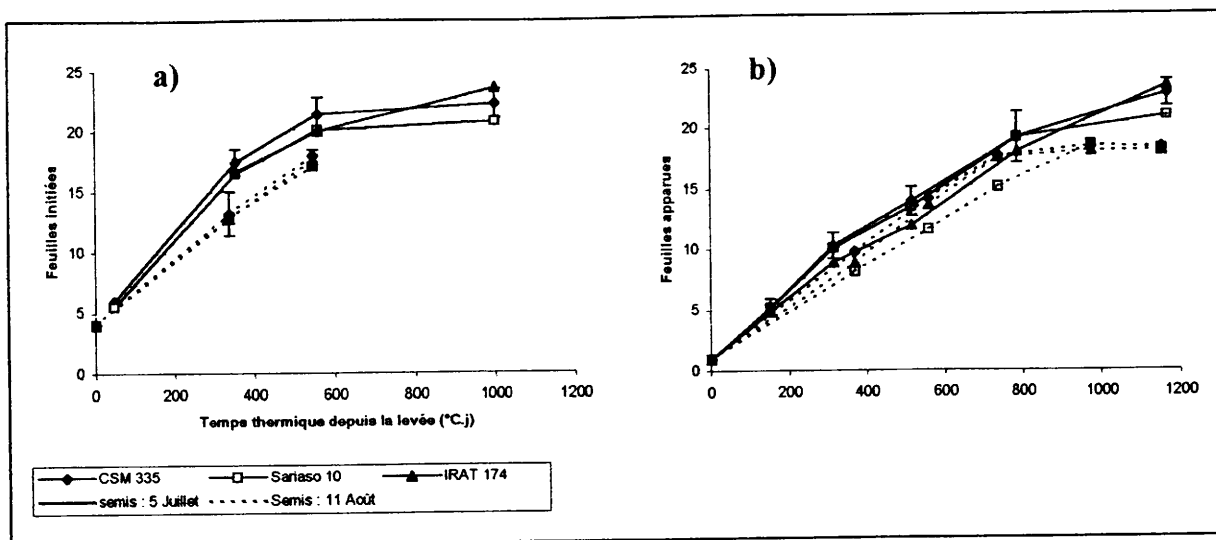


Fig. 4 : Rythmes d'initiation des feuilles par l'apex (a) et de leur apparition dans le cornet (b) pour les 3 variétés en fonction de la date de semis

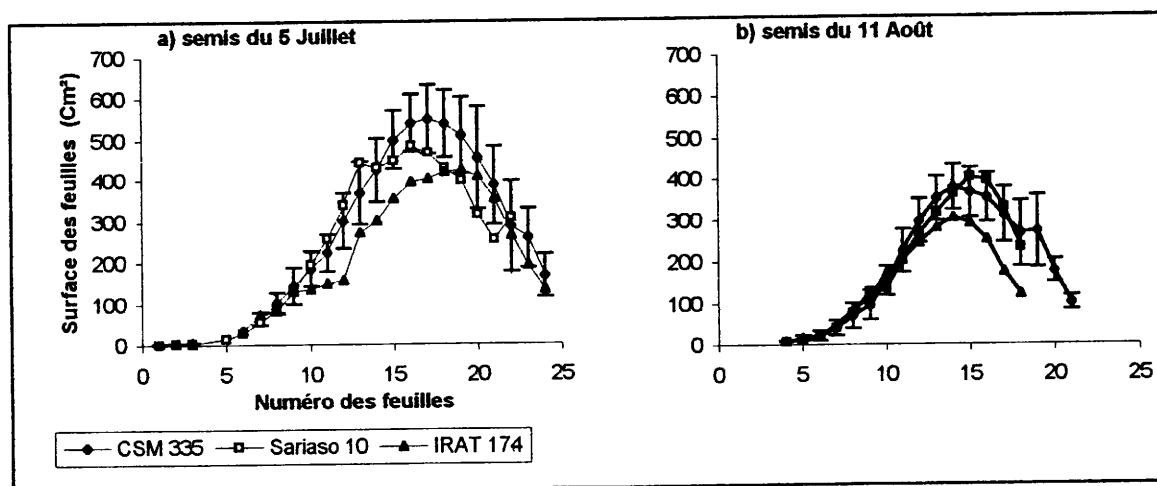


Fig. 5 : Surfaces moyennes des feuilles des tiges principales des trois variétés en fonction de la date de semis. Les écart-types sont représentés par des barres pour la variété CSM 335.

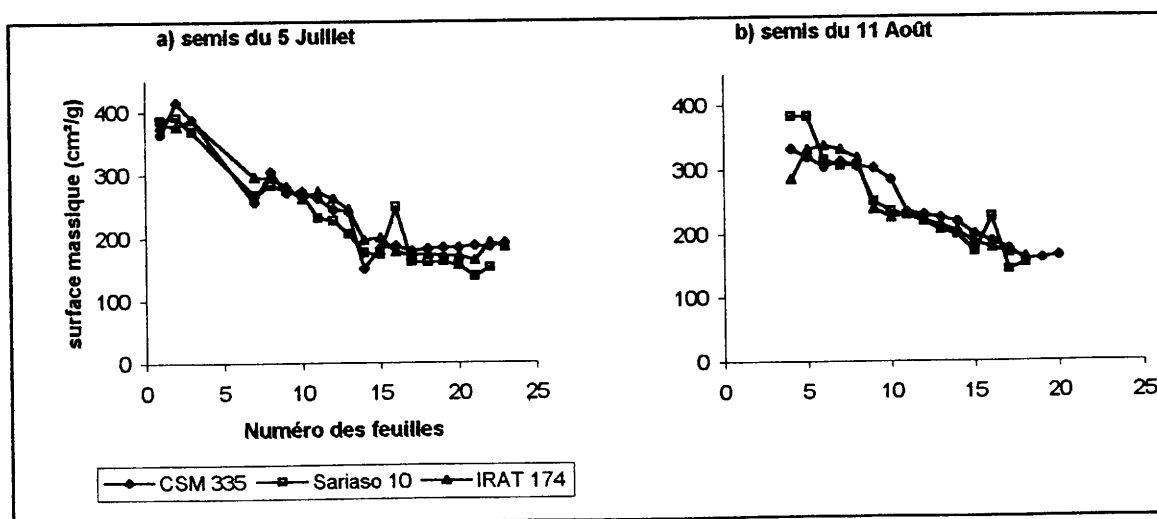


Fig. 6 : Surface massique de chaque étage foliaire pour les trois variétés en fonction de la date de semis

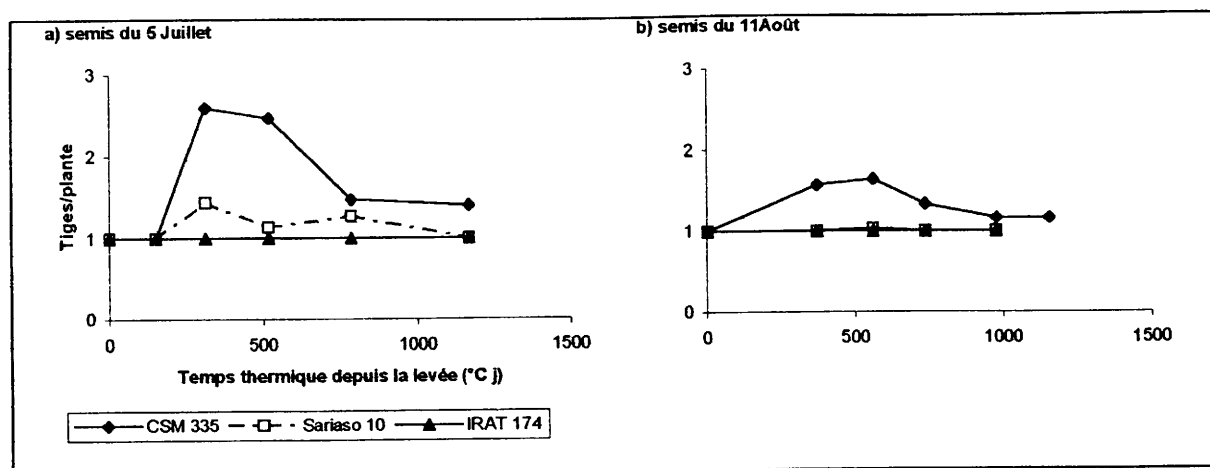


Fig. 7 : Evolution du tallage au cours de la culture pour les trois variétés en fonction de la date de semis

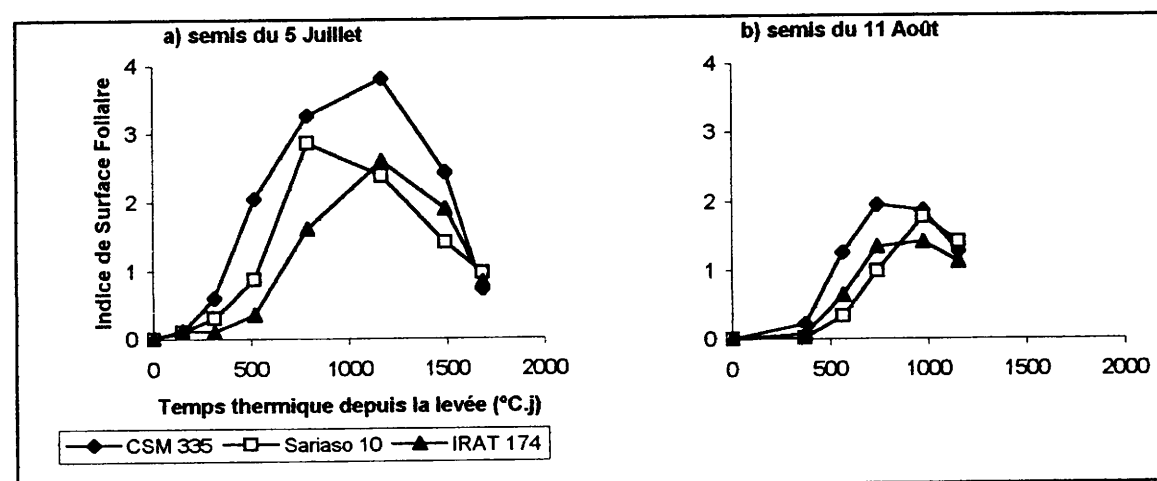


Fig. 8 : Estimation de l'indice de surface foliaire au cours de la culture pour les trois variétés en fonction de la date de semis

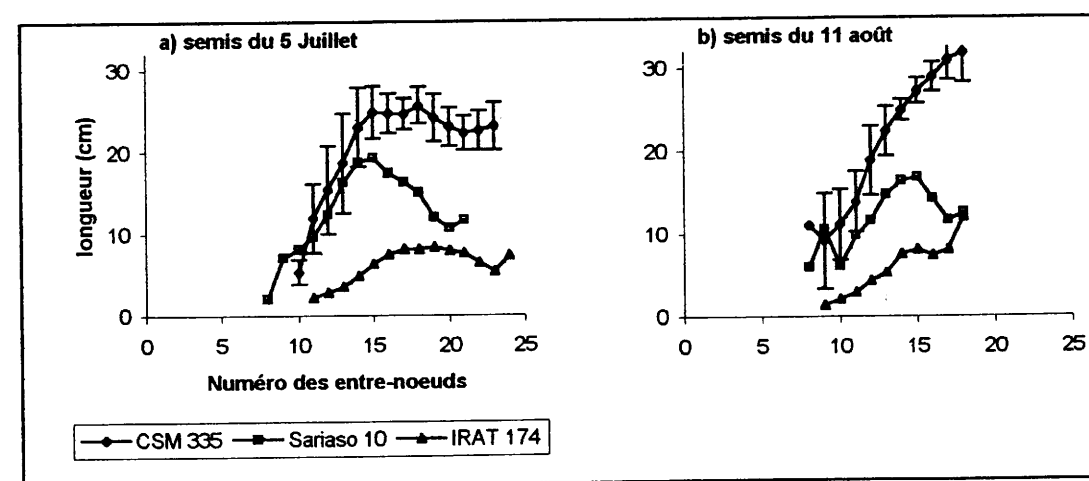


Fig. 9 : Longueur moyenne des entre-nœuds participant à la montée de la tige principale des trois variétés, en fonction de la date de semis. Les écart-types sur les mesures sont reportés pour la variété CSM 335.

situation la capacité de photosynthèse (la source) était limitante en raison du faible LAI mis en place à cause du déclenchement précoce de l'initiation paniculaire et de la montaison (fig. 8). Chez CSM 335 la réduction du tallage peut expliquer en partie la réduction du LAI, tandis que c'est l'absence des feuilles de grande surface qui l'explique entièrement pour les deux autres variétés (fig. 5 et 7). En effet, les profils de surfaces foliaires sont identiques aux deux dates de semis jusqu'à la 12-13^{ème} feuille. Ils divergent ensuite. Les profils tracés montrent qu'il existe une courbe-enveloppe maximale de la surface, voisine pour les 3 variétés testées, suivie en conditions de croissance non-limitantes jusqu'à la dernière feuille déjà apparue au moment de l'initiation paniculaire. Cette relation a déjà été décrite sur blé (Borrill, 1959) ou sur sorgho (Goldsworthy, 1970). Les 6 à 9 feuilles en croissance hétérotrophique à cette date ont une taille de plus en plus réduite, en relation avec le temps de leur croissance après cet événement. La modification du profil des surfaces est très sensible au stade auquel se fait l'initiation : pour CSM 335 l'événement s'est produit avec 15.7 feuilles apparues pour le 1^{er} semis contre 13.8 feuilles pour le 2^{ème}. Pour IRAT 174, la taille maximale possible des feuilles serait de l'ordre de 400 cm² et le profil des surfaces aurait donc marqué un plateau lors du 1^{er} semis.

Le passage rapide à la phase de diminution de la taille lors du semis tardif a pour conséquence un faible LAI, donc une faible capacité d'assimilation. Cette modification du profil maximal des surfaces foliaires est donc une conséquence majeure de la sensibilité à la photopériode qui, chez les variétés monocaules, peut expliquer à elle seule la diminution rapide du potentiel de production lorsque les semis sont retardés. Il sera nécessaire de disposer d'un nombre suffisant de jeux de données pour modéliser correctement ces variations.

Le rythme d'émission des feuilles par l'apex a été significativement plus lent à la deuxième date de semis (fig. 4a). La modification de ce rythme en fonction de la durée de l'éclairement avait été observée préalablement en conditions de culture contrôlées (Clerget, 2000). En revanche ce rythme a peu dépendu de la variété. Il a été constant pour le semis du 11 août, mais variable pour le semis du 5 juillet. Cette variation du plastochrone est à mettre en relation avec les observations sur la modification du phyllochrone au cours de la croissance (Goldsworthy, 1970; Clerget, 1999). Plastochrones et phyllochrones subissent un brutal allongement lorsque les conditions de jours longs interdisent la mise à fleur. Cet événement intervient plus ou moins au moment de l'émission de la 15^{ème} feuille, peu après la fin de la BVP (phase végétative minimale, pendant laquelle les plantes ne peuvent pas fleurir, finissant à 12-13 feuilles chez les variétés étudiées. Résultat à paraître). Il est l'expression d'une modification importante du métabolisme affectant simultanément les cinétiques de développement et de croissance. Il se produit environ 300 °C.jour après la levée, bien avant le début de la montaison vers 600 °C.jour.

La comparaison des courbes de surfaces massiques, établies étage par étage, ne montre pas de différence entre variétés ni entre dates de semis (fig. 6). Une courbe moyenne pourra donc être utilisée dans les modèles de mise en place des feuilles.

Enfin les mesures de hauteur des entre-nœuds participant significativement à la montaison montrent que les 3 variétés ont bien, comme espéré, des moyennes différentes (fig. 9). Elles montrent aussi que la hauteur de chaque entre-nœud dépend de sa position sur la tige et qu'il y a une relation entre la longueur d'un entre-nœud et la surface de la feuille du phytomère. En effet pour le semis du 5 juillet la longueur des entre-nœuds décroît après le 15^{ème} et l'initiation paniculaire chez CSM 335 et Sariasio 10. Cette relation n'existe plus chez CSM 335 pour le semis du 11 août. Ces données, associées à des mesures de diamètre à

Tableau 5 : Durées de cycle, masses sèches récoltées et composantes du rendement pour 8 variétés en fonction de la date de semis

Variété	Date de semis	Dates des événements (jj)			MS aérienne (g/m²)	MS grain (g/m²)	Ratio grain/biomasse (%)	Densité finale (pl/m²)	Panicules / plante	Grains / panicule	Poids de grain (mg)
		Feuille drapeau	Floraison	Maturité							
CSM 335	5-juil	68	85	131	533	188	35	3.5	1.1	2146	24.7
	11-août	53	69	109	466	99	21	4.3	1.3	711	24.6
Sariaso 10	5-juil	70	85	119	536	197	37	3.7	1.0	2315	22.9
	11-août	54	71	102	444	77	17	4.1	0.9	585	21.0
IRAT 174	5-juil	62	85	120	637	301	47	4.0	1.0	3047	23.7
	11-août	51	62	101	317	68	22	4.5	1.0	612	24.1
CGM 19/9-1-1	5-juil	68	82	113	583	202	35	4.2	1.1	1906	23.1
	11-août	49	65	104	445	103	23	4.7	1.2	611	24.7
CSM 63E	5-juil	56	67	97	240	58	24	2.9	2.4	385	23.6
	11-août	48	62	95	203	13	6	3.6	1.1	129	22.4
Nazongala	5-juil	64	76	113	578	185	32	5.0	1.0	1549	26.6
	11-août	47	61	97	351	122	35	3.5	1.2	953	29.0
IS 15401	5-juil	93	97	146	972	223	23	5.4	1.2	1271	28.1
	11-août	64	75	114	749	215	29	5.2	1.1	1457	27.0
ICHS 89002	5-juil	65	75	113	675	327	48	3.7	1.0	3576	24.9
	11-août	57	70	106	518	124	24	4.7	1.0	1126	23.3
Etr					136	69	5	0.7	0.1	553	1.9
ppds					227	115	9	1.2	0.2	925	3.1

Tableau 6 : Données architecturales pour 8 variétés en fonction de la date de semis

Variété	Date de semis	Durée des phases (jours)			Hauteur	Nombre de feuilles total	Nombre de nœuds paniculaires	Nombre branches paniculaires
		Levée-feuille drapeau	Feuille drapeau-floraison	Floraison-maturité				
CSM 335	5-juil	68	16	46	284	23	13	68
	11-août	53	16	40	253	19	12	64
Sariaso 10	5-juil	70	15	34	146	20	10	47
	11-août	54	17	31	143	19	10	52
IRAT 174	5-juil	62	23	35	110	23	9	81
	11-août	51	11	39	101	18	8	67
CGM 19/9-1-1	5-juil	68	14	31	186	22	13	90
	11-août	49	16	39	171	18	12	92
CSM 63E	5-juil	56	11	30	193	17	11	50
	11-août	48	14	33	172	15	11	48
Nazongala	5-juil	64	12	37	233	19	13	71
	11-août	47	13	37	221	17	13	66
IS 15401	5-juil	93	4	49	385	29	10	62
	11-août	64	11	39	321	23	10	56
ICHS 89002	5-juil	65	10	38	132	19	10	58
	11-août	57	14	35	131	19	11	62
Etr		2	2	2	11	1	1	6
ppds		3	3	3	19	1	1	10

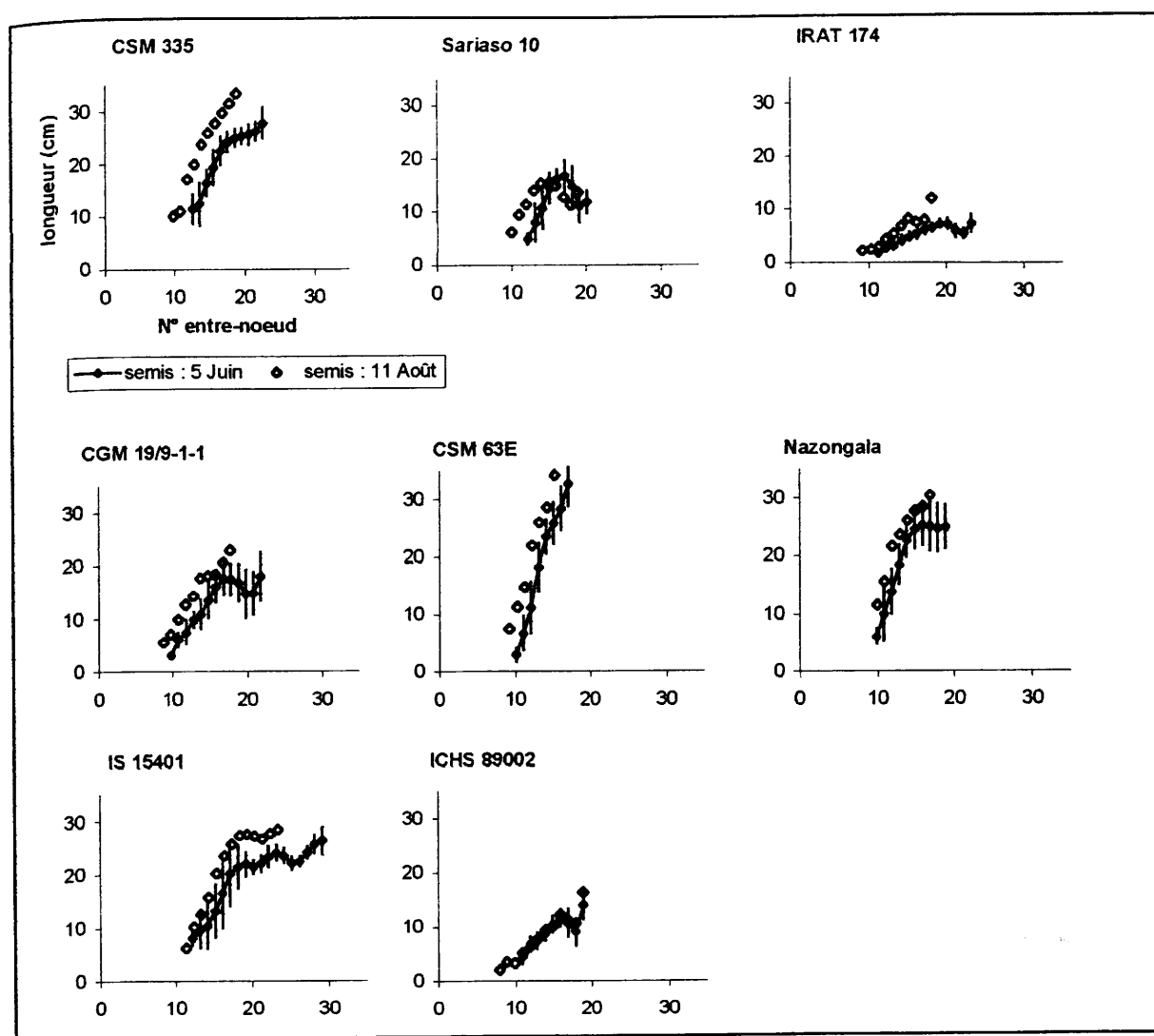


Fig. 10 : Longueur moyenne des entre-nœuds pour 8 variétés en fonction de la date de semis. Les écart-types sont représentés par des barres pour la date de semis du 5 Juillet

prendre pendant la prochaine campagne et de vitesse de montée de la tige, permettront de modéliser avec précision la croissance en masse de la tige, entre-nœud par entre-nœud.

2- Essai de validation 8 variétés x dates de semis. Samanko, Mali.

Cet essai a été placé dans des conditions de fertilité assez faibles, comme l'indique la faible production de biomasse (5 t/ha) de CSM 335 pour le semis du 5 juillet (Tbl. 5). Situé dans la partie basse de la parcelle de culture, cet essai a souffert plus que les autres de périodes d'asphyxie temporaire pendant les fortes précipitations de fin juillet-début août. Cela a eu pour conséquence la mort d'une partie des plantes et la réduction de la densité de culture, située finalement entre 30 et 50 plantes/ha. Pour cette raison la réduction de la production de biomasse entre les semis de juillet et d'août a été faible chez toutes les variétés. Les réductions de production de grain ont été beaucoup plus importantes chez la majeure partie des variétés, en liaison avec une chute importante du ratio grain/biomasse. Nazongala et IS 15401 ont fait exception à ce comportement. IS 15401, variété caudatum très tardive, a compensé une perte de biomasse voisine de 2 t/ha et produit la même récolte de grain aux deux dates de semis. Elle est la plus tardive des variétés testées et n'apparaît pas avoir souffert de déficit hydrique au cours du remplissage pour la 2^{ème} date de semis. Cette variété a mieux résisté que les autres aux conditions de sol difficiles et maintenu un nombre de plants/ha supérieur. (Cela signifie-t-il quelle serait plus tolérante à la submersion et/ou à l'acidité du sol ?) Elle a cependant montré ici un faible potentiel de production, avec un petit nombre de grains par panicule, mais une meilleure stabilité de cette production au cours de la saison, puisque ce nombre de grains est maintenu lors du semis tardif. Chez Nazongala, guinea semi-précoce, la diminution de la production de biomasse s'explique principalement par la diminution de la densité pour la 2^{ème} date de semis. En dehors de la résistance aux conditions de sol difficiles, cette variété a montré un comportement proche de celui de IS 15401. La variété ICHS 89002, caudatum non photopériodique, a eu des cycles très proches de 113 et 106 jours pour les semis de juillet et août, un nombre de feuilles strictement identiques aux deux dates (18.9) et a conservé une densité plus élevée au deuxième semis. Elle a produit le meilleur rendement en grain de l'essai avec un ratio grain/biomasse voisin de 50 % au semis de juillet et malgré une architecture conservée, ce ratio grain/biomasse est tombé à 24 % au semis d'août à cause d'une réduction d'un facteur 3 du nombre de grains par panicule. La production de biomasse a aussi décru, mais dans une proportion moindre.

En ce qui concerne la croissance de tige, les guinea et les caudatum ont eu des réactions contrastées face à la réduction du cycle par suite du semis tardif : les guinea (CSM 335, CGM19/9-1-1, CSM 63E et Nazongala) ont eu un allongement plus grand des derniers entre-nœuds, ce qui maintient une meilleure hauteur de tige (fig. 10). A la première date de semis la longueur des entre-nœuds était réduite à partir de l'initiation paniculaire. Chez les caudatum en revanche la courbe de longueur des entre-nœuds s'infléchit après l'initiation paniculaire, aux deux dates de semis. Les hauteurs d'entre-nœuds de CGM19/9-1-1 sont intermédiaires, légèrement supérieures à celles de Sariaso 10 et ICHS 89002 n'est pas aussi nain que IRAT 174.

3 - Essai variétés x densités x fertilisation azotée. Samanko, Mali.

Cet essai a été semé le 5 juillet, la maturité est intervenue entre le 18 octobre et le 5 novembre, en l'absence de déficit hydrique, comme le montre la fig. 1. Les productions de

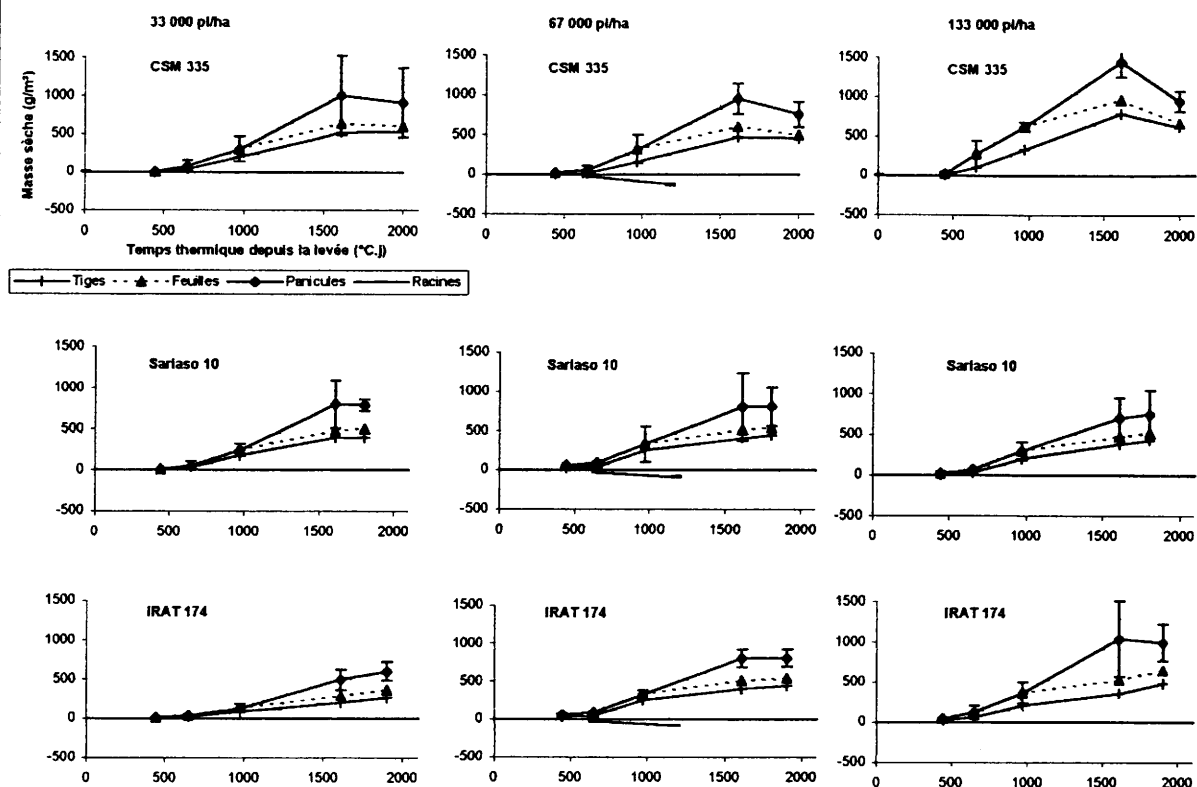
Tableau 7 : Durées de cycle, masses sèches récoltées et composantes du rendement pour les 3 variétés testées, semées le 5 Juillet, en fonction de la fertilisation azotée et de la densité de semis.

Variété	Dose Azote (kg/ha)	Densité initiale (pl/m ²)	Date des événements (jj)			MS racine à 80 JAL (g/m ²)	MS aérienne (g/m ²)	MS grain (g/m ²)	Rapport grain/biomasse (%)	Densité finale (pl/m ²)	Panicules / plante	Grains / panicule	Poids de grain (mg)
			Feuille drapeau	Floraison	Maturité								
CSM 335	18	3.3	64	78	117		914	308	33.7	3.3	1.9	1961	26.8
	18	6.7	64	78	118	127	759	260	34.3	5.4	1.1	1835	24.4
	18	13.3	64	77	118		937	279	29.8	9.5	1.1	914	28.7
	110	3.3	63	79	116		1096	333	30.4	3.5	2.2	1869	23.5
	110	6.7	64	80	119	197	938	293	31.2	8.4	1.4	1530	25.5
	110	13.3	63	77	117		1256	398	31.6	9.3	1.2	1717	21.5
Sariaso 10	18	3.3	60	73	106		789	290	36.8	6.8	1.1	2822	24.9
	18	6.7	62	71	105	88	811	273	33.7	4.8	1.1	2309	23.3
	18	13.3	62	72	106		753	230	30.5	7.5	1.0	1372	22.7
	110	3.3	61	71	105		1028	289	28.1	3.4	1.5	2570	24.5
	110	6.7	60	72	105	108	1178	394	33.4	5.6	1.0	3010	22.8
	110	13.3	60	72	102		957	257	26.9	9.9	1.0	1090	24.0
IRAT 174	18	3.3	64	77	113		601	239	39.8	3.2	1.1	3773	21.9
	18	6.7	65	78	114	125	748	268	35.8	5.6	1.0	2189	21.8
	18	13.3	63	76	112		991	347	35.0	7.9	1.1	1962	21.4
	110	3.3	63	74	113		534	220	41.2	2.8	1.1	3286	21.6
	110	6.7	64	74	113	180	826	320	38.7	5.4	1.0	2810	20.8
	110	13.3	64	75	114		1147	391	34.1	9.9	1.0	1851	20.8
Etr ppds						41	213	59	3.9	0.7	0.3	388	1.8
						69	359	99	7	1.2	0.5	658	3.1
	18		63	75	111	113	812	277	34.1	5.7	1.2	2071	24.0
	110		63	75	112	161	996	322	32.3	6.1	1.3	2193	22.8
		3.3	64	78	115		827	280	33.8	3.3	1.5	2630	23.9
		6.7	61	72	109		877	301	34.4	5.4	1.1	2280	23.1
		13.3	64	76	112		1007	317	31.5	9.0	1.1	1484	23.2

Tableau 8 : Données architecturales pour les 3 variétés semées le 5 Juillet en fonction de la fertilisation azotée et de la densité

Variété	Dose Azote (kg/ha)	Densité initiale (pl/m ²)	Durée des phases (jours)			Hauteur	Nombre de feuilles total	Nombre de nœuds paniculaires	Nombre de branches paniculaires
			Levée-feuille drapeau	Feuille drapeau- floraison	Floraison- maturité				
CSM 335	18	3.3	64	14	40	316	23.2	12.1	75
	18	6.7	64	14	40	293	22.0	12.3	60
	18	13.3	64	13	41	292	21.1	12.3	58
	110	3.3	63	16	37	321	23.8	12.7	68
	110	6.7	64	16	39	310	22.8	12.5	68
	110	13.3	63	14	40	302	21.7	12.3	60
Sariaso 10	18	3.3	60	13	33	175	21.5	9.1	52
	18	6.7	62	9	34	181	19.2	10.4	52
	18	13.3	62	10	34	163	18.8	10.0	45
	110	3.3	61	10	34	173	20.9	9.4	51
	110	6.7	60	12	33	191	21.0	9.2	54
	110	13.3	60	12	30	170	19.4	10.3	48
IRAT 174	18	3.3	64	13	36	113	24.0	10.5	79
	18	6.7	65	13	36	123	23.6	9.4	80
	18	13.3	63	13	36	121	22.4	9.5	77
	110	3.3	63	11	39	110	23.9	9.5	83
	110	6.7	64	10	39	124	24.0	9.2	83
	110	13.3	64	11	39	117	22.6	9.3	74
Etr ppds			0.97	1.24	2.3	23	0.8	1.1	4
			2	2	4	39	1.3	1.8	7
	18		63	13	36	193	21.7	10.6	64
	110		63	12	37	202	22.2	10.5	65
		3.3	64	14	37	201	22.9	10.5	68
		6.7	61	11	37	199	22.1	10.5	66
		13.3	64	12	36	192	21.0	10.6	60

1) Application d'azote : 18 kg/ha N



2) Application d'azote : 110 kg/ha N

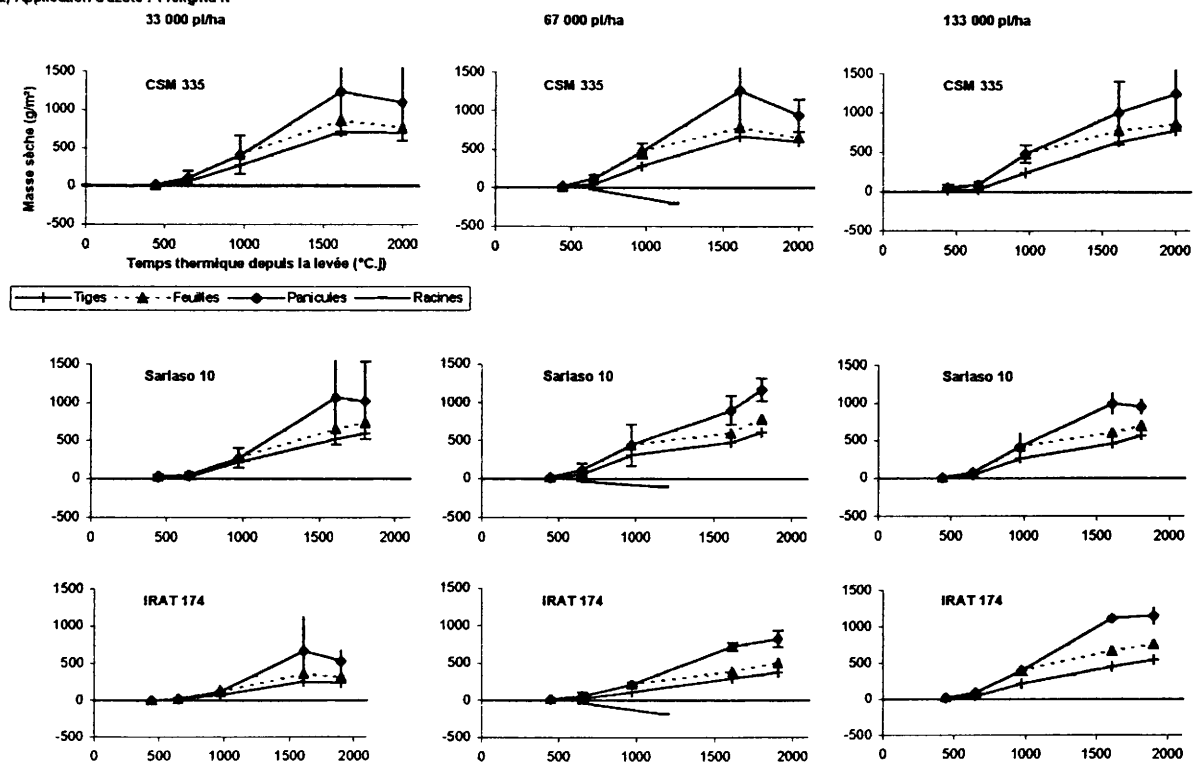


Fig. 11 : Croissance massique cumulée pour les 3 variétés semées le 5 juillet en fonction de la fertilisation azotée et de la densité

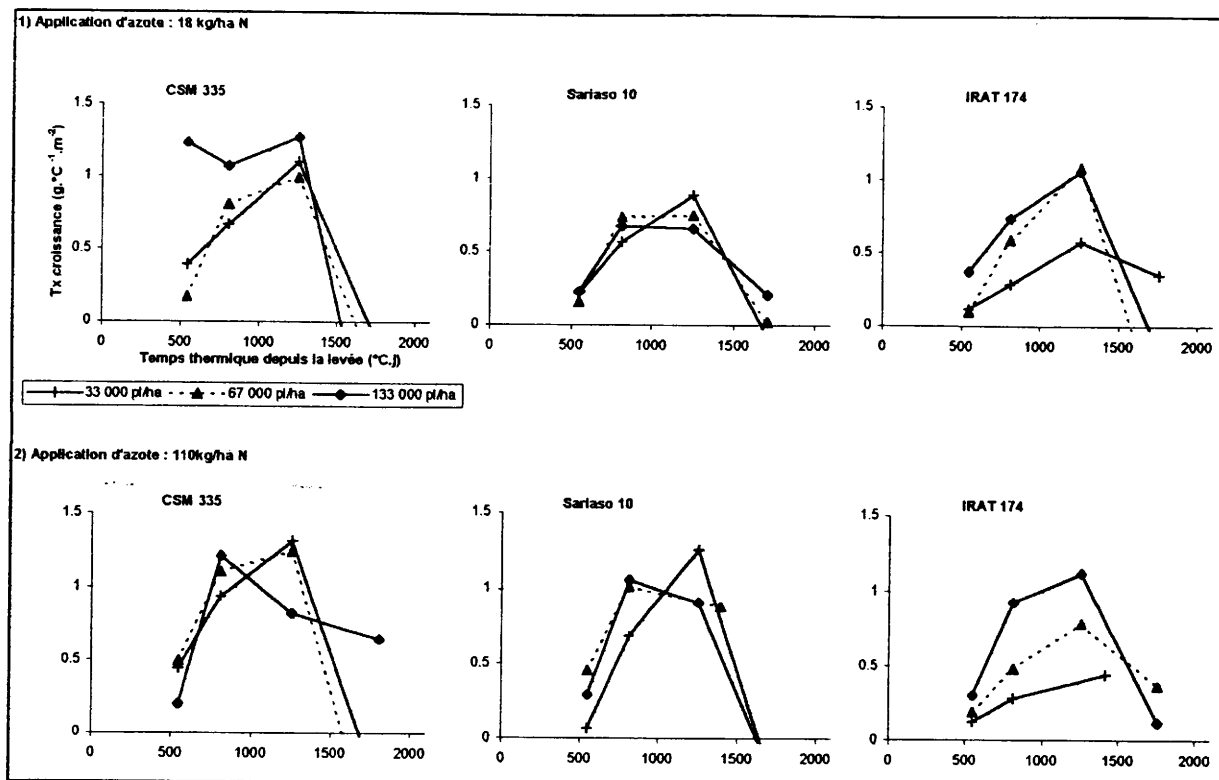


Fig. 12 : Evolution du taux de croissance en biomasse totale par unité de surface (m^2) pour les 3 variétés en fonction de la fertilisation azotée et de la densité

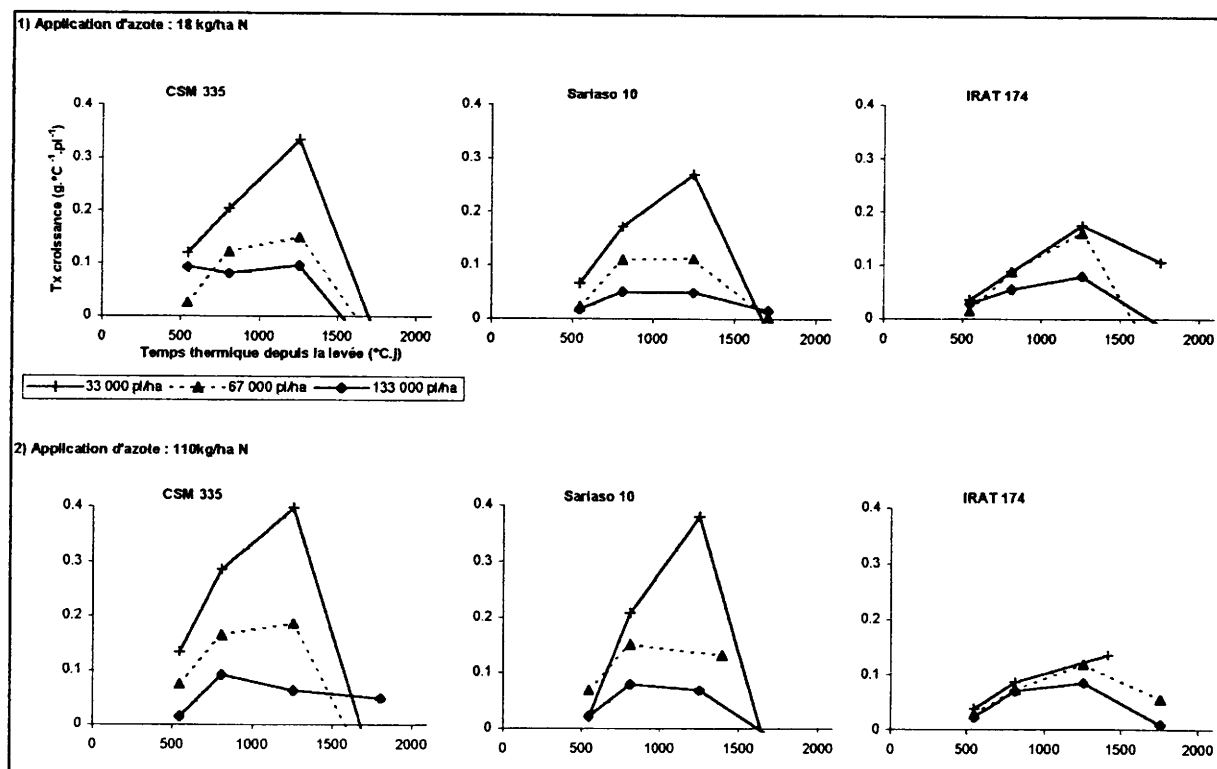


Fig. 13 : Evolution du taux de croissance en biomasse totale par plante pour les 3 variétés en fonction de la fertilisation azotée et de la densité

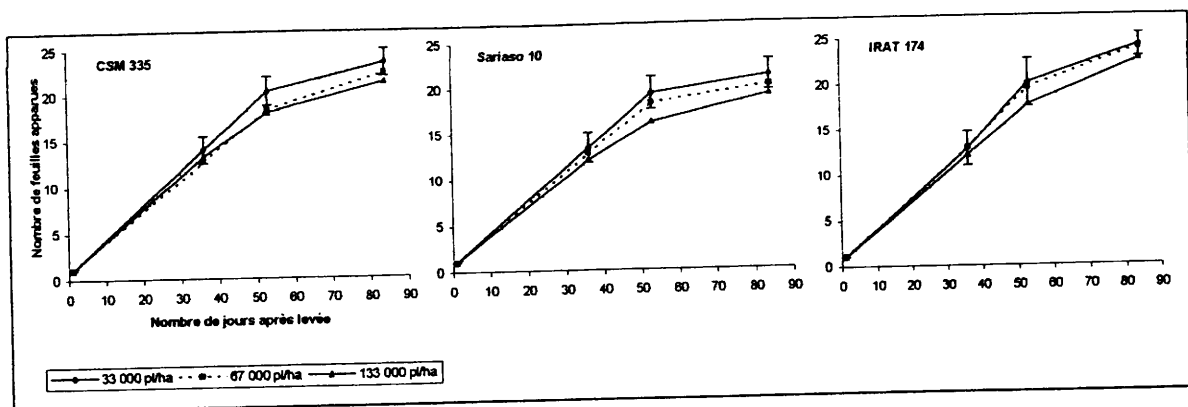


Fig. 14 : Rythme d'apparition des feuilles de la tige principale en fonction de la densité pour les 3 variétés semées le 5 Juillet

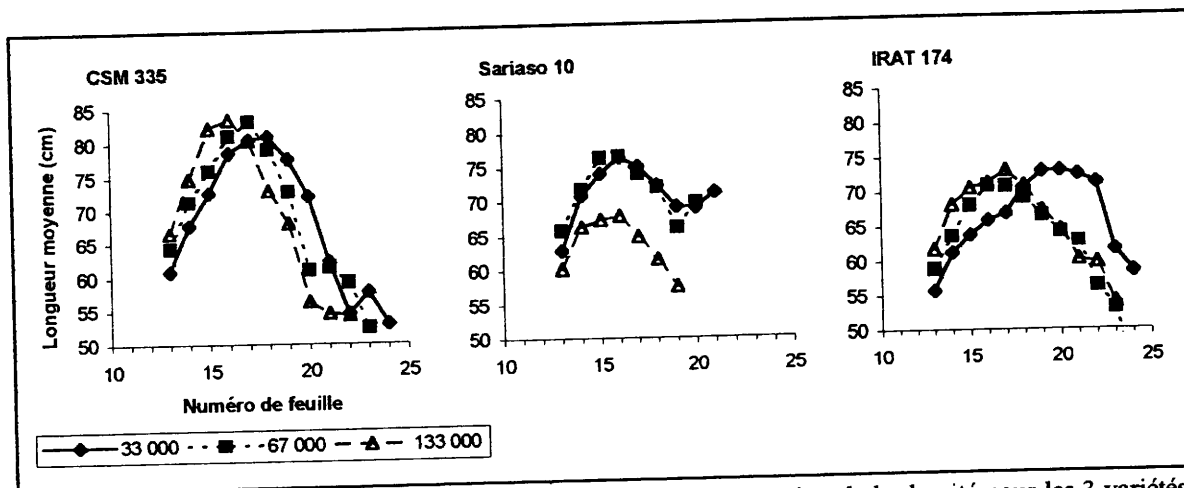


Fig. 15 : Longueur moyenne des feuilles de la tige principale en fonction de la densité pour les 3 variétés semées le 5 Juillet.

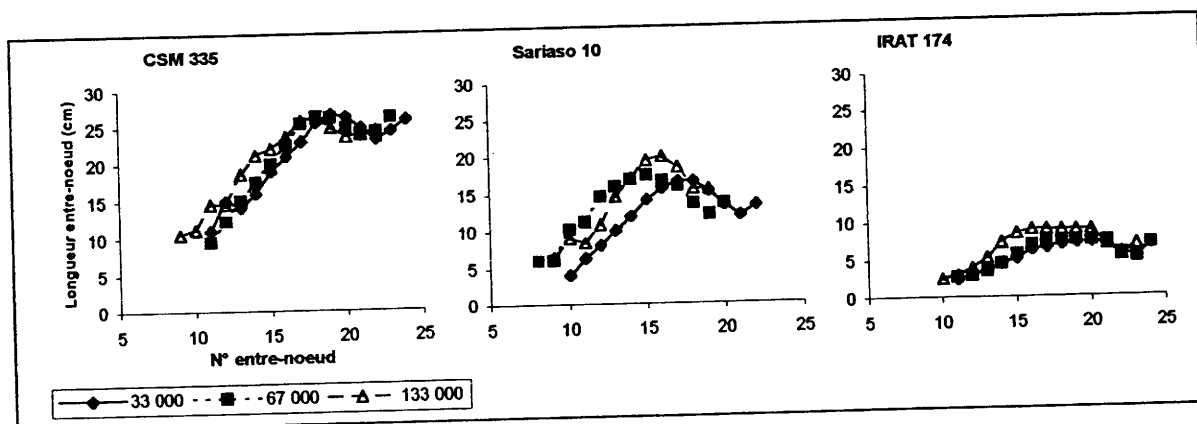


Fig. 16 : Longueur moyenne des entre-nœuds de la tige principale en fonction de la densité pour les 3 variétés semées le 5 Juillet

biomasse ont été comprises entre 6 et 12.5 t/ha et celles de grain entre 2.2 et 4.0 t/ha (tbl. 7). L'effet moyen des applications d'azote de couverture a été de 1.9 t/ha de MS et 0.4 t/ha de grain. Il est resté non-significatif du point de vue de la statistique, en raison de l'hétérogénéité de la parcelle et du dispositif en split-plot à 3 étages. C'est une réponse faible aux 92 kg/ha d'azote apportés. Elle indique d'une part une fourniture importante d'azote par le sol qui assure la production d'une biomasse de 7-8 t/ha et d'autre part l'existence de un ou plusieurs facteurs limitant non levés. Le niveau de pH faible en est un premier. Il n'a pas été observé de symptôme racinaire de toxicité aluminique. A ce niveau de pH la solubilité de plusieurs éléments est faible et peut conduire à des carences. Les quantités de phosphore assimilable étaient initialement faibles, de l'ordre de 2 ppm (Bray I) et n'ont peut-être pas été suffisamment corrigées par l'apport d'engrais. La densité n'a eu qu'un léger effet moyen sur la production de MS et pas d'effet moyen sur la production de grain, parce que les interactions densité x variété ont été fortes.

CMS 335 a eu une production de MS et de grain stable et égale ou supérieure à celle des deux autres variétés dans toutes les conditions. En particulier, la haute densité a réduit le tallage de la variété mais n'a pas affecté son rendement en grain. Sarioso 10 est apparue sensible à la forte densité. A 133 000 plants/ha toutes ses composantes de rendement ont décliné (MS, grain, ratio grain/MS et surtout nombre de grains/panicule qui chute de plus de 50 %). IRAT 174 a aussi montré une certaine sensibilité à la forte densité. A 133 000 plants/ha le ratio grain/MS et le nombre de grains/panicule ont été inférieurs aux valeurs enregistrées à moindre densité. Toutefois l'architecture de cette variété naine limite l'accession à la source lumineuse de chaque plante de sorte que l'augmentation de densité a procuré des gains de production de MS et de grains par unité de surface, jusqu'à la densité maximale testée. Le poids de grain est considéré par les techniciens du sorgho comme une composante stable du rendement caractéristique de la variété, peu dépendant des facteurs environnementaux. Cette assertion s'est vérifiée dans cette expérience, à l'exception des variations importantes enregistrées chez CMS 335 cultivée à haute densité. Dans ces conditions de fort peuplement, extrêmes pour ce type de variété, le nombre de grains par panicule a fortement varié en fonction de la nutrition azotée mais il y a eu une compensation du poids des grains en retour.

Les courbes de croissance par organe en fonction de la fertilisation azotée et de la densité ont été tracées (fig. 11). Elles sont difficiles à interpréter, mais serviront de références au moment de l'élaboration du modèle de croissance. Les courbes d'évolution du taux de croissance rapporté à la surface montrent que CSM 335 a eu une capacité d'assimilation supérieure aux 2 autres variétés, dans toutes les conditions de l'expérience (fig. 12). CSM 335 et IRAT 174 ont eu des taux de croissance indépendants de la fertilisation azotée, tandis que Sarioso 10 se montrait plus sensible à ce facteur. D'autre par les taux de croissance de CSM 335 et de Sarioso 10 ont été indépendants de la densité. Il y a donc eu une réponse de la croissance par plant inversement proportionnelle à la densité chez ces deux variétés (fig. 13). Chez IRAT 174, en revanche, le taux de croissance par unité de surface a augmenté avec la densité, parce que chaque plant de cette variété à port dressé couvre peu le sol. Le taux de croissance des plants ne diminue donc que pour les fortes densités, au dessus de 67 000 pl/ha.

Du point de vue du développement, le nombre de feuilles totales produites par les tiges principales a significativement diminué à haute densité chez les trois variétés (Tbl. 8). La raison en est le ralentissement du rythme d'apparition des feuilles en réponse à l'augmentation de densité après la 12-13^{ème} feuille, indépendamment de la nutrition azotée (fig. 14). En revanche les dates de floraison sont restées invariantes et par conséquent le nombre de feuilles totales a été significativement réduit par la densité. Ces résultats confirment des observations antérieures (Goldsworthy, 1970; Lafarge, 1998). Vaksman (2000, comm. pers.) a montré sur une variété caudatum à cycle long nommée Souroukoku,

Tableau 9 : Durée de cycle, matière sèche produite et composantes du rendement pour les 3 variétés semées le 26 Juin à Bambey.

Variété	Traitement	Durée levée-feuille drapeau (jours)	Hauteur (cm)	MS racines (g/m ²)	MS totale (g/m ²)	MS grain (g/m ²)	Ratio grain/ biomasse (%)	Nombre de feuilles total	Nombre tiges/plant à récolte
Nazongala	ETM	80	370	266	2437	325	15	27	2.3
	Stress levée	80	340	296	2134	197	10	26	1.9
Saraïso 10	ETM	67	250	257	2398	359	18	25	2.0
	Stress levée	67	220	324	2337	411	19	26	2.0
IRAT 174	ETM	78	210	370	2385	331	14	31	2.1
	Stress levée	78	210	375	1982	363	19	33	1.9
Etr				52	329	80	4	2	0.4
ppds				88	556	135	6	3	0.7

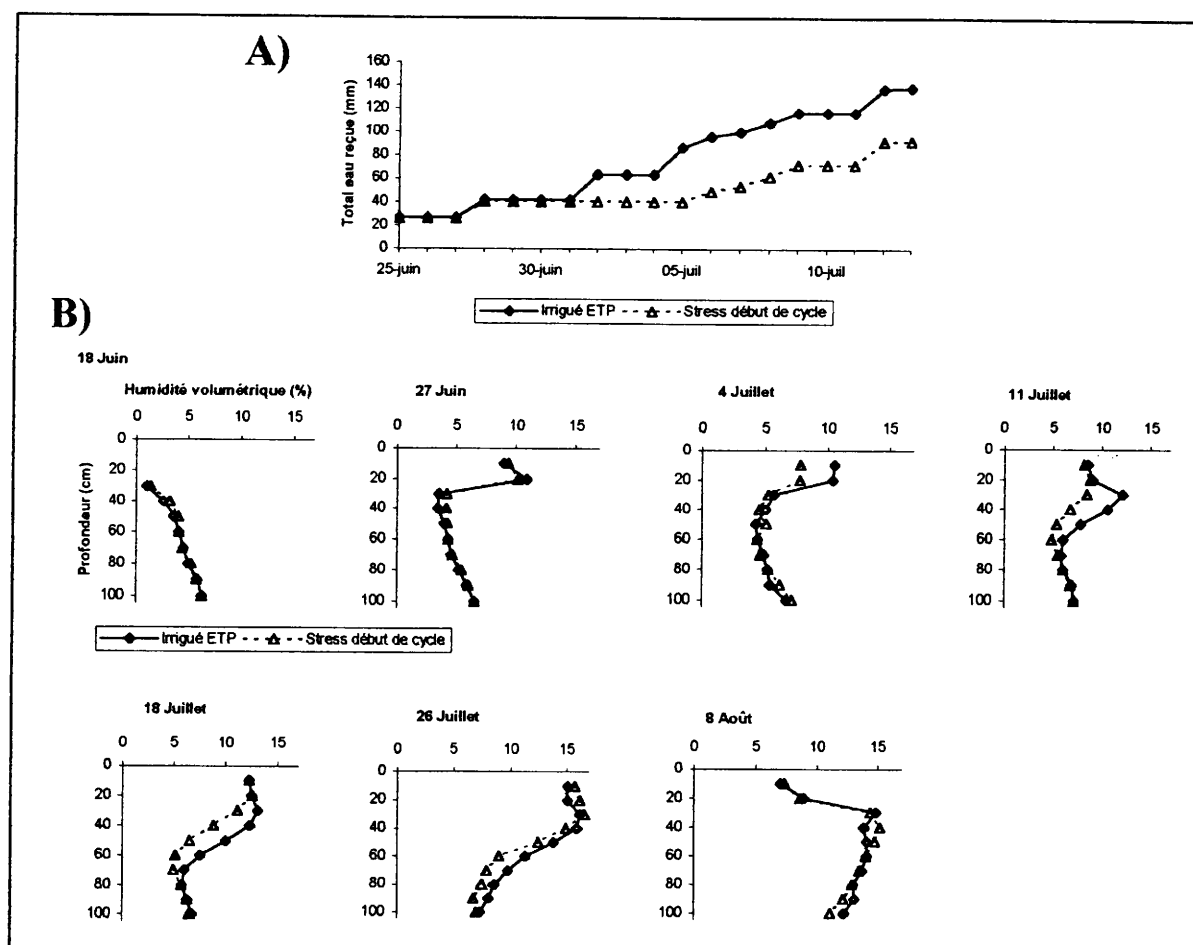


Fig. 18 : Suivi hydrique des parcelles de l'essai de Bambey en début de culture. A) Total de l'eau reçue par l'irrigation ou la pluie B) Profils hydriques du premier mètre de sol en fonction de la quantité d'eau totale reçue. Deux irrigations ont été supprimées dans les parcelles dans lequel on voulait provoquer un stress de début de cycle

que le rythme d'initiation et le rythme d'apparition des feuilles avaient brusquement ralenti au même moment, à 15 et 20 feuilles respectivement.

Comme dans le cas des semis à dates variables, la diminution du nombre de feuilles total a eu pour conséquence une forte modification du profil des longueurs foliaires par étage (fig. 15). Ce phénomène a affecté plus fortement la variété Sarioso 10 chez laquelle la forte densité a entraîné une très nette réduction de la longueur des 7 feuilles supérieures.

L'augmentation de densité a probablement provoqué une montaison plus précoce chez Sarioso 10, commencée à partir du 8^{ème} entre-nœud à haute densité au lieu du 10^{ème} à densité moindre (fig. 16). CSM 335 et IRAT 174 ont aussi réagi dans le même sens, mais de façon moins sensible.

4- Essai variétés x alimentation hydrique. Bambey, Sénégal.

Le semis de cet essai a été effectué après une irrigation le 26 juillet et irrigué de nouveau le 28 juin. Ensuite un déficit hydrique important devait être provoqué chez le traitement « stress initial » par absence d'irrigation. Il n'a malheureusement duré que 7 jours puisqu'à partir du 6 juillet une série inattendue de 3 pluies a arrosé l'expérience (fig. 18 a). Les 2 irrigations non-appliquées ont provoqué un différentiel d'apport d'eau de 45 mm. Cette différence entre parcelles a causé un ralentissement de la descente du front d'humectation dans les parcelles déficitaires qui n'a été totalement rattrapé qu'au début du mois d'août (fig. 18 b). Cependant le stress n'a été maintenu que trop peu de temps et n'a provoqué de différence significative pour aucune des données de croissance mesurées, à l'exception du nombre final de feuilles. En effet, comme lors de l'expérience de 1999, le déficit précoce a induit la production de 1 à 2 feuilles supplémentaires chez les variétés Sarioso 10 et IRAT 174 (fig. 21).

Cet essai n'a donc pas apporté d'information sur la réponse au déficit hydrique. En revanche il a été conduit à une latitude supérieure à celle de Samanko (14°42 contre 12°32) et semé 10 jours plus tôt que les essais de Samanko, donc en jours plus longs pour ces deux raisons. Il a en conséquence apporté des informations capitales sur le comportement des trois variétés dans ces conditions légèrement différentes.

En premier lieu la production de biomasse a plus que doublée par rapport à celle de Samanko, atteignant 24 t/ha pour toutes les variétés (tbl. 9). La production de grain a été loin de refléter la bonne conduite de la culture dans des conditions de fertilité élevée : elle n'a pas dépassé pas 4 t/ha, donc avec un rapport grain/biomasse de 20%. Les variétés de sorgho adaptées à la culture dans la région sont gravement résistantes au rendement en grain ! Cet essai en apporte une confirmation supplémentaire, si besoin était. La taille des panicules est de toute évidence insuffisante pour utiliser valablement la capacité de l'appareil photosynthétique mis en place par les plantes. Est-ce simplement en raison de limites génétiques ou le comportement physiologique, en réponse à la photopériode en particulier, a-t-il à voir avec cet état ?

Dans les conditions de l'essai de Bambey, le nombre de talles par plante en fin de cycle était proche de un pour toutes les variétés, mais le nombre de panicules fertiles par plant ainsi que les autres composantes du rendement n'ont pas été enregistrées.

La cinétique de la croissance en masse a montré deux périodes de croissance distinctes : la première entre 500 et 1200 °C.jour correspondant classiquement à la montaison et à la prise de poids de la tige principalement (fig. 19 a et b). Elle a été suivie au cours de cette culture par une phase de stagnation voir de perte de poids, puis par une reprise au cours d'un épisode final entre 1500 et 2000 °C.jour. Ce comportement a déjà été observé. Goldsworthy (1970) a décrit la même cinétique sur des sorghos guinea cultivés au Nigéria. Il interprétait l'arrêt

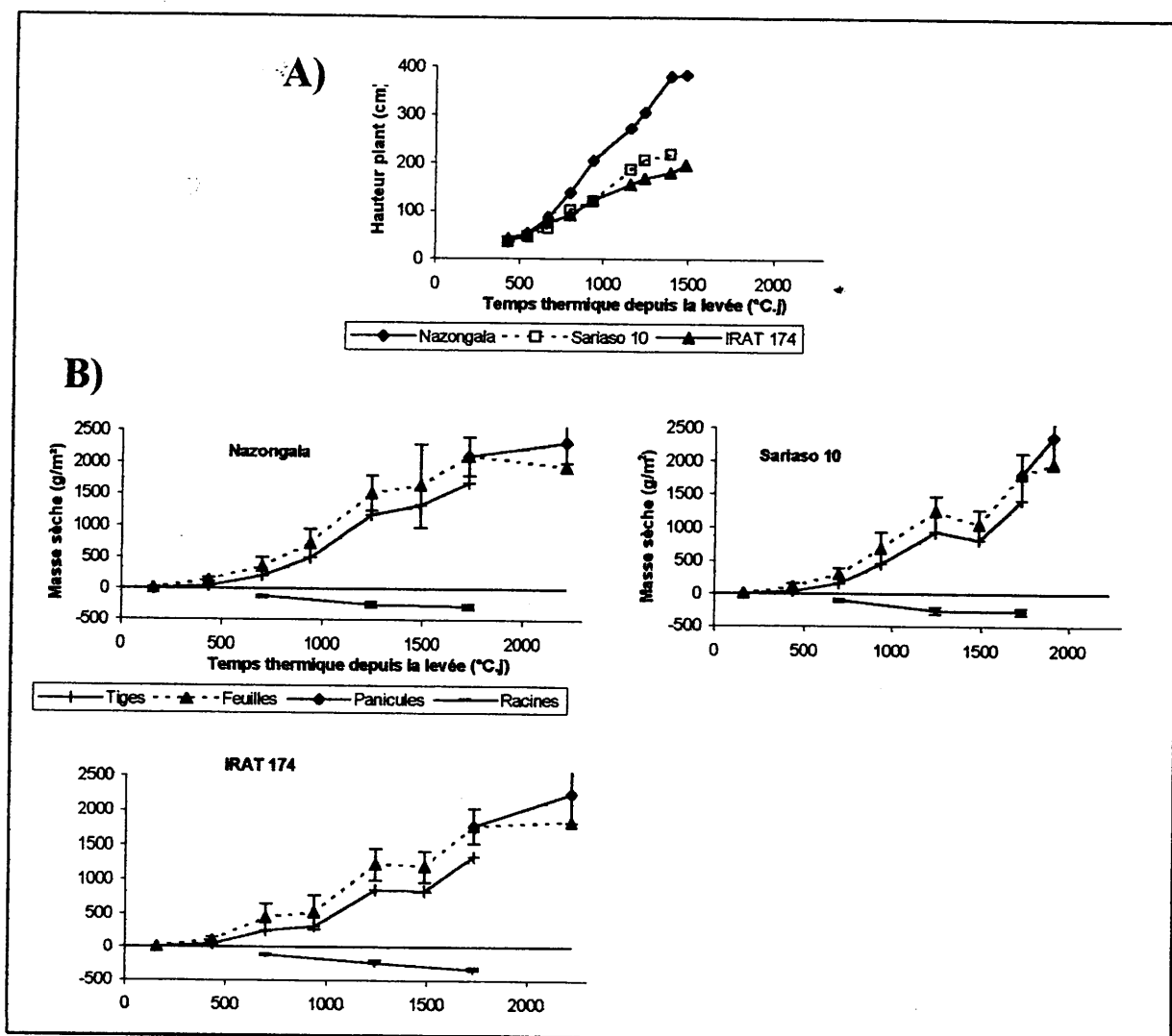


Fig. 19 : Croissance des 3 variétés semées à Bambe le 26 juin. A) Croissance en hauteur. B) Croissance massique par organe, cumulée.

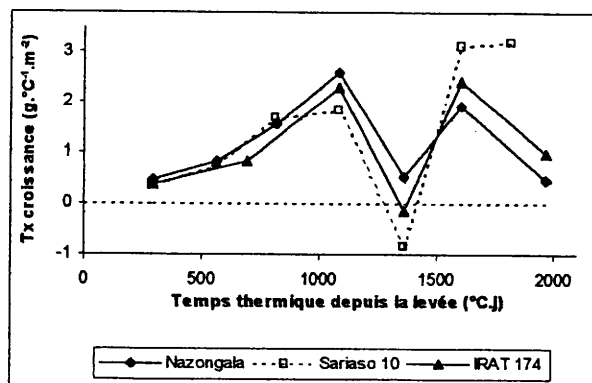


Fig. 20 : Evolution du taux de croissance de la biomasse totale par unité de surface (m^2) pour les 3 variétés semées à Bambe le 26 Juin.

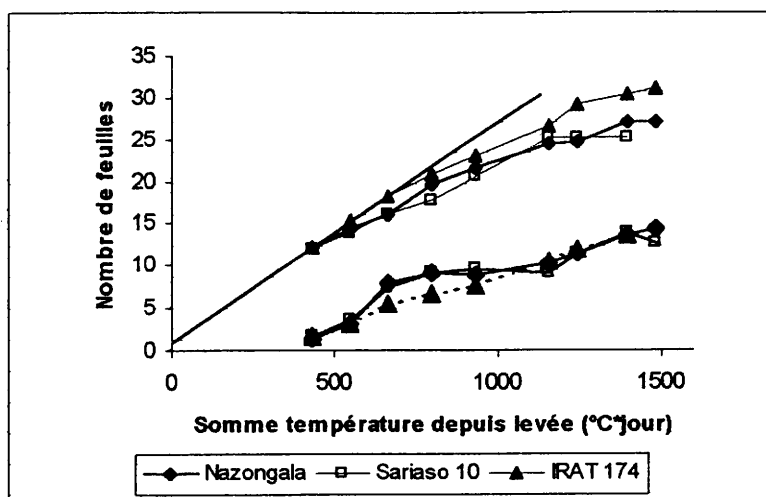


Fig. 21 : Rythmes d'apparition (courbes supérieures) et de senescence (courbes inférieures) pour les 3 variétés semées à Bambey le 26 Juin.

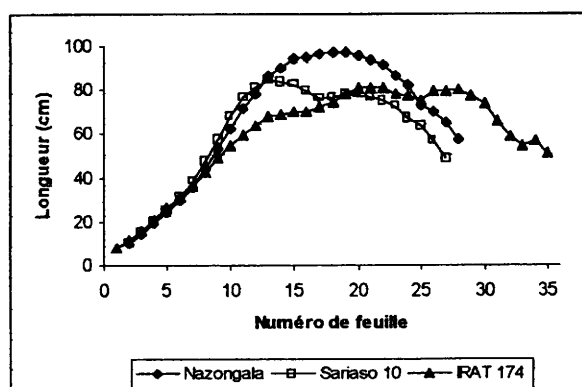


Fig. 22: Profils des longueurs de feuille par étage de la tige principale pour les 3 variétés semées à Bambey le 26 Juin

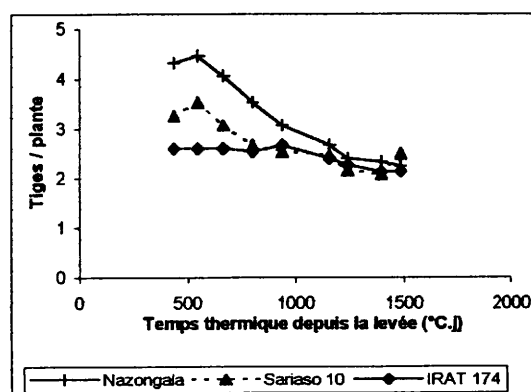


Fig. 23 : Evolution du tallage moyen au cours de la culture pour les 3 variétés semées à Bambey le 26 Juin

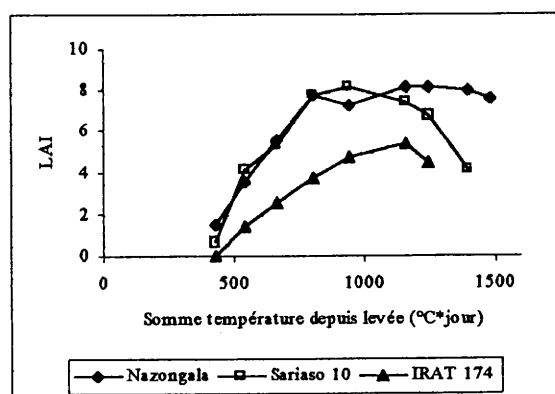


Fig. 24 : Estimation de l'évolution du LAI au cours de la culture pour les 3 variétés semées à Bambey le 26 Juin.

momentané de la croissance par un déficit de production de biomasse dû à la faible radiation reçue pendant le mois d'août. Il est vrai qu'à cette période l'éclairement passe par un minimum dans les régions soudaniennes. On ne dispose pas d'enregistrement de la radiation pour cet essai, mais il est peu probable qu'il y ait eu une longue série de jours totalement nuageux à Bambey pendant le mois de septembre. Par contre, la phase de stagnation de la croissance s'est produite autour du 15 septembre, alors qu'une pluie de 110 mm, susceptible d'avoir causé des dégâts dans la végétation, a été enregistrée le 13 septembre. L'hypothèse météorologique ne peut donc pas être totalement écartée. Il est cependant logique de faire l'hypothèse d'un effet de la réaction photopériodique : en raison des jours longs l'initiation paniculaire a été différée, les plantes ont poursuivi leur cycle végétatif à un rythme très ralenti et développé de nombreuses grandes feuilles aptes à produire une grande quantité de biomasse. De sorte que lorsque l'allongement de la tige s'est achevé avec la sortie de la feuille-drapeau, entre 1300 et 1400 °C.jour, toutes les réserves des tiges auraient été remplies (fig. 19 et 20). Mais à ce moment il fallait encore une quinzaine de jours ou 200 °C.jour pour qu'aient lieu l'épiaison et la floraison. Ce n'est qu'ensuite que la croissance en biomasse en faveur du grain pouvait reprendre.

Le rythme d'apparition des feuilles n'a pas été constant, avec probablement un brusque ralentissement après l'apparition de la 12-15^{ème} feuille, en fonction de la variété (fig. 21). Cette évolution avait déjà été observée en 1999, avec un semis du 19 Avril. Nazongala et Sarioso 10 ont eu des cinétiques très semblables, tandis que IRAT 174 s'est distingué de ces deux variétés. Le nombre total de feuilles produites dans cet essai a été compris entre 26 et 31, très supérieur au nombre enregistré à Samanko pour le semis du 5 juillet, compris entre 19 et 24. C'est l'effet des jours longs qui a nettement retardé l'initiation paniculaire.

Le profil des longueurs foliaires a été tracé (fig. 22). La longueur maximale a été atteinte pour la 15^{ème} feuille chez toutes les variétés et les feuilles apparues ensuite ont eu sensiblement la même longueur, fonction de la variété, jusqu'au moment où est intervenue l'initiation paniculaire. Les 7-8 feuilles non encore apparues à cette date ont une longueur qui décroît en proportion du temps de croissance restant pour chaque feuille après cet événement.

En raison du nombre élevé de feuilles produites on dispose donc à la suite de cet essai de la courbe de longueur potentielle de chaque feuille avec le plateau maximal pour chaque variété. Pour Nazongala on peut en déduire assez correctement la courbe des surfaces potentielles à l'aide de la relation $S=aL^b$ déterminée en 1999. Pour Sarioso 10 en revanche, il a été constaté en 2000 que la largeur potentielle maximale était atteinte plus tardivement que la longueur maximale, de sorte qu'il existe une série d'étages foliaires de même longueur n'ayant pas la même surface. Pour cette variété on ne peut donc pas établir une relation univoque entre surface et longueur et il va être nécessaire d'effectuer des mesures de largeur afin de disposer d'une relation de passage entre les mesures à une dimension et la surface.

Les relations de passage établies à Bambey en 1999 pour Nazongala et celles établies en 2000 pour Sarioso 10 et IRAT 174 associées aux données de suivi du tallage ont permis de calculer une estimation des valeurs prises par le LAI au cours du temps (fig. 23 et 24). Elles sont du même ordre de grandeur que les estimations calculées en 1999 pour la culture établie le 19 avril à Bambey. Elles sont en revanche le double des valeurs calculées pour les essais semés à Samanko le 5 juillet 2000. Le tallage plus important explique en partie cette différence, surtout pour IRAT 174. Pour les deux autres variétés le tallage n'est qu'une raison partielle de la différence de LAI, l'autre raison est la plus grande surface développée par chaque tige par suite de l'importante modification du profil des surfaces des feuilles émises.

Conclusions

Après cette série d'essais venant après celui de Bambey en 1999 et les essais en milieu contrôlé menés à Montpellier en début 2000, on commence à disposer d'informations permettant de quantifier les réponses des trois variétés de sorgho utilisées à 2 variations du milieu, longueur du jour et densité. Les effets du stress hydrique restent à éclaircir, tandis que la réponse à l'azote apparaît trop faible sur la station de Samanko pour permettre de conclure. En revanche les sols de cette station sont pauvres en phosphore et il est possible qu'il soit possible d'y étudier la réponse à cet élément. Une petite expérience a été lancée en début 2001 et a donné un effet important sur la phénologie, qui doit à présent être confirmé dans un dispositif statistique avec répétitions.

Les principaux enseignements à tirer des 18 mois d'expériences passées sont les suivants :

1. Les rythmes d'émission et d'apparition des feuilles des sorghos d'Afrique de l'Ouest sont variables et participent aux réactions d'adaptation de l'architecture de la plante aux conditions environnementales. Ils répondent en effet à la longueur du jour, à la densité et probablement à la carence en phosphate. Leurs variations peuvent être brutales et dans ce cas elles sont simultanées. Elles révèlent probablement une modification du métabolisme à l'échelle de la plante entière. Quelques règles semblent se dégager. Tout d'abord, le rythme d'émission des feuilles dépend de la longueur du jour dès la levée. Il est plus rapide lorsque les jours sont plus longs. Ensuite, il y a 4 à 5 feuilles préexistantes dans la graine, donc après l'émission de 8 à 9 feuilles par l'apex après la germination la plante possède 12 à 13 feuilles et atteint la « maturité sexuelle ». L'initiation de la panicule va se produire si les conditions du milieu le permettent. Si les conditions l'interdisent, en jours longs en particulier mais aussi en réponse à des températures fraîches, la phase végétative va se poursuivre mais à un rythme ralenti. En effet à ce moment les rythmes d'émission et d'apparition sont brusquement réduits d'un facteur deux. A une feuille près ces données sont communes aux trois variétés étudiées. Il apparaît que ces modifications des rythmes phénologiques jouent un rôle majeur dans l'allongement du cycle levée-feuille drapeau en réponse à la photopériode.
2. Le profil de surface des feuilles de chaque tige dépend de la date de l'initiation paniculaire. Les conséquences de la diminution d'une seule unité du nombre total de feuilles de la tige dépassent très largement la perte d'une seule unité de surface et le phénomène s'accélère avec chaque nouvelle feuille manquante. La réduction résultante de LAI est telle qu'elle peut expliquer tout ou grande partie de la réduction de rendement liée au semis tardif, à densité égale.
3. La croissance en masse des variétés dont le cycle s'est allongé en réponse à la photopériode passe par un minimum entre la fin de l'élongation du dernier entre-nœud et le début du remplissage des grains. Dans ces conditions les pertes de MS sont plus rapides chez le guinea Nazongala à Bambey. De même à la fin du remplissage du grain les tiges perdent plus rapidement du poids chez le guinea CSM 335 à Samanko que chez les autres variétés.
4. Le nombre de grain/panicule est la composante du rendement la plus variable en réponse aux modifications du milieu. A l'inverse le poids de grain semble peu variable dans une large gamme d'environnements conformes aux conditions habituelles de culture.
5. Le rapport grain/biomasse des guinea est faible et décroît rapidement quand la production de biomasse augmente. La taille, caractérisée par le nombre de branches

paniculaires et le nombre de grains, de la panicule paraît atteindre rapidement une taille maximale infranchissable. Cela rend ce type de variété impropre à l'intensification.

6. Le tallage a diminué avec la densité et avec le retard dans le semis. Cette composante du rendement devra être étudiée plus précisément en relation avec le taux de croissance en masse et la date de semis
7. Les mesures de longueur d'entre-nœuds ont montré que la croissance de la tige s'effectue à des rythmes variables en relation avec la date de l'initiation paniculaire, au même titre que le développement de la surface foliaire. Les données en cours d'acquisition permettront de simuler la croissance quotidienne de la tige.

Bibliographie

- Borrill, M. 1959. Inflorescence initiation and leaf size in some Gramineae. *Ann. Bot.* 23: 217-227.
- Clerget, B. 1999. Etude comparée de la croissance et du développement de deux variétés de sorgho de race caudatum et guinea. INA-PG. Paris: 32 p.
- Clerget, B. 2000. Compte-rendu d'expériences. Janvier-mai 2000. Phénologie de Nazongala, Sarioso 10 et IRAT 174. Montpellier, France, CIRAD.
- Diallo, I. 2000. Etude comparative de la croissance et du développement de trois variétés de sorgho en fonction de la date de semis. IPR. Katibougou, Mali: 22 p.
- Gigou, J. 1997. Les contraintes aux systèmes de cultures coton-céréales dues à l'acidité. Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre, CIRAD. Montpellier, France.
- Goldsworthy, P. R. 1970. The canopy structure of tall and short sorghum in Nigeria. *Journal of Agriculture Science* 75: 123-131.
- Goldsworthy, P. R. 1970. The growth and yield of tall and short sorghums in Nigeria. *J. Agric. Sci., Camb.* 75: 109-122.
- Lafarge, T. 1998. Analyse de la mise en place de la surface foliaire du sorgho-grain (*Sorghum bicolor* L. Moench) au champ. Orsay, France, Paris-Sud: 69 p.