

Décembre 2014  
volume n° 4 / numéro n° 2  
www.agronomie.asso.fr

# Agronomie

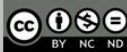
## environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie



## Variétés et systèmes de culture

Quelle co-évolution ? Quelles implications pour l'agronomie et la génétique ?



Agronomie, Environnement & Sociétés est une revue à comité de lecture et en accès libre éditée par l'Association Française d'Agronomie (AFA) sous le numéro ISSN 1775-4240. Plus d'informations [www.agronomie.asso.fr/aes](http://www.agronomie.asso.fr/aes). L'AFA est une association à but non lucratif qui publie des travaux en accès libre.

Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons 2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

## Effets de la latitude sur l'expression du photopériodisme du mil et sorgho : Validation des cartes d'adaptation variétale au Mali

Aichata FOUNÉ - Mohamed SAKO<sup>1,3\*</sup>  
Michel VAKSMANN<sup>2</sup>  
Mamoutou KOURESSY<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ICRISAT - Boîte Postale 320 - Samanko - Mali

<sup>2</sup>CIRAD - Avenue Agropolis - 34398 Montpellier - France

<sup>3</sup>Université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis - Département de Géographie - EDSS Saint-Denis - France

<sup>4</sup>IER, CRRRA de Sotuba - Bamako - Mali

\* Auteur correspondant: [a.sako@cgiar.org](mailto:a.sako@cgiar.org)

### Résumé

Dans la zone soudano-sahélienne la variabilité climatique inter et intra saisonnière est importante et conditionne le potentiel de production des cultures. L'incertitude principale porte sur les dates de début et de fin des pluies. Le photopériodisme des variétés locales de mils et sorghos permet la synchronisation de la floraison avec la date moyenne de fin des pluies. La détermination des zones d'adaptation des géotypes nécessite la connaissance du développement phénologique qui dépend étroitement de la durée du jour et de la latitude du lieu de culture. Les modèles de croissance des plantes prennent insuffisamment en compte les effets de la latitude sur l'expression du photopériodisme. Un indice simple d'adaptation variétale basé sur l'écart entre les dates d'épiaison et de fin de la saison des pluies permet de générer des cartes d'adaptation variétale.

Une prospection variétale a été réalisée sur des transects latitudinaux dans 20 villages des zones d'adaptation de la variété de mil Bofoué et de la variété de sorgho Ceblen, deux variétés vulgarisées au Mali. Les variétés prospectées dans ces villages montrent un comportement phénologique similaire aux deux variétés témoins.

Ce résultat valide les limites latitudinales des bandes d'adaptation variétale au niveau des agrosystèmes villageois. Le concept de « précocité » des accessions est relatif et spécifique à chaque latitude. Nos résultats donnent une idée plus précise de la complexité des interactions Géotype x Environnement x Technique culturelle et permettent de comprendre les stratégies et techniques d'adaptation aux risques environnementaux adoptés par les paysans. Les outils cartographiques développés ouvrent de nouvelles perspectives en définissant le concept « d'adaptation spécifique » à chaque environnement dans les agrosystèmes villageois. Ces cartes permettent d'extrapoler notre connaissance de la variabilité du développement des variétés dans divers systèmes de cultures, et d'aider au processus de création et de diffusion de variétés aux niveaux local, national et régional.

### Mots-clés

Phénologie, photopériodisme, Interaction Géotype x Environnement, Adaptation variétale, Agrosystème.

## Introduction

Le sorgho (*Sorghum bicolor*) et le mil (*Pennisetum glaucum*) représentent 80% de la production céréalière totale de la zone et y assurent la sécurité alimentaire de plus de 100 millions d'Africains (Sagnard *et al.*, 2008). Entre 1990 et 2000, la production du sorgho et du mil a augmenté régulièrement, tandis que les rendements sont restés stables et faibles, voisins de 500 Kg/ha en zone sahélienne et de 1 t/ha en zone soudanienne (Clerget, 2004). Jusqu'à présent, c'est l'augmentation des superficies cultivées qui a permis de satisfaire l'augmentation de la demande mais la saturation progressive de l'espace rural et l'abandon de la culture itinérante rend nécessaire l'intensification des techniques et l'augmentation des rendements. En Afrique de l'Ouest, et principalement dans la zone soudano-sahélienne, la durée du cycle d'une plante est un caractère essentiel de l'adaptation au milieu (Kouressy *et al.*, 2008). Ceci est d'autant plus vrai dans ces régions où la variabilité inter et intra saisonnière est caractérisée par l'incertitude d'installation des dates de début et de fin des pluies (Sivakumar, 1988, Traoré *et al.*, 2007). Les programmes d'amélioration, pour développer des variétés plus productives avec une large adaptation géographique, ont cherché à introduire des variétés exogènes, précoces et productives, en négligeant les qualités propres à la biodiversité locale. Le nouveau matériel ainsi développé s'est révélé inadapté à l'usage. Les analyses de cet échec montrent à présent que plusieurs critères essentiels d'adaptation à l'environnement n'ont pas été suffisamment pris en compte, parmi lesquelles figure le photopériodisme.

En Afrique Soudano-Sahélienne, le début de saison est extrêmement variable d'une année sur l'autre, nettement plus que la date de fin des pluies. De nombreux sorghos et mils d'Afrique de l'Ouest sont photopériodiques ce qui leur confère un important avantage évolutif en modulant la durée du cycle en fonction de la variabilité interannuelle des dates de début de saison des pluies (Vaksmann, 1996, 1998 ; Craufurd *et al.*, 1999 ; Summerfield *et al.*, 1999). Ce caractère permet d'éviter de nombreuses contraintes biotiques (oiseaux, cecidomyies, *Atherigona soccata*) et limite l'occurrence des sécheresses terminales en évitant les floraisons trop tardives.

La floraison de variétés photopériodiques est généralement groupée dans les 20 jours qui précèdent la fin des pluies de leur zone d'origine (Kouressy *et al.*, 2008) quel que soit la date de semis. Un indice simple d'adaptation variétale basé sur l'écart entre la date d'épiaison de la variété et la date de fin de la saison (Soumaré *et al.*, 2008) peut être interpolé dans l'espace pour générer des cartes d'adaptation variétale.

Cette méthodologie utilise des modèles de développement pour prédire la date de floraison des différentes variétés en fonction du lieu de culture et de la date de semis. Toutefois, les modèles utilisés tels que DSSAT ou SarraH (Folliard *et al.*, 2004 ; Dingkuhn *et al.*, 2008) semblent avoir sous-estimé les effets de la latitude sur le développement des plantes. Des études récentes ont montré que les coefficients des modèles n'étaient pas stables avec la latitude (Abdulai *et al.*, 2012). Une variété pouvait avoir un comportement précoce insensible à la photopériode dans le sud de la zone étudié et

devenir tardive et photopériodique dans le nord. En conséquence les aires d'adaptation prédites étaient imprécises et ne pouvaient pas être utilisées comme outils d'aide à la décision sans avoir été validées localement au préalable. Des essais conduits sur un large gradient latitudinal et sur un échantillon représentatif de cultivars de sorghos et mils photopériodiques montrent que l'effet de la latitude sur l'expression photopériodique des géotypes est proportionnel à la distance latitudinale entre le site d'essai et leur zone d'origine (Sako et al., en soumission).

L'objectif de cette étude est d'évaluer au niveau des agro-systèmes villageois, la validité des zones d'adaptation variétale prévues par le modèle et d'accéder à l'expertise paysanne locale en matière de choix variétale et de distribution spatiale des variétés en fonction du paysage.

Une validation participative des zones d'adaptations variétales des sorghos et mils photopériodiques au niveau de transects dans les agroécosystèmes villageois constitue une étape préparatoire nécessaire à l'élargissement du modèle à d'autres espèces présentant des traits d'adaptation similaires (Riz, Niébé, etc.), et à sa vulgarisation auprès des programmes de sélection et d'amélioration variétale en Afrique de l'Ouest.

## Matériels et méthodes

Id	Espec	Accession	Nom vernaculaire	Race / type (enregister)	Pays	Région	Localité	Ethnicité	Longitude	Latitude	Pluviométrie annuelle (mm)	Durée cycle moyen (jours)	Sensibilité à la Photoperiode
1	Mil	Variété locale	Bofoué	-	Mali	Segou	Tominian	Bwa	-4.59	13.28	600-800	84	élevé
2	Sorgho	CSM335	Ceblen	Guinea	Mali	Samanko / Mali	ICRISAT/IER	-	-8.08	12.53	800-1000	125	élevé

Tableau 1 : Délimitation des zones d'adaptation variétales

### Matériels génétiques et sites de prospection variétale

Dans les zones d'adaptation précédemment définies, vingt villages situés à 50 km de part et d'autre d'un transect latitudinale ont été sélectionnés pour des enquêtes et des prospections variétales (Tableau 2 page suivante).

### Enquêtes et prospections variétales

Deux phases d'enquêtes et de prospections variétales ont été réalisées en fonction du calendrier agricole comme suit :

i/ Une première phase d'enquêtes et de prospections de la prédominance variétale des deux accessions témoins à l'intérieur des limites latitudinales des zones d'adaptation variétale des sites à l'intérieur du transect d'étude durant la période dite de post-semis (Juillet).

ii/ Une seconde phase d'enquêtes et de prospections variétales de la distribution spatiale des accessions en fonction de la toposéquence et de la durée du cycle durant la période post-floraison (Octobre) dans les villages témoins de *Bassala* et de *Fassa*. Sur chacun des sites d'étude, les exploitations agricoles ont été choisies en fonction de leur disponibilité, de l'âge, de la taille de l'exploitation agricole et de sa localisation en fonction de la toposéquence.

Dans chacun des deux villages témoins, un échantillonnage représentatif d'exploitations d'agricoles (au moins 30% du nombre total d'exploitations agricoles référencées dans le village) a été établi par l'intermédiaire du chef de village et

## Modèle de développement des sorghos et mils photopériodiques

Un modèle de prévision de la phénologie utilisant la température quotidienne et la durée du jour (Dingkhun et al., 2008) permet de simuler l'initiation paniculaire des variétés de sorgho et de mil photopériodiques. L'initiation paniculaire se produit lorsque la durée du jour descend en-dessous d'un seuil (spécifique à chaque cultivar) qui dépend de l'âge de la plante et de la température. Le modèle nécessite le calcul de trois coefficients variétaux qui ont été caractérisés sur un gradient latitudinal dans les stations agronomiques de Ndiol, Sénégal (16°02N), Sadoré, Niger (14°13N), Samanko, Mali (12°53N), Wa (10°05N), Ghana et Nyankpala, Ghana (9°02N) (Sako et al., en soumission).

### Délimitation des zones d'adaptation variétales

Une variété de mil *Bofoué* (variété locale tardive, photopériodique) et une variété de sorgho *Ceblen* (variété locale épurée, tardive, photopériodique) largement diffusées au Mali ont été choisies pour la détermination de leurs zones d'adaptation au Mali (Tableau 1). Le modèle de développement permet de définir les zones d'adaptation de ces deux variétés (Figure 1 page suivante) selon la méthodologie proposées par Soumaré et al. (2008).

de ses conseillers pour la réalisation des enquêtes et prospections variétales. Chaque paysan a fourni un échantillon des variétés qu'il cultive et a été soumis à un entretien semi-directif d'enquêtes décrivant l'origine (locale ou introduction récente), la provenance (lieu), le cycle de la variété (semis, floraison), les types de sol adaptés à la culture et la position de la parcelle de culture par rapport au paysage agricole du village. Un géo-référencement des parcelles indiquées a été effectué par l'équipe en présence du chef de l'exploitation agricole.

Au total, 166 chefs d'exploitations agricoles ont été enquêtés, représentant 295 parcelles géoréférencées. La collecte de 124 variétés de sorgho et de 102 variétés de mil a été réalisée.

Sites d'enquêtes et de prospections variétales - Bofoué - Axe I							
Id	Longitude	Latitude	Pays	Région	Cercle	Commune	Village
1	-7.98	14.22	Mali	Koulikoro	Kolokani	Sagabala	Doubabougou
2	-8.09	13.89	Mali	Koulikoro	Kolokani	Didieni	Didieni
3	-8.03	14.10	Mali	Koulikoro	Kolokani	Sagabala	Segue
4	-8.13	14.26	Mali	Koulikoro	Kolokani	Sagabala	Sirado
5	-7.52	13.93	Mali	Koulikoro	Banamba	Boron	Tiemabougou
6	-7.55	13.79	Mali	Koulikoro	Banamba	Madina-Sacko	Madina-Sacko
7	-7.86	13.80	Mali	Koulikoro	Kolokani	Kolokani	Oulodo
8	-7.87	13.76	Mali	Koulikoro	Kolokani	Kolokani	Zambougou
9	-7.86	14.01	Mali	Koulikoro	Kolokani	Diedeni	Bassala
10	-8.01	13.69	Mali	Koulikoro	Kolokani	Kolokani	Tao-Zirakorobougou
Sites d'enquêtes et de prospections variétales - CSM335 (Ceblen) - Axe II							
Id	Longitude	Latitude	Pays	Région	Cercle	Commune	Village
1	-7.65	13.13	Mali	Koulikoro	Koulikoro	Koula	Koula-bambara
2	-7.63	12.83	Mali	Koulikoro	Koulikoro	Meguetana	Massala
3	-7.57	13.28	Mali	Koulikoro	Koulikoro	Sirakoroka	Sirakorola-Ouest
4	-7.67	13.18	Mali	Koulikoro	Koulikoro	Koula	Fassa
5	-7.80	13.49	Mali	Koulikoro	Kolokani	Massantola	Massantola
6	-7.94	13.06	Mali	Koulikoro	Kolokani	Nossombougou	Kodian
7	-7.73	13.05	Mali	Koulikoro	Koulikoro	Koula	Feloo-Bougoucoura
8	-7.84	13.10	Mali	Koulikoro	Koulikoro	Koula	Tiessembougou
9	-8.14	12.34	Mali	Koulikoro	Kati	Mande	Djoliba
10	-8.21	12.44	Mali	Koulikoro	Kati	Mande	Faraba

Tableau 2 : Liste des villages d'enquêtes et de prospections variétales

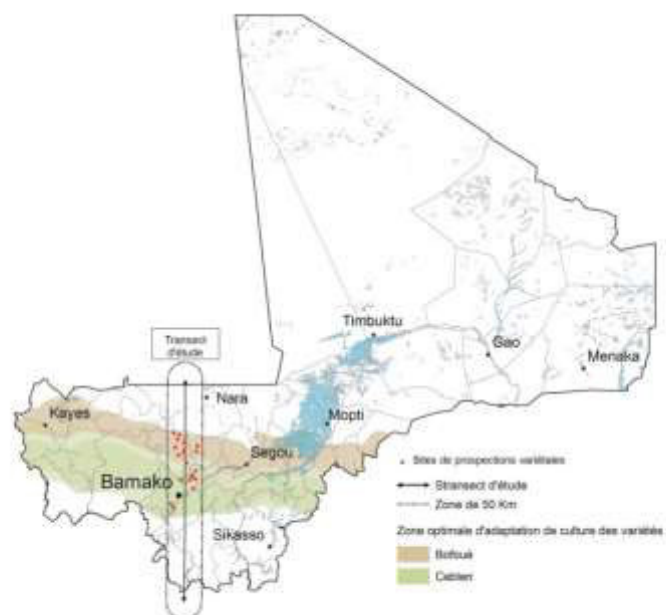


Figure 1. Carte de localisation du transect d'étude et sites d'enquêtes et de prospection variétale au Mali.

Figure 1 : carte de localisation du transect d'étude et sites d'enquêtes et de prospection variétale au Mali

## Résultats et discussions

### Prévalence variétale des bandes d'adaptation variétale

Les dates de semis pratiquées dans chaque village et les caractéristiques des variétés prospectées ont été déterminées par les enquêtes réalisées auprès des chefs d'exploitations.

Dans la zone d'adaptation de la variété de mil Bofoué, 70 échantillons de mils ont été prospectés et correspondent à 7 variétés identifiées par leur nom vernaculaire (Tableau 3a). Les variétés inventoriées sont photopériodiques, avec une durée moyenne de cycle de 75-85 jours pour un semis précoce du mois de Juin, et de 60-75 jours pour des semis tardifs de mi-juin à Juillet. Deux types de variétés de mil se côtoient dans la zone, les variétés de *Sanion* introduites et tardives (75-85 jours) et les *Souna* précoces (60-75 jours) considérés comme plus anciennement présents sur le village. Les semis se font essentiellement durant le mois de Juin, en moyenne à partir du 22 juin, avec une variabilité de 15 jours. Les variétés dites tardives sont semées en premier pour maximiser les rendements agricoles en fonction de la longueur de la saison des pluies. Les variétés à cycle court, dites précoces, sont semées en dernière position mi-juin à début-Juillet. Les floraisons surviennent en moyenne début septembre et varient de 11 jours et les périodes de récoltes

relatives en fonction des itinéraires techniques de chaque exploitation agricole s'effectuent en Novembre-Octobre.

Dans la zone d'adaptation de Ceblen, 142 échantillons de sorgho ont été prospectés et répartis en 18 variétés (Tableau 3b). La durée moyenne du cycle (semis-floraison) est de 94 jours, 110 jours pour les semis du mois de Juin et 80 jours pour les semis de mi-Juin et Juillet. Les variétés de sorgho prospectées sont photopériodiques. Seules les variétés *Seketana* et *Dereni soumalen* sont considérées par les paysans comme originaires des villages prospectés. Toutes les autres variétés sont considérées comme introduites soit en provenance d'une autre famille soit à partir d'une autre localité.

Les variétés de sorgho sont semées en moyenne mi-juin ( $\pm 14$  jours). La diversité variétale des sorghos est plus significative que celle des mils. Néanmoins les dates de floraison se situent en Septembre avec une variabilité relative de  $\pm 11$  jours.

L'analyse des fiches d'enquêtes et de prospections variétales des mils et sorghos en fonction des axes d'étude révèle que, pour le semis du mois de juin, la phénologie des variétés prospectées est semblable à celle prévue par le modèle.

(a)	Nom vernaculaire	Origine	Type	Cycle	Date de semis	Date de floraison	Date de récolte	Durée cycle moyen (j)	Nb variété	% de variété
	Sanion	Introduite	P	Moyen	15-juin	5-sept.	24-nov.	82	7	10
	Sanion tjtjoni	Introduite	P	Moyen	19-juin	4-sept.	28-nov.	77	5	7
	Sanioni teli	Introduite	P	Long	8-juin	28-août	19-nov.	82	9	13
	Souna	Heritee	P	Court	16-juin	22-août	29-oct.	67	9	13
	Souna boua	Heritee	P	Court	25-juil.	25-sept.	15-oct.	62	1	1
	Souna sanion	Introduite	M	Long	17-juin	24-août	23-nov.	68	13	19
	Souna tjtjoni	Heritee	P	Court	25-juin	29-août	4-nov.	64	26	37
	Moy.				22-juin	2-sept.	11-nov.	72		
	St.dev				$\pm 15$	$\pm 11$	$\pm 16$	$\pm 9$		
(b)	Nom vernaculaire	Origine	Type	Cycle	Date de semis	Date de floraison	Date de récolte	Durée cycle moyen*	Nb de variété	% de variété
	Bandoka	Introduite	P	Moyen	21-juin	12-sept.	26-oct.	83	43	34
	Dasigui	Introduite	P	Moyen	7-juil.	14-sept.	1-nov.	86	12	9
	Dereni	Introduite	P	Long	8-juin	20-sept.	13-nov.	104	27	21
	Dereni Djaiman	Introduite	P	Long	27-mai	30-sept.	15-nov.	126	1	1
	Dereni Soumalen	Héritée	P	Long	5-juin	15-sept.	25-nov.	102	2	2
	Dereni Teliman	Introduite	M	Court	15-juil.	24-sept.	15-nov.	71	2	2
	Dereniba	Introduite	P	Long	1-juin	2-oct.	30-nov.	123	1	1
	Fonsebouougouka	Introduite	M	Moyen	25-juin	13-sept.	20-oct.	80	3	2
	Keninke	Introduite	P	Long	3-juin	30-sept.	17-nov.	119	2	2
	Keninke Telini	Introduite	P	Court	7-juil.	13-sept.	23-oct.	67	5	4
	N'gnogneblen	Introduite	M	Long	10-juin	20-sept.	27-oct.	102	1	1
	N'gnognefing	Introduite	M	Moyen	24-juin	19-sept.	1-nov.	88	15	12
	N'gnognefing Telini	Introduite	P	Court	24-juin	2-sept.	1-nov.	70	6	5

N'golofing	Introduite	P	Moyen	15-juin	5-sept.	21-oct.	82	1	1
Niodieni	Introduite	P	Long	18-juin	30-sept.	30-nov.	104	1	1
Safaibougouka	Introduite	P	Court	13-juin	30-août	17-oct.	78	4	3
Sanoudie	Introduite	M	Long	7-juin	15-sept.	10-nov.	100	1	1
Seketana	Héritée	P	Long	10-juin	22-sept.	15-oct.	104	1	1
Moy.				16-juin	17-sept.	5-nov.	94		
St.dev				± 14	± 10	± 15	± 18		

\* en jour Julian

Tableau 3 : Caractéristiques phénologiques des principales prospections variétales des variétés de mil (a) et sorgho (b)

### Adéquation entre période de floraison et fin de pluies

Une variété est adaptée au climat si la floraison débute dans les 20 jours qui précèdent la fin moyenne de saison des pluies (Kouressy *et al.*, 2008). Sur la base de ce concept, l'adéquation entre la date de floraison et la date moyenne de fin de saison (Moyenne 1951-2000 de la station de référence des sites) permet de valider les limites des bandes d'adaptation variétale définies par le modèle et d'évaluer le potentiel d'adaptation des dites variétés prospectées aux conditions climatiques et environnementales des villages.

Le tableau 4 illustre l'écart moyen entre la date moyenne de début des pluies et la date de semis pratiquée (début-Semis) et l'écart (Fin-Floraison) entre la date de fin de saison des pluies et la date de floraison des différentes variétés de mil

et de sorgho (b). Les variétés présentant une adaptabilité optimale fleurissent en moyenne dans les 20 jours qui précèdent la fin moyenne des pluies (Fin -Floraison compris 0 et 20 jours).

Dans la zone d'adaptation des variétés de mil, les variétés *Sanion*, *Sanion tjtjoni*, et *Souna tjtjoni* semblent les mieux adaptées avec des écarts à la date de semis de référence de 7, 3, -3 jours respectivement et des écarts à la date de floraison de 21, 22 et 28 jours respectivement (Tableau 4a). Dans la bande d'adaptation des variétés de sorgho, les variétés de sorgho *Bandoka*, *Dasigui*, *Dereni soumalen*, *Fonsebougouka*, *Keninke telini*, *Ngnognefing telima*, *Ngolofing* et *Sanoudié* sont les mieux adaptées avec des dates de floraison comprises dans l'intervalle des 20 jours précédant la date moyenne de fin de pluies (26 Septembre).

(a) Ecart moyen (d) à la date de début (d-Semis) et de fin (d-Floraison) de pluies						
Variété	Date de semis	Date de floraison	Date de récolte	Durée cycle moyen (jours)	Début - Semis	Fin - Floraison
Sanion	15-juin	5-sept.	24-nov.	82	7	21*
Sanion tjtjoni	19-juin	4-sept.	28-nov.	77	3	22*
Sanioni teli	8-juin	28-août	19-nov.	81	14	30
Souna	16-juin	22-août	29-oct.	67	6	36
Souna boua	25-juil.	25-sept.	15-oct.	62	-33	2
Souna sanion	17-juin	24-août	23-nov.	68	5	34
Souna tjtjoni	25-juin	29-août	4-nov.	65	-3	28*
(b) Ecart moyen (d) à la date de début (d-Semis) et de fin (d-Floraison) de pluies						
Variété	Date de semis	Date de floraison	Date de récolte	Durée cycle moyen (jours)	Début - Semis	Fin - Floraison
Bandoka	21-juin	12-sept.	26-oct.	83	1	15*
Dasigui	7-juil.	14-sept.	1-nov.	86	-15	13*
Dereni	8-juin	20-sept.	13-nov.	104	14	7
Dereni Djaiman	27-mai	30-sept.	15-nov.	126	26	-3
Dereni Soumalen	5-juin	15-sept.	25-nov.	102	17	12*
Dereni Teliman	15-juil.	24-sept.	15-nov.	71	-23	3
Dereniba	1-juin	2-oct.	30-nov.	123	21	-5
Fonsebougouka	25-juin	13-sept.	20-oct.	80	-3	14*
Keninke	3-juin	30-sept.	17-nov.	119	19	-3
Keninke Telini	7-juil.	13-sept.	23-oct.	68	-15	14*
N'gnogneblen	10-juin	20-sept.	27-oct.	102	12	7
N'gnognefing	24-juin	19-sept.	1-nov.	87	-2	8
N'gnognefingTelini	24-juin	2-sept.	1-nov.	70	-2	24*
N'golofing	15-juin	5-sept.	21-oct.	82	7	22*
Niodieni	18-juin	30-sept.	30-nov.	104	4	-3
Safaibougouka	13-juin	30-août	17-oct.	78	9	28
Sanoudie	7-juin	15-sept.	10-nov.	100	15	12*
Seketana	10-juin	22-sept.	15-oct.	104	12	5

\*Variété bien adaptée aux conditions climatiques de la zone.

Tableau 4 : Ecart moyen (d) à la date de début (15 Juin) et de fin de la saison de pluies (26 Septembre) des stations météorologiques de référence

## Distribution spatiale de la durée du cycle moyen

L'analyse des résultats des enquêtes dans les villages témoins de Bassala et de Fassa montre une répartition spatiale des parcelles des variétés de mil et de sorgho en fonction de la durée moyenne du cycle phénologique (Semis-Floraison). Le village de Bassala [13°59'28"N, 7°52'40"O, 384 m] est situé dans la région de Koulikoro, cercle de Kolokani, commune de Didieni. Village bambara de 34 exploitations agricoles, la culture du mil est l'une des principales activités. La répartition spatiale des parcelles de mil est conditionnée, entre autres, par la longueur du cycle de la variété (Semis-Floraison). Deux types de variétés de mil sont cultivés dans le village de Bassala, les variétés de mil *Souna* précoces et photopériodiques, dont le cycle varie entre 60 et 65 jours, et les variétés *Sanion*, de cycle intermédiaire et photopériodiques, avec 70 - 75 jours de durée semis-floraison. Les *Souna* sont cultivées dans les champs de case, plus faciles d'accès et riches en fumures organiques. Les champs de cases sont sur des sols argileux-sableux et limoneux-sableux, lourds et riches en matières minérales et organiques. Culture de soudure, les *Souna* sont cultivées essentiellement pour leur précocité eu égard au déficit pluviométrique de la région. Autrefois considérée comme culture de substitution, la culture du *Souna* est aujourd'hui devenue

essentielle pour assurer les besoins en nourriture des familles tout au long de l'année. Les *Sanion* sont essentiellement cultivées dans les champs de brousse en dehors du village sur des sols sableux et limoneux-sableux (Figure 2). Elles constituent la principale culture de rente et occupent une place prépondérante dans la production totale du mil. La diminution de la pluviométrie et l'irrégularité des dates d'installation des pluies ont favorisé l'abandon des anciennes variétés de *Sanion* photopériodiques tardives au profit des nouvelles variétés améliorées de *Sanion* moyennement photopériodiques plus ou moins adaptées au paysage local. Néanmoins les paysans restent fortement attachés aux anciennes variétés de mil locales dont certaines semences sont jalousement conservées et utilisées lorsque la saison commence tôt ce qui peut laisser prévoir une pluviométrie excédentaire. A l'instar des mils, les variétés de sorgho cultivées dans le village de Fassa [13°10'47"N, 7°40'13"O, 340] dans la commune de Koula suivent la même distribution spatiale. Les variétés à cycle court sont cultivées dans les champs à proximité du village contrairement aux variétés de sorgho tardives qui sont essentiellement localisées dans les champs de brousse et aux alentours des zones de dépression (marigots) riches en sols lourds et en matières minérales et organiques (Figure 2).

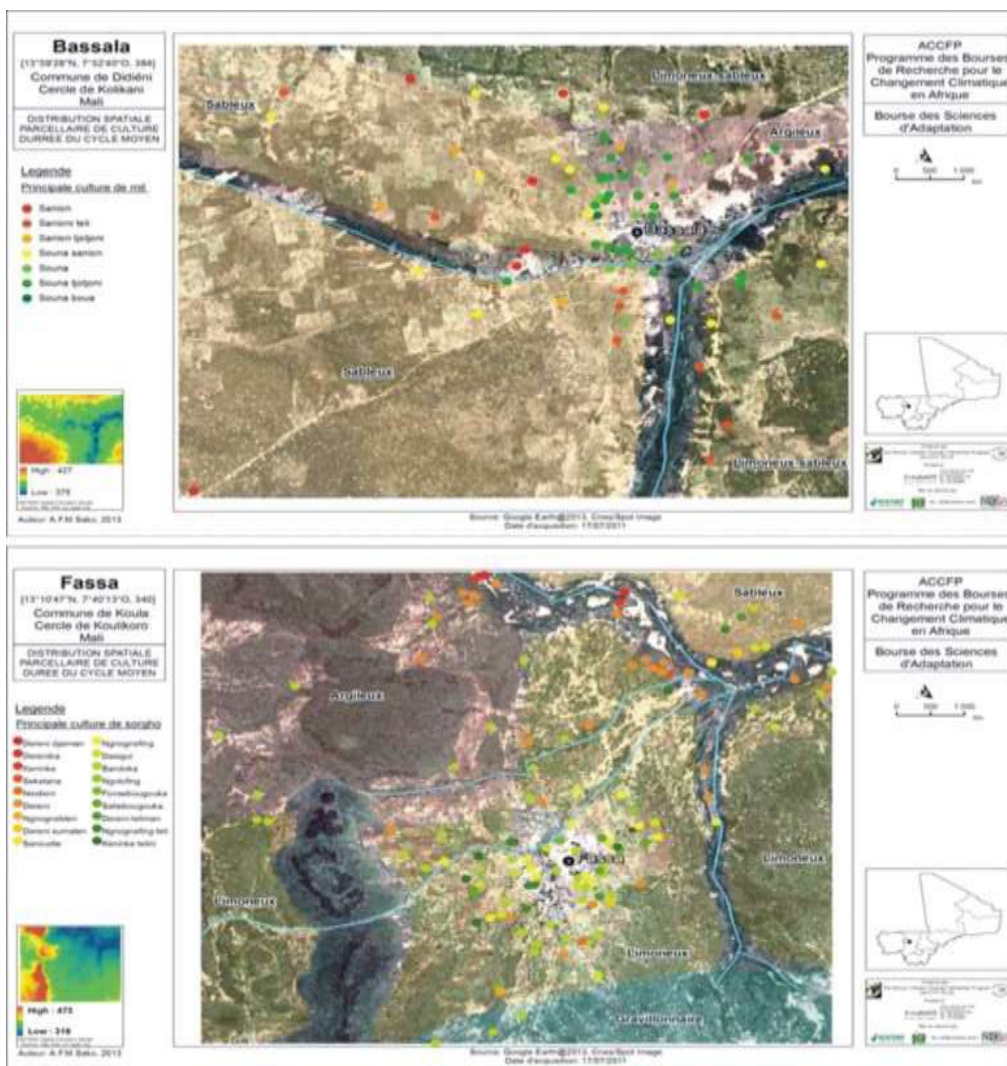


Figure 2: Distribution spatiale des parcelles de culture des variétés de mil à Bassala et de Sorgho à Fassa en fonction de la durée moyenne du cycle (Semis-Floraison)

### Distribution des variétés sur la toposéquence

Le paysage agricole notamment la toposéquence influence fortement la distribution spatiale des variétés de mil et de sorgho. L'altitude dans le village de *Bassala* varie de 375 à 427 mètres (m). Les variétés de mil précoces sont cultivées en bas de toposéquence sur des sols sableux-argileux. Facile d'accès car proches des maisons, elles sont mieux entretenues et riches en apports de fumures organiques et de déchets domestiques et animaux. La proximité de ces parcelles permet aussi un meilleur gardiennage contre les oiseaux. Ces parcelles sont destinées essentiellement à des cultures de soudure. Les variétés de mil tardives sont

semées sur les champs en hauteur sur des sols sableux-limoneux à faible import d'engrais chimiques et de fumures

organiques propices au développement des variétés de mil tardives telle que les *Sanion*. Le coefficient de détermination entre les valeurs d'altitude et la durée moyenne des cycles des variétés de mil est de 0,50 avec un coefficient de corrélation positif significatif de 0,71\* (P=0.01) (Figure 3a).

Dans le village de *Fassa*, contrairement aux mils, il existe une relation linéaire inverse entre l'altitude et la durée moyenne du cycle des variétés de sorgho. En effet, les parcelles des variétés de sorgho tardives sont localisées dans les bas-fonds sur des sols limoneux-argileux lourds et les variétés relativement précoces se situent sur les parties hautes du paysage agricole sur des sols limoneux. Le coefficient de détermination entre l'altitude et la durée moyenne du cycle est de 0,26 avec un coefficient de corrélation négatif de -0,52\* (P=0.01) (Figure 3b).

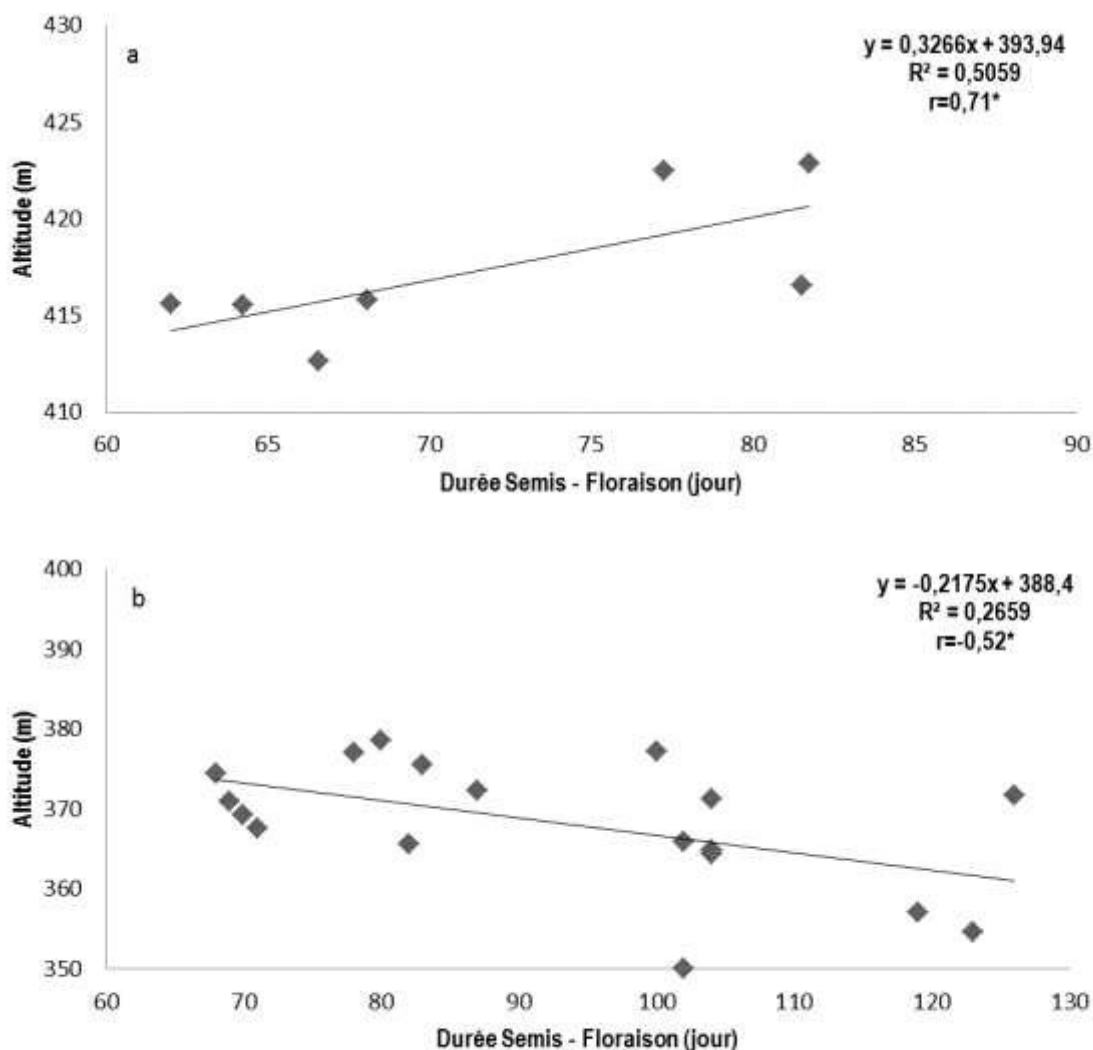


Figure 3: Relation en la durée moyenne du cycle et la valeur d'altitude des parcelles de mil (a) à Bassala et sorgho (b) à Fassa.

### Conclusion

Au total, 166 chefs d'exploitations agricoles ont été enquêtés avec 295 parcelles géoréférencées. Un échantillonnage de 124 variétés de sorgho et 102 variété mil a été prospectées. L'analyse des prospections montre une prédominance

des variétés de durée moyenne de cycle (Semis-Floraison) similaire aux cycles des deux variétés témoins.

Les variétés de mil *Bofoué* et de sorgho *Ceblen*, recommandée par la recherche, n'existent dans aucun des villages prospectés probablement parce que les variétés locales sont très similaires phénologiquement et morphologiquement, ce qui ne justifie pas leur adoption. Les différentes variétés



de mil et de sorgho identifiées dans les villages ont des durées de cycle semblables aux variétés témoins et varient de  $\pm 10$  jours en moyenne en fonction des dates de semis. Ces résultats permettent de valider le concept de définition des zones d'adaptation variétale des variétés de mil et de sorgho photopériodiques au niveau des agrosystèmes villageois au Mali. L'introduction des cartes d'adaptation variétale auprès des paysans et des agents d'encadrement agricole est une démarche nouvelle qui, en facilitant les échanges avec les paysans, a permis d'accéder à l'expertise locale sur les stratégies et techniques d'adaptation variétale à la variabilité environnementale. Le concept d'adaptation variétale est complexe et intimement lié aux itinéraires techniques, aux paysages agricoles et principalement à la toposéquence, à la nature et au type de sol.

Les enquêtes des prospections variétales dans l'ensemble des exploitations agricoles des villages de *Bassala* et de *Fassa* ont permis d'identifier, de comprendre et de cartographier la distribution spatiale des parcelles de mil et de sorgho en fonction de la durée du cycle des variétés, de la nature du sol et de la toposéquence. Elles ont également permis de dégager les principaux facteurs explicatifs de la distribution spatiale des itinéraires techniques agricoles à des échelles plus fines pouvant s'intégrer dans des approches et processus de désagrégation spatiale des cartes d'adaptation variétale au niveau des agro-systèmes villageois. Les paysans des localités prospectées restent fortement attachés à la culture des variétés locales héritées et mieux adaptées aux conditions environnementales locales. Néanmoins dans les anciens villages de vulgarisation variétale une minorité de paysans enquêtés adoptent de plus en plus de nouvelles variétés introduites par les programmes de sélection et d'amélioration variétale. Par manque de sensibilisation et d'informations techniques, ces nouvelles variétés introduites ne répondent pas aux attentes des paysans car elles sont inadaptées aux itinéraires agricoles et conditions climatiques de leur localité. Pour les paysans la précocité est relative à la floraison des variétés locales et dépend donc du climat de la zone étudiée. Chaque variété de mil et de sorgho (introduite et/ou locale) répond à une date de semis précise et à des itinéraires techniques agricoles spécifiques. La valorisation des Interactions Génotype x Environnement x Technique culturale est un élément clé dans les stratégies agraires et un facteur majeur de stabilité des rendements agricoles dans les agrosystèmes villageois. Les agriculteurs des sites d'étude adoptent différents systèmes de culture afin de minimiser le risque d'une mauvaise récolte dans les conditions d'une agriculture à faibles intrants.

L'identification et l'étalement des dates de semis des cultures sur différents types de sols du paysage agricole est une stratégie importante pour éviter les pertes de rendement dues à la sécheresse en début de saison sur les hautes terres et à mi-saison des inondations sur la plaine. Nos résultats donnent une idée de la complexité des interactions à des échelles fines des stratégies et techniques d'adaptation variétale adoptés par les paysans à la variabilité climatique et environnementale. Ils fournissent une base de connaissance qui permettra de réaliser les processus de désagrégation des cartes d'adaptation variétale à des échelles plus fines au niveau des agrosystèmes villageois locaux. Les sé-

lectionneurs et les agronomes des programmes d'amélioration et de sélection variétale doivent formuler des objectifs spécifiques en prenant en compte ces interactions afin d'élaborer des processus de sélection et de vulgarisation variétale fiables, adéquates et spécifiques à chaque agrosystème villageois.

## Bibliographie

Abdulai AL., Kouressy M., Vaksman M., Asch F., Giese M., Holger B., 2012. Latitude and date of sowing influences phenology of photoperiod-sensitive sorghums. *Journal of Agronomy and Crop Science* 198:340-348

Clerget B., Dingkuhn M., Chanterreau J., Hemberger J., Louarn G, Vaksman M. 2004. Does panicle initiation in tropical sorghum depend on day-to-day change in photoperiod?. *Field Crops Research*. 88:21-37

Craufurd PQ., Mahalakshmi F., Biding FR., Mukuru SZ., Chanterreau J., Omanga PA. , Qi A., Roberts EH., Ellis RH., Summerfiel RJ, Hammer GL., 1999. Adaptation of sorghum: Characterization of genotypic flowering responses to temperature and photoperiod. *Theoretical and Applied Genetics*. 99: 900-911

Dingkuhn M., Kouressy M., Vaksman M., Clerget B., Chanterreau J., 2008. A model of sorghum photoperiodism using the concept of threshold-lowering during prolonged appearance. *European Journal of Agronomy*. 28:74-89

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

Kouressy M., Dingkuhn M., Vaksman M., Heinemann AB., 2008. Adaptation to diverse semi-arid environments of sorghum genotypes having different plant type and sensitivity to photoperiod. *Agricultural and Forest Meteorology*. 148:357-371

Sagnard F., Barnaud A., Deu M., Barro C., Luce C., Billot C., Rami JF., Bouchet S., Dembélé D., Pomiès V., Calatayud C., Rivallan R., Joly H., vom Brocke K., Touré A., Chanterreau J., Bezançon G., Vaksman M., 2008. Analyse multi-échelle de la diversité génétique des sorghos : compréhension des processus évolutifs pour la conservation in situ. *Cahiers Agricultures*. 17 : 114-121

Sivakumar MVK., 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

Soumaré M., Kouressy M., Vaksman M., Maikano I., Bazile D., Traoré PS., Dingkuhn M., Touré A., Vom Brocke K., Somé L., Barro K., Pulchérie C., 2008. Prédiction de l'aire de diffusion des sorghos photopériodiques en Afrique de l'ouest. *Cahiers Agricultures*. 17:160-164

Summerfield RJ., 1999. Timing it right: The Measurement and Prediction of Flowering. *Acta agronomica hungarica*. 47:203-213

Traoré SB., Reyniers FN., Vaksman M., Kone K., Sidibe A., Yorote A., Yattara K., Kouressy M., 2000. Adaptation à la

sécheresse des écotypes locaux de sorghos au Mali. *Sécheresse*. 11: 227-237

Traoré PCS., Kouressy M., Vaksmann M., Tabo R., Maikano I., Traoré S., Cooper P., 2007. Climate Prediction and Agriculture: What Is Different about Sudano-Sahelian West Africa?. In Sivakumar MVK and Hensen J (ed.) *Climate Prediction and Agriculture*. Berlin: Springer, pp. 189-203

Vaksmann M., Traoré SB., Niangado O, 1996. Le photopériodisme des sorghos africains. *Agriculture et Développement*. 9: 13-18

Vaksmann M., Traoré SB, Kouressy M., Coulibaly H., Reyniers FN., 1998. Etude du développement d'un sorgho photopériodique du Mali. p. 109-122 In Bacci, L., and Reyniers F.N. ed. *Le futur des céréales photopériodiques pour une production durable en Afrique tropicale semi-aride*. Actes du séminaire final. Florence.