

Importance du photopériodisme chez les sorghos tropicaux, conséquences pour un programme de sélection

M. KOURESSY, M. OUATTARA

Ier-Crra, Sotuba, BP 438, Bamako, Mali

M. VAKSMANN

Ier-Cirad, BP 1813, Bamako, Mali

Résumé — En Afrique de l'Ouest, la vulgarisation des lignées améliorées de sorgho s'est heurtée à la grande rusticité des variétés locales moins sensibles aux rigueurs du climat. Au Mali, l'extrême diversité des situations environnementales a entraîné une sélection adaptative des sorghos par les agriculteurs. Les paysans utilisent des céréales photopériodiques dont la durée du cycle varie en fonction de la date de semis. Ce comportement photopériodique permet l'ajustement du cycle des cultures aux longueurs probables de la saison des pluies. Il augmente la régularité de la production mais il est encore, dans une large mesure, méconnu des programmes de recherche agronomique. L'étude du comportement d'une petite prospection permet de montrer que le photopériodisme est une caractéristique générale des sorghos maliens qui épie environ deux semaines avant la fin de la saison des pluies de leur zone d'origine. Une variété locale de race caudatum tardive et naine a été identifiée et des croisements ont été réalisés avec une variété améliorée (E 35-1). Les résultats montrent que le photopériodisme dépend d'un gène majeur dominant ; la transmission de ce caractère est donc aisée. Le caractère de nanisme a été conservé ; il est indépendant de la précocité. Ces résultats ouvrent de nouvelles voies pour les programmes d'amélioration en zone Centre et Sud du Mali. Le photopériodisme ne doit plus être considéré comme un inconvénient. La recherche doit respecter et maîtriser ce caractère pour en faire bénéficier le matériel végétal en cours de création.

Abstract — The importance of photoperiod response in tropical sorghum and its consequence for breeding programs.

The adoption of newly bred varieties in West Africa has so far been limited due to the high hardiness of local landraces which are less sensitive to adverse climatic constraints. In Mali, farmers have selected highly adaptative sorghums for the tremendous diversity of the environmental situations. These farmers sow photoperiod sensitive sorghums whose photoperiod response enables the crops to adapt their cycle to the length of the rainy season. Although this increases yield stability it is often overlooked by agricultural research. The study of a small collection shows that photoperiod sensitivity is a general characteristic of Malian sorghums. The booting stage takes place about two weeks before the end of the rainy season

in their area of origin. A late, photoperiod sensitive, dwarf, local caudatum cultivar has been identified and crossed with an improved variety (E 35-1). The results show that the photoperiod sensitivity depends on one major dominant gene; it is therefore an easily transferable trait. The dwarfness trait could be maintained and is independent of earliness. These results open new avenues for breeding programs in Central and Southern Mali.

La démarche agronomique moderne cherche à remplacer les variétés locales par des produits plus performants, adaptés à un milieu bien maîtrisé et non limitant. Pourtant, en Afrique de l'Ouest, cet objectif se heurte à la grande rusticité des variétés locales moins sensibles aux rigueurs du climat.

L'activité agricole africaine s'exerce dans un contexte de risques permanents. Les variétés traditionnelles des paysans sont très diversifiées et résultent d'une longue période de sélection dans leur milieu. Cependant, peu de recherches ont été faites sur les relations entre les écotypes locaux et les conditions du milieu.

Les nouvelles variétés proposées par la recherche sont peu adaptées aux systèmes extensifs d'Afrique de l'Ouest et leur taux d'adoption est très faible (Stoop *et al.*, 1981). En dépit de leur potentiel élevé, ces variétés se comportent mal lorsqu'elles se trouvent dans les conditions difficiles du milieu paysan.

Les sorghos ont développé des formes très variées et des comportements particuliers qui augmentent la régularité de leur production et sont encore, dans une large mesure, méconnus des programmes de recherche agronomique. Un des principaux caractères est le photopériodisme qui permet l'ajustement de la durée du cycle à la durée probable de la saison des pluies.

Une contrainte majeure de la sous-région est la variabilité de la date d'arrivée des pluies qui entraîne une grande incertitude sur les dates de semis. Le photopériodisme des céréales du Mali peut être considéré comme une réponse à cette variabilité car il permet de moduler la durée du cycle avec la date de semis. De cette façon, la floraison est groupée à la fin de la saison des pluies, ce qui permet d'éviter les dégâts causés par les oiseaux ou les moisissures en cas de floraison trop précoce, ou les stress hydriques en cas de floraison tardive (Cochemé et Franquin, 1967 ; Curtis, 1968a ; Andrews, 1973 ; Kassam *et al.*, 1975 ; Vaksman et Traoré, 1994 ; Vaksman *et al.*, 1996 ; Ouattara *et al.*, 1997).

Pour augmenter la productivité des sorghos africains, l'amélioration du rapport grain/paille a été un des objectifs prioritaires des programmes de sélection. En diminuant l'exubérance des pailles des variétés locales, on cherchait à améliorer l'efficacité des engrais par l'augmentation des densités de semis. Deux voies principales ont été explorées :

- l'introduction de gènes de nanisme pour réduire la taille des entre-nœuds ; la plupart des variétés modernes de sorghos sont naines et produisent une tige très courte permettant la mise en place de la culture sous une densité très forte ;
- la diminution de la durée du cycle pour diminuer la paille produite ; l'élimination du photopériodisme des sorghos a été le moyen préférentiellement utilisé.

On remarque que ces deux objectifs ont rarement été menés séparément, les variétés naines obtenues sont généralement précoces. Les sécheresses des années 70 au Sahel ont conforté les programmes d'amélioration dans ce sens, on estimait que l'obtention de cultivars précoces résoudrait le problème des saisons de pluies plus courtes (Lambert, 1983). Toutefois, l'expérience montre que, si les nouveaux cultivars sont potentiellement très productifs, les risques qu'ils font courir aux agriculteurs, en raison de leur manque de souplesse face à la variabilité de la date d'arrivée des pluies, les rendent inaptes à la culture en zone sud du Mali.

Les sélectionneurs éprouvent de grandes difficultés à améliorer les rendements des variétés photosensibles. Ce matériel a généralement un potentiel de rendement très bas. Les principaux problèmes sont :

- le contrôle du photopériodisme est très probablement polygénique, ce qui le rend difficile à utiliser dans un programme de sélection ;
- les variétés photopériodiques ont une bande restreinte d'adaptation ; la longueur du jour change en fonction des latitudes et chaque variété possède ses exigences propres ;
- l'utilisation de gènes de nanisme est difficile en raison du grand nombre de feuilles produites par la plante, ce qui provoque un empilement de feuilles préjudiciable à la culture.

Pour augmenter la résistance aux stress climatiques, la recherche se tourne vers une meilleure connaissance des écotypes traditionnels pour comprendre et exploiter leur caractère photopériodique. Dans cette étude, nous cherchons à évaluer la possibilité d'introduire le photopériodisme dans du matériel amélioré pour définir dans quelle mesure le maintien de ce caractère est compatible avec l'intensification de la production. A terme, il s'agit de pouvoir proposer aux paysans des variétés conciliant les aspects de productivité et de stabilité de rendement.

Matériel et méthode

Prospection et caractérisation des variétés

Une prospection des différents écotypes de sorgho a été réalisée sur un transect nord-sud du Mali, de Sokolo (latitude 14° 44' nord) à Kadiolo (latitude 10° 33' nord). Soixante-neuf écotypes ont été recueillis auprès des paysans de 44 villages. Sur l'ensemble des lots, la durée du cycle a été déterminée en fonction de la date de semis. Pour cela, un essai a été implanté à la station de recherche agronomique de Sotuba (latitude 12° 39' nord, longitude 7° 56' ouest), avec un dispositif en split-plot à deux répétitions. Les facteurs étudiés ont été : la date de semis (facteur principal) et la variété (facteur secondaire). Les semis ont été réalisés le 13 juin et le 15 juillet 1996.

Introduction du photopériodisme dans du matériel amélioré

La plupart des variétés de sorghos améliorées productives sont de la race caudatum et de taille courte. L'identification au cours de notre prospection d'un sorgho de ce type, à la fois nain et photopériodique (Souroukokuou), nous a incités à tenter le transfert de ce caractère dans un cultivar amélioré (E 35-1).

Une étude de la croissance et du développement des deux variétés parentales a été effectuée à Sotuba. Une attention particulière a été portée à la production en biomasse de la tige.

Les parents et les descendances de première et seconde génération (F_1 et F_2) ont fait l'objet d'une étude de leur phénologie et de leur morphologie. Le semis a été réalisé le 1^{er} juillet 1996. Mille trois individus de la deuxième génération (F_2) ont été suivis. La durée (Sfd) allant du semis à l'apparition de la dernière feuille ligulée (feuille drapeau) a été particulièrement étudiée. La mesure du nombre d'entre-nœuds et de la taille de la tige a permis de calculer une longueur moyenne des entre-nœuds.

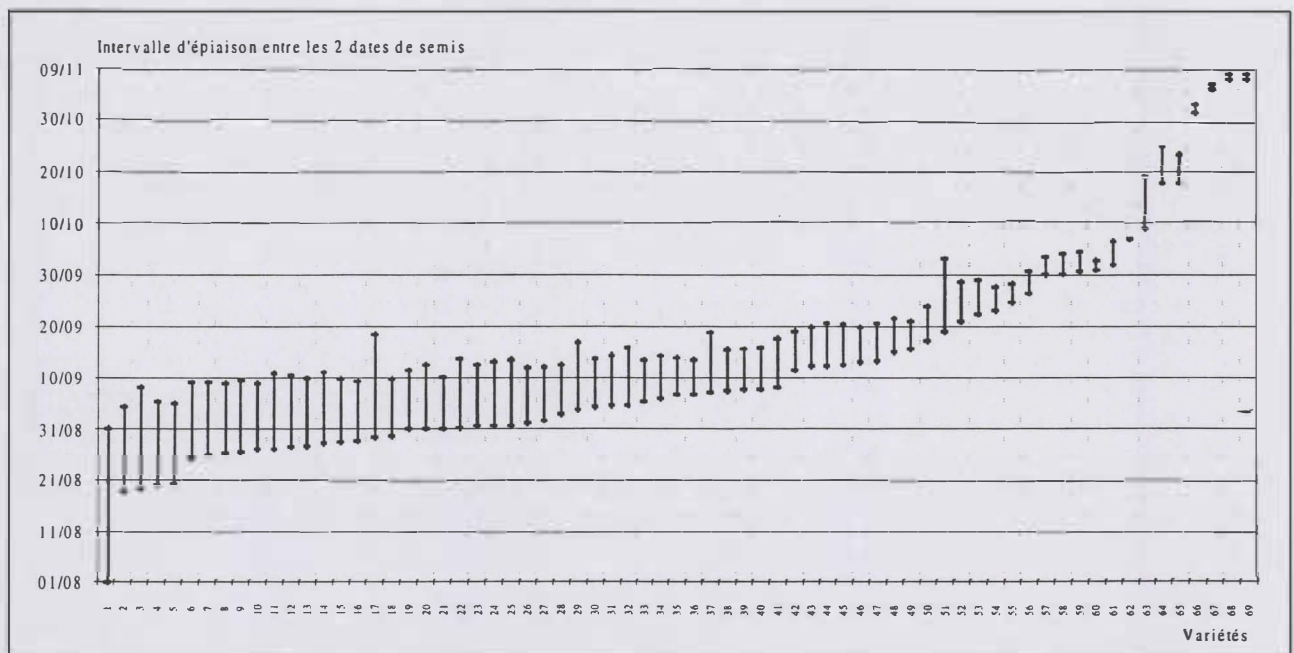


Figure 1. Caractérisation de la prospection de sorghos maliens. Chaque bâtonnet représente les dates d'épiaisons d'une variété. L'extrémité inférieure correspond au semis du 13 juin et l'autre extrémité au semis du 15 juillet.

Résultats et discussion

Photopériodisme des sorghos locaux

La figure 1 représente le diagramme des différences de durée de cycle des variétés collectées selon les dates de semis. Pour chaque variété, on donne les dates d'épiaisons pour les semis de juin et de juillet.

Les bâtonnets correspondant aux variétés photopériodiques sont de faible amplitude car la floraison est groupée. Pour une variété insensible à la photopériode, la taille du bâtonnet est de 30 jours et correspond à l'écart entre les deux semis. D'une manière générale, plus les variétés sont tardives, plus elles sont photosensibles. Sur 69 variétés collectées, un seul cultivar non-photopériodique a été identifié au nord du pays.

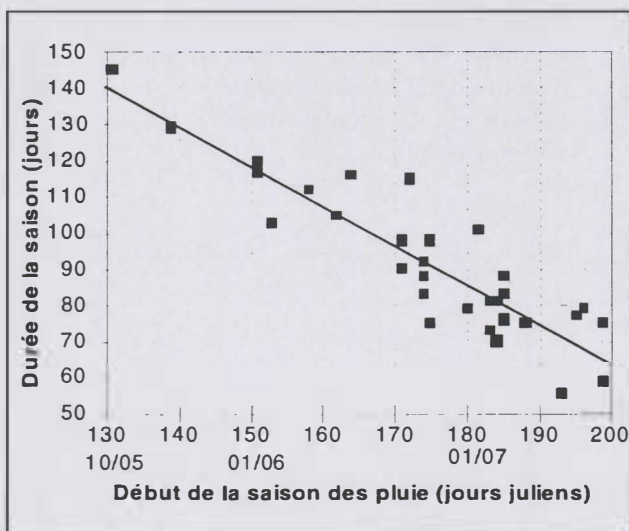


Figure 2. Relation entre la date de début de la saison des pluies et la durée de la saison des pluies à Ségou sur la période (1960-1990). Chaque point correspond à une année.

La figure 2 donne la relation entre les dates de début et la durée de la saison des pluies à Ségou sur une période de trente ans (1960-1990). La relation est hautement significative : un début précoce des pluies (par rapport à la moyenne) implique une durée de saison plus longue. Réciproquement, si le début est tardif, la saison sera plus courte. Ce comportement, caractéristique du climat soudano-sahélien (Sivakumar, 1988), découle de l'indépendance des dates de début et de fin de saison (Vaksmann *et al.*, 1996) et du fait que l'incertitude sur la date d'arrivée des pluies est plus grande que celle sur la date de fin des pluies (Sivakumar, 1990). C'est pourquoi la durée semis-épiaison des sorghos photopériodiques diminue avec le retard de semis. Ce comportement permet l'ajustement des cultures aux longueurs probables de la saison des pluies, et compense ainsi la variabilité du climat.

En plus de l'incertitude sur le démarrage de la saison des pluies, de nombreuses contraintes pèsent sur les paysans et entraînent un étalement des semis. Chaque année, les semis commencent à peu près dès l'installation des pluies et s'étaient dans le temps. En moyenne, le semis débute 10 jours après l'installation

des pluies et se poursuit sur 35 à 45 jours (Ouattara, 1996). Les raisons de l'étalement des semis sont multiples, on note principalement :

- l'installation erratique des pluies qui provoque une vague de semis après chaque pluie ;
- l'ordre d'implantation des spéculations (coton, maïs, mils et sorghos, etc.) ;
- le manque de matériel agricole ;
- les coutumes : les fêtes de début d'hivernage, les mariages, etc.

Ainsi, la durée de la période de culture et donc le potentiel de la saison résulte à la fois de la date d'installation de l'hivernage et de l'étalement naturel des semis dû aux systèmes des cultures. L'incertitude sur les dates de semis constitue une contrainte essentielle de la production en milieu rural africain. Les variétés photopériodiques s'adaptent bien à cette incertitude car elles permettent de réguler la durée du cycle.

La figure 3 schématise les différents types de comportements rencontrés sur un terroir. La date moyenne de fin de la saison des pluies est représentée par un trait vertical discontinu. L'étalement moyen des semis est représenté par un trait horizontal discontinu.

L'étalement de l'épiaison est représenté par un trait horizontal continu. On observe des variétés précoces qui épient environ de 30 à 40 jours avant la fin des pluies, des variétés de saison qui épient de 10 à 20 jours avant la fin des pluies et des variétés tardives qui peuvent épier un mois après la fin des pluies.

Les variétés de saison représentent la majorité des surfaces emblavées et constituent l'essentiel de la production et des stocks.

Caractérisation du matériel

L'étude de la prospection a permis d'identifier un sorgho local de type caudatum (Souroukougou) photopériodique et nain. Cet écotype présentait toutes les caractéristiques des variétés améliorées (taille courte, panicule compacte) mais il était extrêmement tardif car originaire d'une zone pluvieuse du Mali (Loulouni, 1 200 mm). Son cycle semis-feuille drapeau varie de 200 jours, pour un semis de mars, à 63 jours pour un semis de septembre.

Cette variété a été choisie pour introduire le photopériodisme dans un matériel amélioré : E 35-1 de type Zera-Zera provenant de la collection de l'Icrisat. E 35-1 est précoce et très faiblement photopériodique.

La figure 4 montre l'évolution au cours du temps de la matière sèche des tiges des deux variétés. La production de tige commence environ le 30^e jour après semis et se termine à l'épiaison.

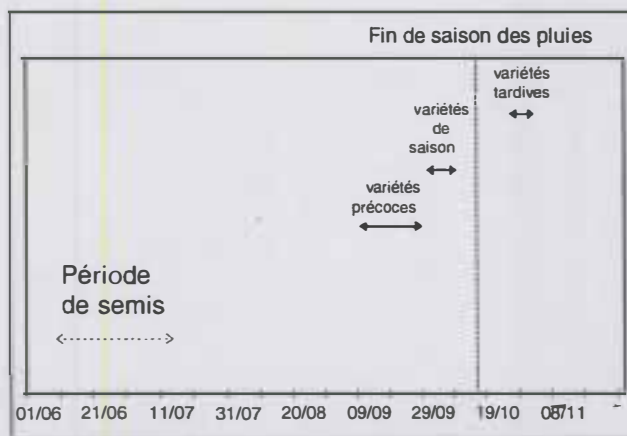


Figure 3. Stratégies de choix variétal en fonction des objectifs de production et des contraintes climatiques. Etalement des semis et périodes de floraison. Exemple de Sikasso.

Pour E 35-1, la production de tige se termine le 80^e jour avec 8 000 kg/ha. Le rythme de croissance est approximativement de 160 kg de tige/ha/jour.

Pour Souroukougou, la production se termine au 150^e jour avec 10 000 kg/ha. Le rythme de croissance est de 80 kg/ha/jour.

On voit que le taux de croissance des tiges pour E 35-1 est le double de celui de la variété locale Souroukougou. Cela est, en partie, dû au nanisme plus prononcé de Souroukougou. Toutefois, en raison de l'importance de la durée du cycle de la variété naine locale, sa biomasse finale produite est plus importante.

Transfert du photopériodisme

Les objectifs du croisement réalisé entre E 35-1 et Souroukougou sont les suivants :

- obtenir des variétés photopériodiques à différents niveaux de précocité, intermédiaires entre les deux parents (durée semis-dernière feuille entre 90 et 130 jours) ;

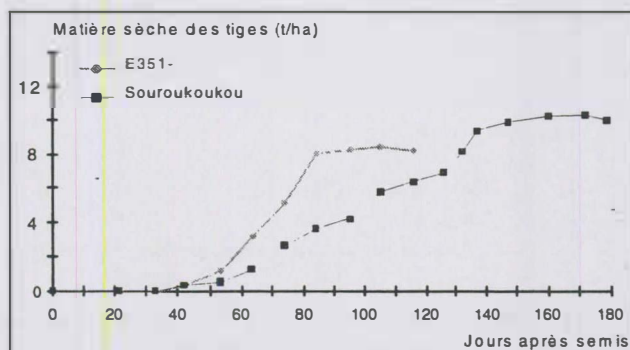


Figure 4. Evolution de la biomasse des tiges pour les deux variétés de sorghos.

- conserver les faibles taux de croissance de Souroukoku ;
- conserver la qualité du grain d'E 35-1.

La figure 5 présente l'histogramme des durées semis-feuille drapeau dans la deuxième génération (F_2) pour un semis du 1^{er} juillet de 1 003 individus. Les durées des parents et de la première génération (F_1) sont aussi indiquées.

L'allure de l'histogramme est très nettement bimodale : environ un quart des plants (276 individus) ont une précocité inférieure à 85 jours tandis que trois-quart des plants (727 individus) sont plus tardifs (semis-dernière feuille > 85 jours). La précocité de la génération F_1 est centrée sur celle des plants tardifs.

La répartition, trois-quart et un quart, montre qu'entre ces deux variétés la tardiveté est sous la dépendance d'un gène majeur dominant. L'expérience montre que les variétés tardives sont généralement photopériodiques, il est donc probable que ce gène à l'état récessif diminue ou supprime la réponse photopériodique.

A côté de ce gène majeur, de nombreux gènes mineurs interviennent pour modifier la réaction photopériodique, ce qui justifie que peu d'individus soient aussi tardifs que le parent Souroukoku.

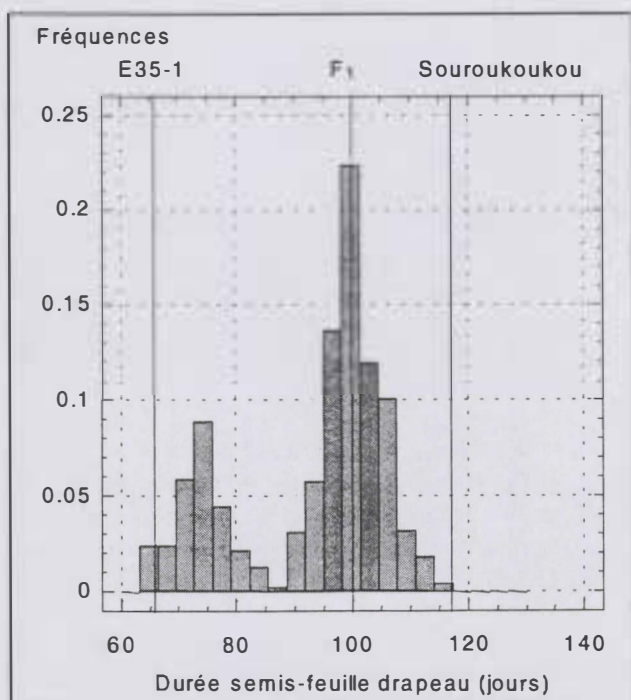


Figure 5. Histogramme de répartition des durées de la période végétative en deuxième génération, positionnement des parents E 35-1 et Souroukoku et de la première génération (F_1).

Transfert du nanisme

La taille moyenne des entre-noeuds est une mesure du degré de nanisme (Chantereau, non publié). L'étude de la répartition de la taille des entre-noeuds des hybrides F_2 montre une répartition homogène de ce caractère entre les deux groupes de précocité (figure 6) :

- dans le groupe précoce (75 jours en moyenne de cycle végétatif), la taille moyenne des entre-noeuds est 12,4 cm avec un écart-type de 3,2 cm ;
- dans le groupe tardif (101 jours en moyenne de cycle végétatif), la taille moyenne des entre-noeuds est 12,2 cm avec un écart-type de 2,6 cm

Dans chacun des deux groupes de précocité, la répartition des tailles des entre-noeuds est identique (moyenne-écart-type). Ces deux caractères sont indépendants. La sélection de descendances tardives de taille courte sera donc facile et pourrait aboutir à l'obtention de variétés rustiques adaptées à l'incertitude climatique et potentiellement productives dans des conditions d'intensification agronomique, particulièrement en zone Sud du Mali.

Conclusion

En Afrique soudano-sahélienne, l'activité agricole s'exerce dans des conditions extrêmement complexes et variées. Pour s'adapter au gradient climatique, à la variabilité interannuelle de la saison des pluies, à l'étalement des semis et à la position sur la toposéquence, les sorghos du Mali utilisent la sensibilité à la photopériode. L'absence d'attention portée, jusqu'à présent, au caractère « sensibilité à la photopériode », dans les programmes d'amélioration des plantes, explique certainement la faible diffusion des variétés améliorées dans le milieu rural africain.

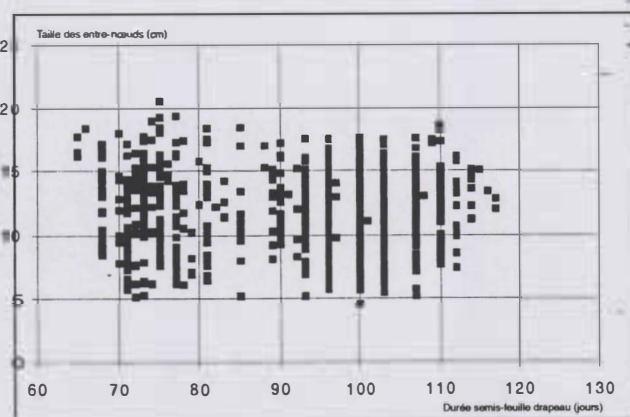


Figure 6. Comparaison de la durée de la période végétative et de la taille moyenne des entre-noeuds du croisement E 35-1 x Souroukoku en deuxième génération.

A côté des variétés en phase avec la fin de saison des pluies, il en est d'autres, plus précoces et plus tardives, également photopériodiques mais différemment calées. Elles témoignent d'une stratégie paysanne de gestion des cultivars tenant compte des risques. Suivant les cas, les paysans recherchent la précocité pour éviter la disette (soudure) ou des productions plus tardives pour éviter les oiseaux et les moisissures.

En terme de phénologie, l'adéquation d'une variété à une écologie demande une grande précision. Une floraison mal ciblée, trop précoce ou trop tardive de 10 jours suffit à faire échouer la culture (Curtis, 1968b). Les programmes de vulgarisation agricoles se heurtent à une méconnaissance des cultivars (notamment de leur réaction à la photopériode) associée à une ignorance des conditions dans lesquelles les variétés seront cultivées. Ce constat fait ressortir la nécessité :

- d'une collecte la plus large possible de l'information sur le milieu, les variétés et les stratégies paysannes ;
- de caractériser systématiquement le comportement des variétés en cours de sélection pour leur réponse à la photopériode ;
- de pouvoir tester précocement le comportement du matériel en cours de création dans les conditions de culture du milieu paysan afin d'identifier les contraintes et d'assurer un retour rapide de l'information vers les chercheurs concernés.

Les premiers résultats issus des descendance de croisements montrent qu'il n'y a pas d'obstacle à l'introduction du photopériodisme dans du matériel amélioré. La réaction photopériodique dépend d'un gène majeur dominant compatible avec le caractère de nanisme essentiel à l'obtention de variétés productives. Ce travail doit déboucher sur la mise au point d'une gamme de variétés photopériodiques, de taille courte et de bonne qualité du grain qui pourront servir de base à l'utilisation du photopériodisme par les programmes d'amélioration du sorgho.

Références bibliographiques

- ANDREWS D. J., 1973. Effects of date of sowing on photosensitive Nigerian Sorghums, *Expl., Agric.* 9 : 337.
- COCHEME J., FRANQUIN P., 1967. A study of the agroclimatology of the semiarid area south of the Sahara in West Africa. *Fao/Unesco*, 325 p.
- CURTIS D.L., 1968a. The relation between the date of heading of Nigeria sorghum and the duration of the growing season. *J. Appl. Ecol.* 5 : 215-226.
- CURTIS D.L., 1968b. The relation between yield and date of heading in Nigerian sorghums. *Expl. Agric.* 4.
- KASSAM A.H., ANDREWS D.J., 1975. Effects of sowing date on growth, development and yield of photosensitive sorghum at Samaru, Northern Nigeria. *Expl., Agric.*, 11 : 227-240.
- LAMBERT C., 1983. L'Irat et l'amélioration du mil. Présentation des travaux. *L'Agronomie tropicale* 38 (1) : 78-88.
- OUATTARA M., 1996. Savoirs paysans et prise en compte des risques climatiques dans la production du sorgho. Cas des paysans de la zone de Loulouni. *Mémoire de Dea, Isfra, Mali*, 32 p.
- OUATTARA M., VAKSMANN M., REYNIERS F.N., NIANGADO O., KOURESSY M., 1997. Diversité phénologique des sorghos du Mali et adaptation à la diversité des agro-écosystèmes. Mise en valeur d'un savoir. Communication présentée au colloque Gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes, Bamako, 17-28 février 1997, à paraître.
- SIVAKUMAR M.V.K., 1988. Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian Climatic Zones of West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology* 42 : 295-305.
- SIVAKUMAR M.V.K., 1990. Exploiting rainy season potential from the onset of rains in the Sahelian zone of West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology* 51 : 321-332.
- STOOP W. A., PATTANAYAK C. M., MATLON P. J., ROOT W. R., 1981. A strategy to raise the productivity of subsistence farming systems in the west African semi-arid tropics. *In Proceedings « sorghum in the Eighties »*, Icrisat, 2-7 November 1981, A.P., India. p. 519-526.
- VAKSMANN M., TRAORE S.B., 1994. Adéquation entre risque climatique et choix variétal du mil. *In Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale*. Ed. John Libbey Eurotext. Paris, France, p. 113-123.
- VAKSMANN M., TRAORE S., NIANGADO O., 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et développement* 9 : 13-18.