

EVOLUTION DES DIVERSITES PHENOTYPIQUE ET GENETIQUE DES SORGHOS ET MILS CULTIVES AU NIGER DE 1976 A 2003

Jacques Chantereau¹, Monique Deu², Jean Louis Pham³,
I. Kapran⁵, Yves Vigouroux³, Gilles Bezançon⁴

¹ CIRAD, UPR Adaptation Agroécologique et Innovation Variétale, 34398 Montpellier

² CIRAD, UMR Développement et Amélioration des Plantes, 34398 Montpellier

³ IRD, UMR DIAPC, BP 64501, 34394 Montpellier

⁴ IRD, UMR DIAPC, BP 11416, Niamey, Niger

⁵ INRAN, BP 429, Niamey, Niger

RESUME

La crainte existe que les évolutions socio-économiques et le changement climatique portent atteinte à la biodiversité et notamment à la diversité des plantes cultivées. Une étude sur cette thématique a été conduite au Niger sur le mil et le sorgho, deux céréales à la base de l'alimentation d'une grande partie des populations subsahariennes, dans une des régions concernées par leur domestication. Elle s'appuie sur une comparaison diachronique de prospections variétales faites en 1976 puis 2003 dans 79 villages couvrant la zone cultivée de ce pays. La diversité des deux cultures a été évaluée à l'aide de plusieurs critères : dénomination et occurrence variétale, classification botanique, caractéristiques agro-morphologiques et génétiques (avec des marqueurs microsatellites). Sur la période considérée, les résultats montrent une grande stabilité des formes botaniques des sorghos et mils cultivés au Niger. Leur diversité génétique, telle qu'analysée dans cette étude, fait valoir une légère élévation qui amène à conclure qu'il n'y a pas eu d'érosion génétique. Néanmoins, en liaison avec l'assèchement climatique qu'a subi le Niger ces 40 dernières années, il y a eu une modification de certains caractères agro-morphologiques des deux plantes. Globalement les sorghos et mils du Niger collectés en 2003 sont un peu plus précoces et plus courts que ceux collectés en 1976. Les mécanismes de cette réponse adaptative sont en cours d'approfondissement.

(Mots clefs : sorgho, mil, Niger, biodiversité agricole, érosion génétique, changement climatique)

1 - INTRODUCTION

La biodiversité agricole est un sujet de préoccupation sociétale (United Nations Environment Programme, 2002 et 2004). L'intensification de l'agriculture ainsi que le recours aux variétés sélectionnées font craindre l'homogénéisation phénotypique et l'érosion génétique des plantes cultivées. Un risque de perte de diversité est aussi attaché au changement climatique. Plusieurs études récentes ont été menées pour mieux appréhender la situation. Elles font le plus souvent appel à des comparaisons variétales diachroniques. Leurs résultats n'aboutissent pas à des conclusions convergentes. Certaines des études font valoir une diminution de diversité comme celle de HAMMER et al. (1996) concernant plusieurs espèces cultivées en Albanie et dans le Sud de l'Italie, MORIN et al. (2002) pour le riz dans le nord des Philippines, PERONI ET HANAZAKI (2002) pour le manioc au Brésil, GAI et al. (2005) pour le soja en Chine. Au contraire, d'autres études concluent à un maintien de la diversité (voire parfois à une augmentation) comme celles de KHELESTKINA et al. (2004) sur le blé en Europe et en Asie, MEKBIB (2008) sur le sorgho en Ethiopie, BARRY et al. (2008) sur le riz en Guinée, FORD-LLOYD et al. (2009) toujours sur le riz mais en Asie du Sud et Sud Est.

En fait, le rapprochement de ces travaux est difficile en raison de différences concernant les types de diversités suivis (espèces cultivées, variétés, allèles) ainsi que les indicateurs utilisés qui relèvent de différentes disciplines pouvant aller de l'Anthropologie à la Génétique. D'autres difficultés viennent des échelles géographiques et temporelles des comparaisons effectuées qui diffèrent d'une étude à l'autre. Enfin, les contextes socio-économiques varient en liaison avec le niveau de développement agricole des situations analysées.

Dans les zones de domestication de plantes cultivées où les variétés locales tiennent encore une grande place dans l'agriculture, de telles études ont l'intérêt d'évaluer précisément les menaces de perte d'un capital de diversité intéressant sélectionneurs et généticiens. C'est le cas de cet article qui concerne deux céréales d'origine africaine : le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) et le mil (*Pennisetum glaucum* [L.] R.Br.). Nous les avons étudiées à l'échelle d'un pays sahélien, le Niger, qui appartient à la large zone de domestication de ces 2 espèces (HARLAN, 1987). Des formes sauvages et cultivées y co-habitent toujours. Une prospection conduite en 1976 (FAO - ORSTOM, 1977) a permis d'y reconnaître une grande diversité variétale que nous avons réévaluée à l'occasion d'une nouvelle collecte faite en 2003 dans le cadre d'un projet financé par l'IFB et qui avait pour partenaires l'IRD, le Cirad, l'ICRISAT et l'INRAN. Par la comparaison des accessions des deux prospections selon différents critères : dénomination variétale vernaculaire, groupe botanique, caractéristiques phénotypique et moléculaire (marqueurs SSR), nous avons eu pour principaux objectifs :

- de quantifier l'évolution de différents types de diversité sur un pas de temps correspondant à celui d'une génération (1976-2003).
- de mettre en correspondance les résultats obtenus avec l'évolution de grands facteurs socio-économiques et climatiques affectant le Niger.

De plus, l'étude présentait l'intérêt de considérer la problématique selon deux types de plantes contrastés pour leur mode de reproduction : d'une part le sorgho, espèce essentiellement autogame, et d'autre part le mil, espèce allogame.

Nous ne rapportons ici que les principaux faits et résultats du projet en signalant que des informations plus détaillées sont accessibles dans des articles qui sont déjà publiés (MARIAC et *al.*, 2006 ; DEU et *al.*, 2008 ; BEZANÇON et *al.*, 2009 ; DEU et *al.*, 2010) où qui le seront prochainement.

2 - MATERIEL ET METHODE

2.1 - Collecte du matériel et stratégie d'échantillonnage

Le point de départ de cette étude a été une prospection des variétés de sorgho et de mil réalisée en 1976 au Niger sur l'ensemble des zones de culture de ces deux céréales (FAO - ORSTOM, 1977) et dont les semences avaient été conservées en chambre froide à l'IRD Montpellier. Cette prospection a défini le cadre d'une nouvelle collecte faite à la fin de l'année 2003 par une équipe multi-institutionnelle (IRD, ICRISAT, Cirad et INRAN). Celle-ci a visité 79 des 183 villages visités en 1976 couvrant l'ensemble du Niger agricole. Leur maillage, plus lâche que lors de la première prospection, est cependant resté régulier avec des villages répartis à environ 40 km les uns des autres. A chaque point de collecte, les demandes de variétés ont été faites à l'occasion d'une réunion qui rassemblait de nombreux agriculteurs et le chef de village (BEZANÇON et *al.*, 2009).

Dans la mesure du possible, la stratégie d'échantillonnage des variétés en 2003 a été la plus proche possible de celle suivie en 1976, à savoir : par village, collecte d'un unique échantillon de chaque variété distinguée par le nom local, chaque échantillon variétal étant fourni par un seul agriculteur sous forme de panicules (sorgho) ou de chandelles (mil). La seule différence importante entre 1976 et 2003 a concerné les variétés améliorées, collectées en 2003 mais pas en 1976 car les prospecteurs ne s'étaient alors intéressés qu'aux variétés locales.

Pour chaque échantillon, une fiche de renseignement a été établie enregistrant le nom de l'agriculteur fournisseur, le nom vernaculaire de la variété, son lieu de prélèvement, ses caractéristiques culturelles et morphologiques aux dires des paysans, ainsi que le contexte socio-économique de sa culture.

2.2 - Caractérisation botaniques des variétés

Ce travail a été conduit directement sur les panicules de sorgho ou les chandelles de mil de chaque accession de la prospection de 2003 ainsi que sur le matériel équivalent de chaque accession de la prospection 1976 suite à sa mise en culture et sa récolte au Niger en 2004 (BEZANÇON *et al.*, 2009).

La caractérisation botanique des accessions de sorghos cultivés a été faite selon la classification consensuelle de HARLAN et de WET (1972) qui distingue 5 races de base (bicolor, guinea, caudatum, kafir et durra) et leurs 10 combinaisons 2 à 2.

Pour les mils cultivés il n'existe que des classifications botaniques à caractère régional. Les accessions ont été caractérisées selon les 12 groupes variétaux reconnus et en usage au Niger (BONO, 1973 ; CLEMENT, 1985) à savoir : Haïni Kiré, Maewa (aussi appelé Somno, le seul groupe variétal tardif au Niger), Guerguéra, Zongo, Ba Angouré, Tamangagi, Boudouma, Ankoutess, Zanfaroua, Bazaomé, Gnিয়ে et Moro.

2.3 - Caractérisation moléculaire

Les accessions de sorgho ont été génotypées à l'aide de 28 marqueurs SSR régulièrement répartis le long des 10 chromosomes du génome de cette espèce (DEU *et al.*, 2008). Celles de mil l'ont été avec 25 marqueurs répartis le long des 7 chromosomes de son génome (MARIAC *et al.*, 2006).

Pour chaque variété collectée, un échantillon de graines de chaque prospection a été semé en serre et les feuilles d'une seule plante âgée d'environ quatre semaines ont été utilisées pour l'analyse génétique. Qu'il s'agisse des sorghos ou des mils, les pourcentages moyens de germination ont été satisfaisants à savoir, pour les prospections de 1976 et 2003 de mils respectivement 87% et 90% et pour les sorghos respectivement 64% et 72%.

Les données alléliques ont servi à l'établissement d'indicateurs de diversité classique comme l'indice de diversité génétique de Nei (He). Elles ont été aussi exploitées selon des méthodes habituelles de l'analyse multivariée de diversité (MARIAC *et al.*, 2006 ; LUONG, 2004 ; DEU *et al.*, 2008 ; DEU *et al.*, 2010).

2.4 - Caractérisation phénotypique

L'étude phénotypique des accessions de sorgho des 2 prospections a été conduite en essais variétaux à 2 répétitions à Maradi (Niger) lors de la saison des pluies 2005. Seules des données de cycle végétatif et de hauteur de plantes ont été transmises.

L'étude des accessions de mils a été réalisée à Sadoré (ICRISAT-Niger) durant la saison des pluies 2004 sous la forme d'essais variétaux à 3 répétitions et a porté sur plusieurs caractères agromorphologiques.

3 - RESULTATS

3.1 - Nombre de variétés collectées

Des données sur le nombre de variétés collectées en 1976 et 2003 dans les 79 villages communs aux deux prospections sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1 Nombre de variétés collectées durant les prospections 1976 et 2003

Collection	Sorgho	Mil
1976		
Nombre d'accessions (N.A)	257	201
Moyenne par village	3.3	2.4
2003		
N.A.	484	420
Moyenne par village	6.1	5.3
Ratio N.A. 2003/N.A.1976	1.9	2.2

En moyenne, le nombre d'accessions de sorgho et de mil collectées en 2003 par village est respectivement de 6.1 et 5.3 à comparer aux chiffres de 1976 : respectivement 3.3 et 2.4, soit environ deux fois plus d'accessions collectées en 2003. Cependant, cette augmentation varie suivant les régions : plus forte dans l'Ouest et le Centre du pays et beaucoup moins importante dans l'Est.

3.2 - Dénomination variétale

Sorgho

Cent deux (102) noms vernaculaires différents ont servi à nommer les 257 accessions de la prospection 1976 alors que nous en listons 232 pour les 484 accessions de la prospection 2003. Ainsi, un nom est utilisé, en moyenne, pour 2.5 accessions en 1976 et pour 2.1 accessions en 2003. La richesse en dénomination variétale est donc plus importante aujourd'hui qu'il y a environ 30 ans. Nous observons également que 54 % des noms des accessions de la prospection 1976 sont encore utilisés en 2003 et que 32 % des variétés de la prospection 1976 sont retrouvées en 2003 dans les mêmes villages sous le même nom.

Dans les deux prospections des noms de variétés reviennent plus souvent que d'autres. Le Tableau 2 présente un classement des noms dont l'occurrence est supérieure à 5 dans chaque prospection. Parmi eux, certains, comme Mota, Jan Jari, Hamo Kirey, Socomba sont les plus fréquents dans les deux prospections. A cette stabilité d'occurrence est associée une stabilité de distribution géographique.

En revanche, mais plus rarement, certains noms témoignent de changements d'occurrence comme cela est le cas pour des variétés nommées Takanda (qui désignent des sorghos sucrés) ou Matche da Koumnyia, en forte augmentation entre 1976 et 2003. Ce résultat signale alors une importante expansion géographique de ces variétés.

Sur la base de leur nom mais aussi d'informations de prospections recoupées par des caractéristiques de taille, de cycle, de compacité de panicule et de type de grain, la collecte 2003 de sorgho présente une prépondérance des variétés locales (461) par rapport aux variétés sélectionnées (au nombre de 23).

Mil

On constate des résultats similaires pour le mil. Ainsi, il suffisait de 55 noms pour désigner l'ensemble des accessions de la prospection de 1976 alors que nous en notons 137 pour celle de 2003. En moyenne, un nom sert à dénommer 3.5 accessions de la prospection 1976 alors qu'en 2003, un même nom ne dénomme plus que 3.1 accessions. De même, 70% des noms utilisés en 1976 le sont encore en 2003. Comme pour le sorgho, la prospection 2003 montre une large prépondérance des variétés locales (370) par rapport à 46 variétés améliorées et 4 variétés indéterminées.

Tableau 2 Noms les plus fréquents de variétés de sorgho dans les deux prospections

Prospection 1976		Prospection 2003	
Noms	Occurrence	Noms	Occurrence
Mota	19	Takanda	21
Jan Jari	18	Hamo Kwarey	19
Hamo Kirey	18	Ja Dawa	17
Socomba	13	Fara Dawa	16
Baba Diya	8	Jan Jari	16
Lala	8	Hamo Kirey	15
Gouari Boul	7	Hamo Kana	14
Fara Dawa	6	Matché Da Koumniya	10
		Bagoba	9
		Mota	9
		Kaoura	8
		Makaho Da Wayo	8
		Kor Biyu	7
		Mallé	7
		Socomba	7
		Darza	6
		Tallabani	6

3.3 - Classification botanique

Sorgho

La classification raciale des accessions de sorgho des deux prospections est présentée dans le Tableau 3. A des fins de simplification, les accessions de races combinées (qui en pratique, dans les deux prospections, ne concernent que les 4 combinaisons raciales suivantes classées par ordre d'importance : durra-bicolor, durra-caudatum, bicolor-caudatum et guinea-caudatum) ont été regroupées dans la classe « Formes hybrides ». Aussi bien en 1976 qu'en 2003, nous n'observons pas de sorghos de la race kafir ou des sorghos de formes hybrides à composante kafir.

Tableau 3 Classification raciale des deux prospections de sorgho

Classes raciales	Prospection 1976			Prospection 2003		
	N ^{bre} d'accessions	% (sans considération de la classe des indéterminés)	Rang	N ^{bre} d'accessions	% (sans considération de la classe des indéterminés)	Rang
Formes hybrides	79	34.5	1	168	35.5	1
Durra	55	24.0	2	112	23.7	2
Caudatum	49	21.4	3	103	21.8	3
Guinea margaritifera	17	7.4	5	22	4.7	6
Autres guinea?	20	8.7	4	29	6.1	5
Bicolor	9	3.9	6	39	8.2	4
Variétés indéterminées racialement	28			11		
Total	257			484		

La composition raciale des deux prospections fait valoir une réelle stabilité. Avec des pourcentages quasiment identiques, nous trouvons, en premier, les sorghos de races hybrides, suivis des sorghos de race durra puis les sorghos de race caudatum. Quelques changements interviennent au niveau des classes raciales les moins importantes. Ainsi, les sorghos de race bicolor voient leur pourcentage augmenter dans la prospection 2003 au détriment des sorghos de race guinea. Ce résultat est lié à la plus grande occurrence, dans la prospection 2003, de sorghos sucrés (comme les Takanda) qui sont essentiellement des sorghos bicolor. La stabilité globale de la composition raciale des deux prospections est confirmée par un test de Khi^2 (excluant la classe des sorghos indéterminés) : $\text{Khi}^2 = 7.9$, ddl 5, $P = 0.16$.

Mil

Le même travail de classification des 2 prospections de mil selon les groupes variétaux est présenté dans le Tableau 4.

Tableau 4 Classification par groupes variétaux des deux prospections de mil.

Groupes variétaux	Prospection 1976			Prospection 2003		
	N ^{bre} d'accessions	%	Rang	N ^{bre} d'accessions	%	Rang
Haïni Kirey	48	25.0	1	101	24.0	1
Maewa	35	18.2	2	43	10.2	4
Zongo	27	14.1	3	60	14.3	2
Guerguéra	23	12.0	4	57	13.6	3
Ba Angouré	18	9.4	5	40	9.5	5
Ankoutess	9	4.7	6	21	5.0	6
Bazaomé	8	4.2	7	10	2.4	9
Moro	6	3.1	8	4	0.9	12
Tamangagi	5	2.6	9	11	2.6	7
Gnieye	5	2.6	9	5	1.2	11
Boudouma	3	1.6	11	11	2.6	7
Zanfaroua	1	0.5	12	7	1.7	10
Var. modernes	2	1.0	-	46	10.9	-
Variétés indéterminées	2	1.0	-	4	0.9	-
Total	192			420		

Dans l'ensemble, la hiérarchie des principaux groupes variétaux est conservée entre 1976 et 2003. Seul le groupe tardif des Maewa décline nettement entre ces deux dates. Néanmoins, le test du Khi^2 ne met pas en évidence de changement significatif de distribution des cinq groupes variétaux les plus importants entre les 2 prospections de mil. ($\text{Khi}^2 = 5.9$, ddl 4, $P = 0.21$).

4.3. - Caractérisation moléculaire

Les principaux paramètres de diversité génétique découlant de l'analyse génétique des accessions des 2 prospections de sorgho et mil sont présentés en Tableau 5.

Tableau 5 Principaux paramètres de diversité génétique obtenus par marqueurs SSR

	Sorgho		Mil	
	1976	2003	1976	2003
N ^{bre} d'accessions	244	454	201	420
N ^{bre} d'allèles par locus	8.8	9.8	8.3	8.5
Diversité génétique (He)	0.60	0.62	0.49	0.50
Indice de différenciation (Fst)	0.003**		0.002**	

Pour chacune des espèces étudiées, les paramètres de diversité génétique ont légèrement augmenté entre 1976 et 2003. Ils ne valident donc pas l'idée d'une érosion génétique. Pour le sorgho comme pour le mil, l'indice de différenciation des deux prospections, bien que faible, est significatif. Cela paraît dû à une légère augmentation de la richesse en allèles allant de pair avec des modifications minimales de fréquences alléliques ; mais globalement les prospections sont peu différentes. De fait, les allèles fréquents dans la prospection de 1976 le sont restés dans la prospection de 2003. Ce sont seulement les allèles rares qui marquent la spécificité des prospections (résultats non présentés).

Sorgho

Le premier plan (12.34% et 8.26% de la variance représentée respectivement par les axes 1 et 2) d'une AFDT (Analyse Factorielle sur Tableau de Distance) exploitant les données alléliques relatives aux accessions des deux prospections est présenté Figure 1.

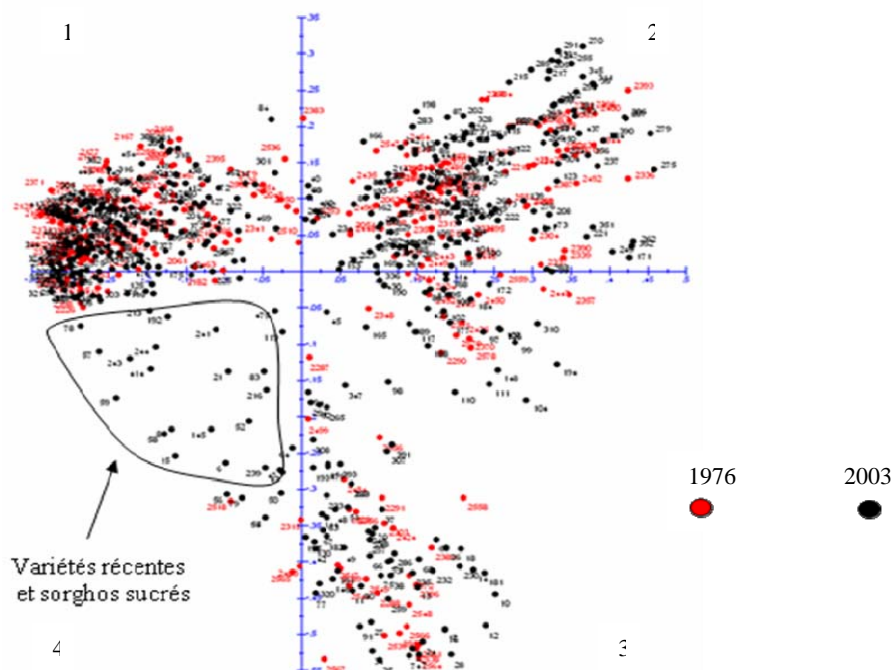


Figure 1 Représentation graphique du premier plan de l'AFDT obtenue à partir des données alléliques de 28 loci microsattellites : projection de 727 accessions de sorgho en fonction de l'année de prospection (1976, 2003)

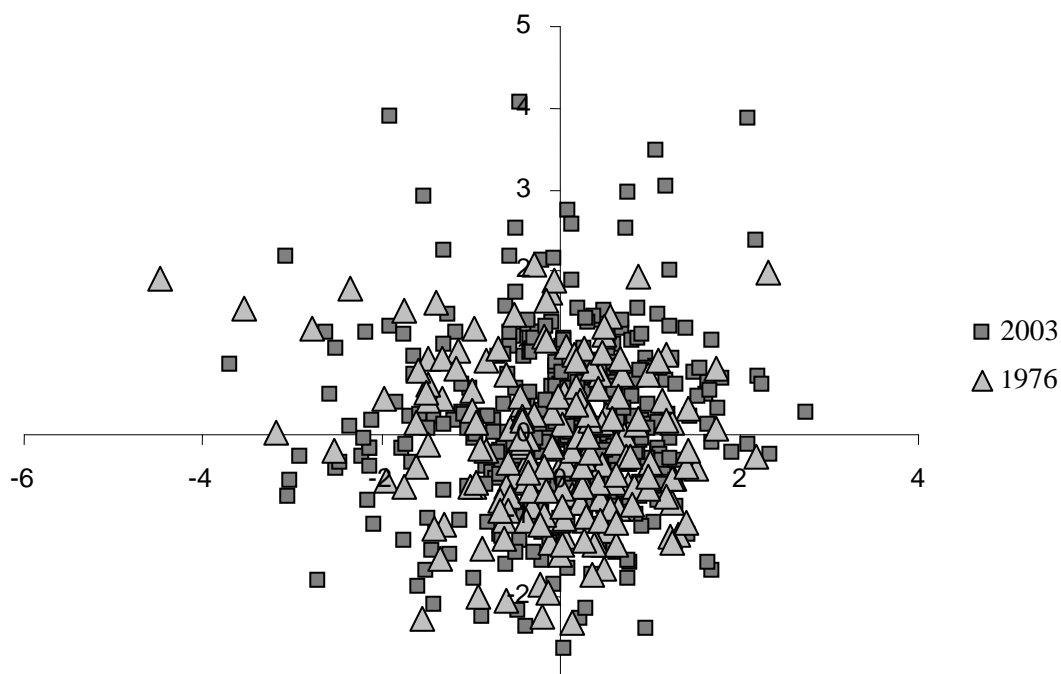
La prospection 1976 est structurée à la fois géographiquement et racialement en 3 groupes respectivement dans les cadrans 1, 2 et 3. Les accessions de la prospection 2003 recouvrent cette structuration avec, en plus, des points qui s'intercalent entre les trois groupes. Ceux-ci illustrent l'élargissement de la diversité. Cela est montré dans le cadran 4 où nous ne trouvons pratiquement que des accessions de la prospection 2003, la plupart étant des variétés de sorgho sucré.

Mil

Le même type d'analyse multivariée conduit sur les prospections de mil aboutit à la Figure 2.

Aucune structuration de diversité des mils ne transparaît. La contribution des deux premiers axes est faible (1.38% et 1.29% de la variance expliquée respectivement par les axes 1 et 2). La diversité de la prospection 2003 recouvre celle de 1976 en la débordant dans sa partie sommitale.

Figure 2 Représentation graphique du premier plan de l'AFTD obtenue à partir des données alléliques de 25 loci microsatellites : projection de 563 individus de mil en fonction de l'année de prospection (1976, 2003).



4 - Caractérisation phénotypique

Sorgho

Suite aux essais conduits à Maradi en 2005, la comparaison par test t de Student des deux prospections pour les caractères de durée de cycle et de hauteur conclut à des différences significatives (Tableau 6). Par rapport aux accessions de la prospection 1976, les accessions de la prospection de 2003 ont, en moyenne, une phase végétative raccourcie d'un peu plus de 5 jours et une taille diminuée d'environ 24 cm. La même évolution est observée lorsque la comparaison est faite par classe d'isohyètes (résultats non présentés). Pour chaque zone pluviométrique considérée, les accessions qui y ont été collectées en 2003 sont un peu plus précoces et plus courtes que celles qui s'y trouvaient en 1976.

Tableau 6 Comparaison des prospections 1976 et 2003 de sorgho pour les caractères de cycle et hauteur (()) = nombre d'accessions suivies par prospection)

	1976 (250)	2003 (482)	Différence	Probabilité (test t)
Cycle semis-floraison en jours	87.3	81.9	5.4	< 0.001
Hauteur tige principale (cm)	311.3	286.9	24.4	< 0.001

Mil

L'expérimentation conduite à Sadoré en 2004 avec les deux prospections de mil a permis une comparaison plus large de caractères par le test statistique de Kruskal-Wallis (Tableau 7). Comme pour le sorgho, les accessions de la prospection 2003 sont statistiquement un peu plus précoces et plus courtes que celles de 1976. Un autre caractère montre aussi une différence significative : il s'agit de la longueur de la chandelle qui a, en moyenne, un peu diminué pour les accessions de la prospection 2003 comparativement à celles de la prospection 1976. Les autres caractères étudiés ne présentent pas de différence significative (au seuil $P = 0.01$).

Tableau 7 Comparaison des prospections 1976 et 2003 de mil différents caractères
(() = nombre d'accessions suivies par prospection)

	1976 (211)	2003 (419)	Différence	Probabilité (test Kruskal-Wallis)
Cycle semis-floraison en jours	69.5	68.3	-1.20	< 0.001
Nombre de talles	9.07	8.90	-0.17	= 0.06
Hauteur tige principale (cm)	195.4	190.7	-4.74	< 0.001
Diamètre de tige (cm)	1.60	1.58	-0.02	= 0.048
Longueur de chandelle (cm)	71.4	67.1	-4.40	< 0.001
Diamètre de chandelle (cm)	2.43	2.47	0.05	= 0.015
Diamètre du rachis (cm)	0.75	0.76	0.01	= 0.10
Poids de 100 graines (g)	0.97	0.98	0.01	= 0.37

4 - DISCUSSION

Pour le sorgho comme pour le mil, le doublement du nombre des accessions collectées en 2003 sur les mêmes bases d'échantillonnage et dans les mêmes villages que ceux visités 27 ans auparavant est évidemment frappant (Tableau 1). Nous pouvons suspecter que les collectes ont été plus exhaustives en 2003 puisque les prospecteurs ont passé plus de temps dans chaque village qu'en 1976 (BEZANÇON *et al.*, 2009). Cependant, une étude conduite par CORTIS (2005) dans un certain nombre des villages prospectés conclut à une claire perception par les agriculteurs de l'augmentation du nombre de variétés gérées par village entre les années 70 et le début des années 2000. Cette augmentation peut être rapprochée de celle de la population rurale du Niger qui a aussi doublé entre 1976 et 2003 passant de 4.6 à 10.2 millions de personnes (FAO, 2010). Nous remarquons aussi qu'au niveau régional, c'est la région Centre, la plus densément peuplée, qui présente le plus de variétés par village alors que la région Est, la moins densément peuplée, a le nombre de variétés par village le plus faible et que la région Ouest est intermédiaire pour les deux données (CORTIS, 2005).

Des variétés issues de la sélection formelle sont identifiées dans les prospections de 2003. Nous ignorons si leur nombre a augmenté puisque ce type de matériel n'avait pas été collecté en 1976. Avec des variétés locales toujours largement prépondérantes, nous prenons seulement date qu'en 2003, les variétés sélectionnées comptent pour 4.8 % des accessions collectées de sorgho et 10,8 % de celles de mil. Ces pourcentages sont proches des estimations des taux d'adoption de variétés sélectionnées de sorgho faites pour l'Afrique de l'Ouest par YAPI et DEBRAH (1998) qui est de 8%.

L'interprétation des données de dénomination et d'occurrence variétale en termes de diversité des sorghos et des mils cultivés au Niger demande prudence. En effet, le pouvoir de distinction des unités génétiques nigériennes par leur nom vernaculaire est limité (MARIAC *et al.*, 2006 ; BEZANÇON *et al.*, 2009 ; DEU *et al.*, 2010). Souvent, ce sont des caractéristiques agromorphologiques qui servent à nommer les variétés. Ainsi, de nombreux cultivars de sorgho sont appelés "sorgho blanc" ou "sorgho rouge" en Zarma, c'est-à-dire respectivement Hamo Kwarey ou

Hamo Khirey, selon la couleur blanche ou rouge de leur grain. De façon similaire pour le mil, nous retrouvons fréquemment dans les prospections des variétés nommées Haïni Kirey qui veut dire “mil rouge” toujours en raison de la coloration du grain. Ces dénominations vernaculaires ont donc un caractère inclusif les amenant à regrouper sous une même désignation des géotypes dont les différences peuvent aller jusqu’au niveau racial comme nous l’avons vérifié pour les sorghos. Enfin, il faut aussi considérer que le nom d’une variété peut changer selon les régions et les ethnies. Ainsi une variété sélectionnée de sorgho, Irat 204, aisément identifiable, est retrouvée dans la prospection 2003 sous différents noms : Irat 204 mais aussi Projet Hamo (soit sorgho du projet), Hamo Wassa (sorgho précoce) ou Attakourma (le court). Dans ce contexte, nous ne pouvons pas considérer que la plus grande richesse de noms de variétés des prospections de sorghos et mils en 2003 par rapport à 1976 soit un argument probant d’une augmentation de diversité. D’autres données font plutôt valoir des stabilités variétales fréquentes en termes d’occurrence et de répartition géographique et les quelques changements constatés paraissent limités à des cas particuliers comme celui des sorghos sucrés (Tableau 2).

Les compositions en termes de races, pour le sorgho, ou de groupes variétaux, pour le mil, montrent bien une grande diversité de formes dans les prospections de 1976 et 2003 (Tableaux 3 et 4). Cette diversité concorde avec le fait que le Niger est dans la zone de domestication de ces deux céréales (HARLAN, 1987). Elle s’explique également par la situation géographique de ce pays, historiquement au carrefour de deux grands courants commerciaux : un courant nord-sud entre les Afriques blanche et noire et un courant Est-Ouest entre le bassin du Niger et celui du Tchad voire, plus éloigné, celui du Nil.

La comparaison des compositions en races ou groupes variétaux dans les collectes de sorghos et de mils entre 1976 et 2003 ne signale pas de changements statistiquement significatifs. Il y a donc eu une grande stabilité des formes botaniques des deux céréales (BEZANÇON et *al.*, 2009). Les quelques modifications signalées restent limitées et portent sur des cas marginaux comme celui des sorghos sucrés dont la plus grande occurrence en 2003 se traduit par une augmentation des sorghos de type bicolor, race à laquelle ils se rattachent en majorité. Au Niger, leurs tiges font l’objet d’un commerce en étant vendues sur les marchés comme substitut, plus précoce, de la canne à sucre (COSTIS, 2005). Ce commerce paraît avoir pris de l’importance depuis 1976. Chez le mil, seul un des 12 groupes variétaux fait l’objet d’une modification notable. Il s’agit du groupe des Maewa dont l’importance a décliné entre 1976 et 2003 en raison de sa longueur de cycle. Celle-ci l’a vraisemblablement pénalisé dans le contexte d’assèchement climatique qu’a connu le Niger ces dernières quarante années (FOLEY et *al.*, 2003). Il est en effet constaté un retard du démarrage ainsi qu’un raccourcissement de la saison des pluies et une diminution de la pluviométrie dans toutes les zones agricoles du pays.

L’analyse des données de marquage moléculaire par microsatellite des prospections de sorghos et de mils conclut à une légère augmentation des paramètres de diversité génétique (Tableau 5). Pour chaque céréale, la différenciation génétique entre les collections de 1976 et celle de 2003 est cependant faible (LUONG, 2004 ; DEU et *al.*, 2010). Celles-ci sont donc génétiquement proches avec des différences essentiellement dues à deux types marginaux de matériel, à savoir, les variétés sélectionnées (non collectées en 1976) et, dans le cas des sorghos, les variétés sucrées dont l’importance a augmenté depuis 1976. A l’échelle nationale, nous ne mettons donc pas en évidence d’érosion génétique. Les diversités génétiques illustrées par le premier plan d’une analyse multivariée des données alléliques SSR tant pour le sorgho que pour le mil amènent aux mêmes conclusions (Figures 1 et 2). Pour chaque espèce, les points des accessions de la prospection 2003 recouvrent bien ceux de la prospection 1976 avec, en plus, quelques débordements sur les marges rendant compte d’un élargissement limité de diversité. Dans ce contexte, l’autogamie préférentielle du sorgho rend possible la structuration de la diversité des sorghos en trois sous-groupes différenciés sur la base de critères géographiques et raciaux. *A contrario*, l’absence de structure de la diversité des mils s’explique par leur nature allogame et l’importance des flux de gènes inter-variétaux qui en résultent.

Relativement aux facteurs environnementaux, la dégradation climatique qu'a subi le Niger depuis les années 70 n'a pas eu globalement d'effet négatif sur les diversités génétiques des sorghos et mils cultivés dans ce pays. Au final, c'est l'évolution de certains caractères agro-morphologiques qui paraît rendre compte d'un impact de l'augmentation des contraintes pluviales. En effet, nous avons montré (Tableaux 6 et 7) qu'il y a eu, en moyenne, un raccourcissement significatif des cycles végétatifs des sorghos et des mils entre 1976 et 2003. Il s'ensuit logiquement une diminution de la taille des variétés et aussi, dans le cas du mil, de la longueur de leur fructification (le caractère n'a pas été mesuré chez le sorgho). En revanche, les autres caractères, non adaptatifs, suivis chez le mil n'ont pas statistiquement évolué.

D'autres études sont en cours pour vérifier si les modifications phénologiques observées sont attribuables à des effets de migration des variétés. En tout lieu donné, il pourrait y avoir eu une substitution des variétés en place en 1976 par des plus précoces venant du nord suivant en cela la descente des isohyètes. L'étude de DEU et *al.* (2010) ne valide pas cette hypothèse. Il y est montré que les groupes génétiques de sorghos nigériens cultivés reconnus dans ce travail ont vu, entre 1976 et 2003, leurs barycentres restés géographiquement stables. Ce n'est que pour deux d'entre eux (sur les 9 suivis) qu'il a été observé un déplacement significatif et, dans ce cas, ce mouvement s'est fait de l'Est vers l'Ouest. Une autre hypothèse est en cours de vérification : celle d'une adaptation des variétés sur leur lieu de culture en raison de leur polymorphisme génétique qui est, bien sûr, élevé chez le mil allogame mais qui peut être notable chez les variétés locales de sorgho d'Afrique de l'Ouest en raison de leur autogamie partielle (SAGNARD et *al.*, 2008). Pour le mil, un effet de sélection différenciant la prospection 1976 de celle de 2003, vient ainsi d'être mis en évidence pour un SNP du phytochrone C que l'on sait impliqué dans la floraison des plantes.

5 - CONCLUSION

Durant la période considérée (1976 - 2003), les sorghos et les mils du Niger apparaissent avoir répondu phénotypiquement de façon similaire aux modifications climatiques qu'a subi le pays. Nous observons globalement un raccourcissement de leur cycle végétatif et de leur taille, ce qui aboutit à une diminution de leur biomasse. La différence de biologie florale entre les deux espèces ne paraît pas avoir eu d'effet sur le sens de cette réaction adaptative. Si celle-ci fait bien valoir l'intérêt des agriculteurs à s'appuyer sur ces 2 plantes pour faire face aux changements climatiques, il reste qu'elle pourrait se traduire par des potentialités amoindries de production.

Dans ce contexte environnemental défavorable combiné à une forte augmentation démographique, les sorghos et les mils du Niger ont continué à présenter la même importante diversité de formes botaniques et n'ont pas connu d'érosion génétique selon les marqueurs neutres et les indicateurs utilisés. Nous n'attribuons donc pas d'effet à l'accentuation des contraintes climatiques et démographiques sur la richesse des ressources génétiques des deux céréales suivies. En revanche, la stabilité observée nous paraît liée à celle de la structure de la production agricole au Niger qui est restée pratiquement la même sur la période couverte par l'étude. Avec un fort attachement des paysans à leurs variétés locales, le mil reste prépondérant en couvrant toujours environ 70% des surfaces cultivées alors que le sorgho vient en second (un peu plus de 20%). Faut de conditions climatiques favorables, il n'y a pas eu au Niger l'important développement des productions de maïs et de coton qui ont changé le paysage agricole de pays voisins comme le Burkina Faso ou le Mali. Aussi, pour juger de l'effet spécifique de ce phénomène, ces deux autres pays sont aujourd'hui l'objet d'études sur la diversité de leurs mils et sorghos selon une approche plus régionale. Celle-ci permettra de prendre en compte des indicateurs supplémentaires de diversité pondérant l'occurrence des variétés par leur surface emblavée, ce qu'il n'a pas été possible de faire au Niger à une échelle nationale.

« Journée ASF du 4 février 2010 »

« Diversité génétique, structures variétales et amélioration des plantes »

BIBLIOGRAPHIE

- BARRY M.B., DIAGNE A., PHAM J.L., AHMADI N. - 2008 - Evolution récente de la diversité génétique des riz cultivés (*Oryza sativa* et *O. glaberrima*) en Guinée. *Cahiers Agricultures* 17 (2), 122-127.
- BEZANÇON G., PHAM J.L., DEU M., VIGOUROUX Y., SAGNARD F., MARIAC C., KAPRAN I., MAMADOU A., GERARD B., NDJEUNGA J., CHANTEREAU J. - 2009 - Changes in the diversity and geographic distribution of cultivated millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) varieties in Niger between 1976 and 2003. *Genetic Resources and Crop evolution* 56, 223-236.
- BONO M. - 1973 - Contribution à la morpho-systématique des *Pennisetum* annuels cultivés pour leur grain en Afrique occidentale francophone. *L'Agronomie Tropicale* 28, 229-356.
- CLEMENT J.C. - 1985 - Les mils pénicillaires de l'Afrique de l'Ouest : prospections et collectes. International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italie.
- COSTIS C. - 2005 - Diversité des mils et sorghos cultivés au Niger : facteurs agro-économiques, socio-économiques et les modes de gestion des variétés. Mémoire de DESS « Gestion des systèmes agro-sylvopastoraux en zones tropicales » Université Paris XII.
- DEU M., SAGNARD F., CHANTEREAU J., CALATAYUD C., HERAULT D., MARIAC C., PHAM J.L., VIGOUROUX Y., KAPRAN I., TRAORE P.S., MAMADOU A., GERARD B., NDJEUNGA J., BEZANÇON G. - 2008 - Niger-wide assessment of *in situ* sorghum genetic diversity with microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet.* 116 (7), 903-913.
- DEU M., SAGNARD F., CHANTEREAU J., CALATAYUD C., VIGOUROUX Y., PHAM J.L., MARIAC C., KAPRAN I., MAMADOU A., GERARD B., NDJEUNGA J., BEZANÇON G. - 2010 - Spatio-temporal dynamics of genetic diversity in *Sorghum bicolor* in Niger. *Theor. Appl. Genet.*, on line : DOI 10.1007/s00122-1257-1
- FAO - 2010 - FAOSTAT. Accessible à <http://faostat.fao.org/site/550/DesktopDefault.aspx?PageID=550>
- FAO-ORSTOM - 1977 - Prospections des mils pénicillaires et sorgho en Afrique de l'Ouest - Niger- Campagne 1976. Report.
- FOLEY J.A., COE M.T., SCHEFFER M., WANG G. - 2003- Regimes shifts in the Sahara and sahels interactions between ecological and climatic systems in Northern Africa. *Ecosystems* 6, 524-539.
- FORD-LLOYD B.V., BRAR D., KHUSH G.S., JACKSON M.T., VIRK P.S. - 2009 - Genetic erosion over time of rice landrace agrobiodiversity. *Plant Genetic Resources* 7, 163-168.
- GAI J., ZHAO T., XIONG D., LI H., QIAN Y. - 2005 - A sample survey on genetic erosion of soybean landraces in China. Paper presented at the Expert consultation on genetic erosion, methodologies and indicators. ICRISAT, Patancheru, India, 19-21 December 2005.
- HAMMER K., KNÜPFER H., XHUWELI L., PERRINO P. - 1996 - Estimating genetic erosion in landraces - two cases studies. *Genetic Resources and Crop Evolution* 43, 329-336.
- HARLAN J.R., DE WET J.M.J. - 1972 - A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science* 12, 127-176.
- HARLAN J.R. - 1987 - Les plantes cultivées et l'homme. Techniques vivantes. Presses universitaires de France. 414 p.
- KHELESTKINA E.K., HUANG X.Q., QUENUM F.J.B., CHEBOTAR S., RÖDER M.S., BÖRNER A. - 2004 - Genetic diversity in cultivated plants-loss or stability ? *Theor. Appl. Genet.* 108(8), 1466-1472.
- LUONG V. - 2004 - Mémoire de Fin d'Etudes, Ecole de Biologie Industriel.
- MARIAC C., LUONG V., KAPRAN I., MAMADOU A., SAGNARD F., DEU M., CHANTEREAU J., GERARD B., NDJEUNGA J., BEZANÇON G., PHAM J.L., VIGOUROUX Y. - 2006 - Diversity of wild and cultivated pearl millet accessions (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br.) in Niger assessed by microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet.* 114 (1), 49-58.
- MEKBIB F. - 2008 - Genetic erosion of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the centre of diversity, Ethiopia. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55, 351-364.
- MORIN S.R., CALIBO M., GARCIA-BELEN M., PHAM J.L., PALIS F. - 2002 - Natural hazards and genetic diversity in rice. *Agriculture and Human Values* 19, 133-149.

PERONI N., HANAZAKI N. - 2002 - Current and lost diversity of cultivated varieties, especially cassava, under swidden cultivation systems in the Brazilian Atlantic Forest. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 92, 171-183.

SAGNARD F., BARNAUD A., DEU M., BARRO C., LUCE C., BILLOT C., RAMI J.F., BOUCHET S., DEMBELE D., POMIES V., CALATAYUD C., RIVALLAN R., JOLY H., vom BROCKE K., TOURE A., CHANTEREAU J., BEZANÇON G., VAKSMANN M. - 2008 - Analyse multiéchelle de la diversité des sorghos : compréhension des processus évolutifs pour la conservation *in situ*. *Cahiers Agricultures* 17 (2), 114-121.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - 2002 - Report on the Sixth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity (UNEP/CBD/ COP/6/20/Part 2) Strategic Plan for the Convention on Biological Diversity, Decision VI/26 (Convention on Biological Diversity, 2002). Accessible à <http://www.biodiv.org/decisions/default.aspx?m=COP-06&id=7200&lg=0>

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - 2004 - Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. Strategic plan : future evaluation of progress, Decision VII/30 (Convention on Biological Diversity 2004). Accessible à <http://www.biodiv.org/decisions/default.aspx?m=COP-07&id=7767&lg=0>

YAPI A.M., DEBRAH S.K. - 1998 - Evaluation de l'impact des recherches variétales de sorgho et de mil en Afrique de l'Ouest et du Centre. In : Ratnadass A, Chantereau J, Gigou J (eds), Amélioration du sorgho et de sa culture en Afrique de l'Ouest et du Centre. Atelier de Restitution du Programme Conjoint sur le Sorgho, 17-20 mars 1997, Bamako, Mali. Colloques CIRAD.

