

Influence des facteurs anthropiques et des flux de gènes sur la variabilité génétique des formes cultivées et spontanées du mil dans deux localités du Niger¹

T. Robert Généticien	M. Banoïn Agronome	A. Hamidou Agronome
A. Luxereau Anthropologue	Y. Beidari Technicien	D. Moussa Technicien
C. Mariac Généticien	G. Bezançon Généticien	M. Sadou Technicien
K. Ali Agronome	S. Cayeux Généticienne	M. Seydou Technicien
C. Allinne Généticienne	E. Couturon Généticien	O. Seyni Technicien
A. I. Amoukou Généticien	V. Dedieu Généticienne	M. Tidjani Technicien
J. Bani Agronome	I. Gamatché Agronome	A. Sarr Généticien

¹ Ce texte a déjà été publié dans les actes du 4^e Colloque National « Le patrimoine génétique : la diversité et la ressource » organisé par le BRG à La Châtre les 14, 15 et 16 octobre 2002 sous le titre : « Gestion de la diversité en milieu paysan : influence de facteurs anthropiques et des flux de gènes sur la variabilité génétique des formes cultivées et spontanées du mil (*Pennisetum glaucum*) dans deux localités du Niger ». Les auteurs tiennent à remercier le Bureau des Ressources Génétiques (BRG, Paris) pour son soutien financier sans lequel ces travaux n'auraient pu être réalisés, ainsi que les deux relecteurs anonymes pour leurs commentaires utiles et constructifs.

I Introduction

Depuis quelques années, la nécessité de développer des modes de conservation des Ressources Génétiques « à la ferme » est fortement affichée par les institutions nationales et internationales en charge de ces problèmes. La conservation à la ferme poursuit des objectifs multiples (JARVIS, 1999) dont le maintien *in situ* de la diversité génétique et des processus évolutifs, la préservation de l'équilibre écologique des agrosystèmes, et la revalorisation du rôle des agriculteurs dans la conservation des ressources génétiques. Ces objectifs reposent sur la conception selon laquelle les systèmes agricoles non intensifs sont généralement garants du maintien d'une certaine diversité biologique liée aux pratiques agricoles. S'il est avéré que l'on trouve effectivement dans de tels systèmes une diversité variétale importante (BRUSH, 1992), on est amené à s'interroger sur sa relation avec la variabilité génétique sous-jacente, et plus encore sur les mécanismes qui permettent le maintien éventuel de cette diversité à ces différents niveaux de perception. L'efficacité des systèmes agricoles non intensifs en relation avec l'objectif de conservation des ressources génétiques peut être alors reconsidérée au travers de l'interrogation suivante : les pratiques agricoles dans les systèmes de ce type permettent-elles systématiquement le maintien des mécanismes biologiques qui génèrent et façonnent cette diversité par le biais de la recombinaison et des processus sélectifs ? Les données obtenues chez le maïs (LOUETTE *et al*, 1997) ou chez le manioc (ELIAS *et al*, 2001a, ELIAS *et al*, 2001b) confirment plutôt cette vision des choses. Il convient toutefois de s'interroger sur la portée générale de cette conception, et notamment de sa dépendance vis-à-vis des conditions socio-économiques et écologiques dans lesquelles ces agricultures se maintiennent².

Parmi les mécanismes évolutifs importants, les flux de gènes entre variétés cultivées, et/ou entre formes domestiquées et spontanées,

² On doit noter que les deux exemples précités concernent des régions et des conditions de production qui permettent une autosuffisance alimentaire de bon niveau.

sont souvent considérés comme étant maintenus dans les agricultures non intensives. Ils permettent la recombinaison génétique et l'introgession des variétés cultivées par des gènes venant des formes sauvages, et donc l'émergence de nouvelles combinaisons génétiques. L'effet de la sélection naturelle et le choix fait par l'agriculteur du matériel végétal qui sera propagé la saison suivante doit permettre la sélection des combinaisons les plus favorables. *A contrario*, ces flux de gènes peuvent être des facteurs déstructurant la stabilité phénotypique et le niveau d'adaptation des variétés cultivées s'ils sont trop importants (SLATKIN, 1995). Les niveaux d'équilibre entre flux de gènes et forces sélectives peuvent donc être très fragiles, particulièrement chez les populations de plantes très allogames.

Des questions restent toutefois posées concernant l'existence réelle de ces flux de gènes, particulièrement entre les formes domestiquées et spontanées, leur importance sur le plan quantitatif et donc leur impact sur l'organisation de la diversité dans les agro-systèmes. Des études réalisées sur certaines espèces démontrent la réalité des flux de gènes entre les deux formes (RENNO *et al.*, 1997 sur le mil ; LINDER *et al.*, 1998 sur le tournesol ; MULLER *et al.*, 2001 sur la luzerne). Pourtant, leur impact sur la diversité des plantes cultivées est considéré par certains auteurs comme anecdotique (WOOD et LENNE, 1997). Les exemples bien documentés restent rares pour que l'on puisse avoir une idée précise de l'importance du phénomène (JARVIS et HODGKIN, 1999).

L'évaluation des facteurs de contrôle de ces flux de gènes paraît donc un axe de recherche nécessaire afin de comprendre la dynamique de la diversité dans les agrosystèmes. Parmi ces facteurs, les pratiques agricoles tiennent une place prépondérante. Elles vont moduler les flux de gènes à deux niveaux : i- les modes de gestion des semences et de culture des variétés ; ii- les pratiques de sélection et d'élimination des adventices entraînant des modifications des flux de gènes avec les formes domestiquées. Il faut souligner que ces pratiques ne sont pas figées et que les agriculteurs sont souvent obligés de les adapter à des changements écologiques et socio-économiques.

Nous présentons ici une synthèse des travaux récents réalisés au Niger sur le mil, principale culture vivrière au Sahel. Cette étude, réalisée à une échelle micro-géographique, porte sur le rôle des pratiques agricoles sur les flux de gènes et sur l'organisation et l'évo-

lution de la variabilité génétique des variétés de mil, dont le système de reproduction est l'allogamie préférentielle. Ce niveau d'analyse est celui auquel les gestionnaires sont ou seront confrontés dans le cadre du développement de stratégies de conservation à la ferme. Plus précisément, nous abordons deux aspects : i-les relations entre la diversité des pratiques agricoles et les flux de gènes entre variétés et l'organisation de la diversité aux niveaux agro-morphologique et moléculaire ; ii-l'analyse des relations génétiques entre formes cultivées, sauvages et intermédiaires basée sur leur évaluation agro-morphologique et génétique à l'échelle du champ paysan. Le but est ici d'apporter des éléments de compréhension sur l'origine des plantes à phénotypes intermédiaires domestiqué/sauvage (appelées « *soun* » localement) et sur le degré d'introgression de populations cultivées par des caractères de formes sauvages.

Matériel et méthodes

Lieux d'études

La recherche s'est déroulée dans deux localités du sud-ouest du Niger, Alzou et Kouré, distantes d'environ 200 km. Les situations de ces deux villages sont différenciées : les conditions de pluviométrie sont plus favorables à Kouré et le niveau de production meilleur ; à Alzou on trouve des situations de sympatrie entre mils sauvages et mils domestiqués alors qu'à Kouré des *soun* sont observés, en l'absence de mils sauvages. Des semences ont par ailleurs été échantillonnées dans d'autres villages, sur des marchés et chez des commerçants de la région (fig. 1).

Enquêtes anthropologiques

Elles ont porté sur les représentations, savoirs et savoir-faire paysans : c'est-à-dire sur la perception, les modes de reconnaissance et de classement des plantes à phénotype diversifié (en particulier sur

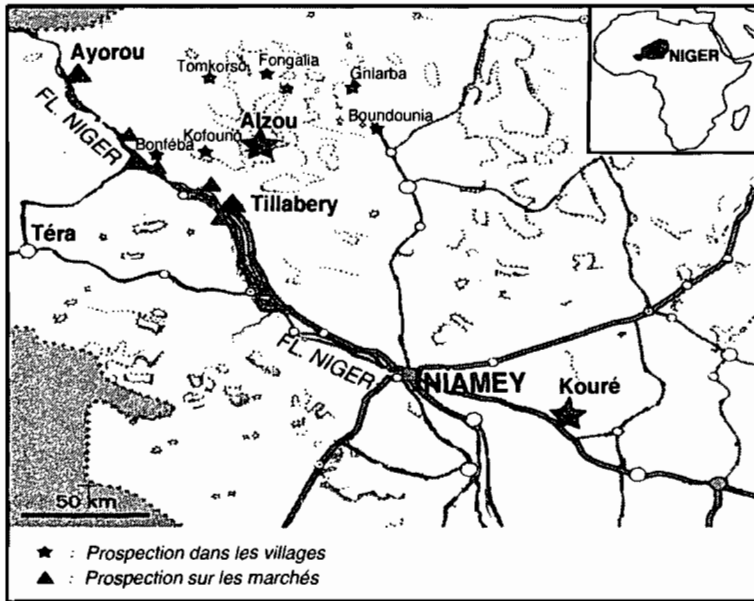


Figure 1

Carte de la zone où les travaux ont été réalisés et emplacements des villages et marchés où les enquêtes et les échantillonnages ont été réalisés.

la césure entre ce que nous considérons comme sauvages et domestiques), sur les savoirs fondant les pratiques. Pour ce faire nous avons recueilli et analysé les discours, en situant les différents interlocuteurs dans leur statut social ; nous les avons confrontés à l'observation des pratiques afin de distinguer entre norme dite et pratique réelle d'une part, afin d'évaluer d'autre part la variabilité de ces pratiques selon les interlocuteurs et selon le temps ; nous avons mis en relation les savoirs vernaculaires et les savoirs scientifiques. La grande variabilité des pratiques au sein d'un même village, notamment en terme d'efficacité des façons culturelles et de gestion des semences, nous a amenés à travailler avec une dizaine d'agriculteurs par village, choisis pour être représentatifs de la diversité des situations sociales (familles étendues/restreintes, descendants d'hommes libres/descendants d'esclaves, Zarma-Songhai/Peul...), économiques (riches/pauvres, grands/petits propriétaires...) et des logiques personnelles (attachement à une variété, revenus non-agricoles...), puis à

sortir de ces villages en enquêtant sur les sources de semences sur les marchés d'approvisionnement.

Analyses agro-morphologiques et génétiques

Caractérisation de la diversité morphologique *in situ* et de la variabilité génétique des différents types de mils identifiés par les agriculteurs

Les mesures ont été réalisées sur une trentaine de plantes identifiées par les paysans, pour chacune des différentes catégories distinguées (7 à Alzou et 9 à Kouré). Cette classification s'opère à la fois sur la morphologie des plantes et leur position au champ, elle concerne des formes cultivées et des formes intermédiaires dont certaines expriment à différents degrés des caractères de la forme sauvage. Cette caractérisation a été réalisée sur le champ de l'agriculteur A à Alzou (tabl. I). Son champ est bordé d'une grande population de mils sauvages dont un échantillon a été inclus dans l'analyse. A cultive en mélange deux variétés précoces, *haini kiré* (HK) et *daran-coba* (D). A Kouré, l'étude a porté dans le champ de l'agriculture K qui cultive une variété précoce (HK) et une variété tardive *somno* (S) en parapatrie dans la même parcelle. Douze caractères de la chandelle et des épillets (incluant le niveau d'égrenage spontané), définissant une partie du syndrome de domestication (Poncet *et al.*, 1998) ont été mesurés.

L'analyse génétique de ces plantes a été effectuée à l'aide de marqueurs AFLP générés par l'utilisation de 5 couples d'amorces. Au total, 133 bandes polymorphes ont été obtenues sur 114 plantes à Kouré et 159 à Alzou.

Caractérisation en essai agronomique de la diversité morphologique des plantes issues de semences de variétés locales précoces et tardives

L'essai a été réalisé à la station expérimentale de l'Icrisat (Sadoré) au cours de la campagne 2000. Les échantillons analysés proviennent au total de 4 agriculteurs d'Alzou (A, B, C et D), 1 de Kouré (K) et 1 de Karma (M) village situé à 20 km au nord de Niamey. Au total 14 cultivars ont été analysés appartenant à 4 variétés locales :

haini kiré (HK), *darancoba* (D), *zongo* (Z) et *somno* (S). Une variété améliorée P3 Kollo (VA) échantillonnée à Karma a aussi été incluse dans l'analyse (tabl. I).

Agriculteurs	Villages	Variétés	Codes
A	Alzou	<i>Haini Kiré</i> (HK)	AHK
A	Alzou	<i>Darankoba</i> (D)	AD
B	Alzou	HK	BHK
C	Alzou	HK	CHK
C	Alzou	<i>Somno</i> (S)	CS
C	Alzou	<i>Tchoumo</i> (T)	CT
D	Alzou	HK	DHK
K	Kouré	HK	KHK
K	Kouré	<i>Somno 'bi'</i> (SB)	KSB
K	Kouré	<i>Somno 'darankoba'</i> (SD)	KSD
M	Karma	HK	MHK
M	Karma	T	MT
M	Karma	P3 Kollo var. améliorée	MVA
M	Karma	Zongo	MZ

Tableau I

Liste et codage des variétés étudiées par agriculteur et par village.

Les échantillons de grains ont été prélevés sur des chandelles sélectionnées par les agriculteurs au moment de la récolte 1999 et destinées à constituer le stock de semence de la saison suivante. La mise en place a été réalisée selon un modèle en blocs aléatoires complets avec trois répétitions. Au total 36 caractères morphologiques, descripteurs de l'architecture de la plante au stade juvénile, à la floraison et à la maturité, du format de la chandelle, de la structure de l'épillet ainsi que la précocité de floraison ont été mesurés sur 40 plantes par répétition. Par ailleurs, les plantes de chaque variété ont été classées en phénotype « cultivé » ou phénotype « *soun* » à la récolte.

Analyse de la variabilité génétique de lots de semences sélectionnées par les agriculteurs et d'échantillons d'apports extérieurs

Des échantillons de semences ont été prélevés lors des récoltes 1999, 2000 et 2001. Des échantillonnages ont été également effectués sur

les apports extérieurs de grains au moment du semis, complétant le stock constitué à la récolte, et sur les marchés régionaux. Nous présentons ici des données préliminaires réalisées à partir de ces échantillons dont les analyses sont en cours : l'analyse comparative de la variabilité génétique observée en 1999 et 2000 a été réalisée avec des échantillons du village d'Alzou (HK, D et *tchoumo* (T)) prélevés chez 3 agriculteurs (A, C et D) et une variété de Kouré (HK) prélevée chez K. Elle est basée sur 32 bandes polymorphes.

■ Résultats

Diversité variétale, classification locale et pratiques culturales

Classifications paysannes

En zarma-songhai, le mil se dit *haini*. Ce terme s'applique aux plantes portant des chandelles biens formées, bien remplies et non égrenantes, en somme le "mil domestique". Ceux qui sont moins remplis, moins bien formés et qui présentent une tendance à l'égrenage, sont appelés *haini wai* (mil féminin) versus les belles chandelles caractérisées de *haini aro* (mil masculin). Ils font normalement partie de la dotation des femmes qui les glanent après la récolte des meilleures chandelles.

Ceux qui s'égrènent spontanément « au vent ou lorsqu'ils s'entrechoquent » sont des *soun*. Selon les agriculteurs, ils mûrissent avant les mils mais l'étalement de leur floraison permet un large recouvrement avec celle des plantes à phénotype domestiqué (précoces et tardives). Avant l'épiaison, rien ne permet de véritablement distinguer ces *soun* même si quelques agriculteurs les associent à des caractères des tiges (grêles et nombreuses, collet non enterré) et, rarement, d'intensité de coloration des feuilles au stade plantule. Leurs chandelles sont plus petites mais certaines peuvent avoir des grains analogues voire même plus gros que ceux portés par les chandelles des « mils féminins ». Les mils sauvages (*P. glaucum* subsp. *monodii*) sont des

sounsouna (redoublement du terme *soun*) et sont apparentés aux « mils domestiques »³. Cette différenciation au niveau des noms ne doit pas laisser supposer qu'il s'agit de classes mutuellement exclusives. Elle ne doit pas non plus masquer les divergences d'avis, notamment lorsqu'on discute chandelles en main, et plus fondamentalement le faible intérêt des agriculteurs pour ce type de classification qui est surtout opératoire au moment du choix des semences.

Les variétés sont classées en deux grands ensembles selon leur précocité et cette classification est différente selon les deux localités. A Kouré (et dans l'ensemble de la région), les *somno* sont semi-hâtifs (CLEMENT, 1985) tandis qu'à Alzou ce sont des mils très hâtifs, irrégulièrement cultivés⁴. Les variétés que l'on peut caractériser de « traditionnelles », celles que les agriculteurs cultivent depuis très longtemps et qui constituent leur véritable centre d'intérêt ont pris le nom générique d'une variété dominante dans les champs, *haini kiré* (litt. mil rouge). Cette classe intègre plusieurs variétés (ou sous-variétés selon le point de vue adopté) ayant un cycle de même durée, qui sont : le *digabona*, le *darancoba* et le *tchoumo* et, à Kouré, certaines variétés nouvellement introduites par les services techniques. Certaines de ces variétés résultent en effet d'emprunts plus ou moins récents (une vingtaine d'années pour le *tchoumo* et le double pour le *darancoba* à Alzou) alors que d'autres ont disparu localement, en liaison avec les graves épisodes de sécheresse ou la dégradation des sols (LUXEREAU, 2002). Toutes ces variétés sont différenciées sur la base d'un petit nombre de caractères (tabl. II).

Certains de nos interlocuteurs classent les *soun* des poquets dans des sous-catégories définies en relation avec les variétés cultivées dans le champ (*soun-darancoba*, *soun-haini kiré*, *soun-somno*...). Cette classification n'a pas de conséquences sur les pratiques.

Mis à part quelques agriculteurs qui collectionnent plusieurs variétés ou ont spécialisé leur production autour d'une seule, le but de la

³ Tandis que les *Pennisetum pedicellatum* (appelés *borboto*) sont franchement exclus de cette catégorie englobante.

⁴ Ils ont été introduits par un Projet en 1984 puis perdus et réintroduits en 2001 après la sécheresse de 2000. Seuls 3 des agriculteurs suivis les ont conservés dans leurs stocks de semences pour 2002.

Caractère	<i>Hainikiré</i>	<i>Darancoba</i>	<i>Tchoumo</i>
Extrémité de la chandelle	stérilité apicale	rond même si apparent	stérilité apicale
Base	lâche	régulière	
Forme de la graine	pointue	ronde	ronde
Couleur des graines	ocre mais aussi noire	pâle, bicolores	noire
Rachis	pâle et fin	pâle et plus épais	noir et épais
Longueur des pédicelles	plus longs	courts	plus longs
Dernière feuille	exertion non complète	exertion complète	
Forme et longueur de la chandelle	plus longue et plus étroite	moins longue	bien plus longue
Cycle		plus précoce d'1 semaine	plus précoce de 2 semaines
Qualité de la farine	blanche	blanche	grise

Tableau II

Critères de reconnaissance et différenciation entre variétés déterminés au cours des enquêtes.

majorité est de conserver un peu de toutes mais sans que leur proportion soit un réel critère des sélections. La plupart d'entre eux estiment d'ailleurs qu'au fil des années, toutes ces variétés deviennent du *haini kire* (« qui est le plus fort »). Ils sèment, dans leur très grande majorité, l'ensemble des *haini kiré* en mélange et certains y ajoutent aussi des *somno*. Les cultures monovariétales ne sont fréquentes qu'au stade de l'expérimentation d'une variété nouvelle mais rares ensuite. Par ailleurs les parcelles sont jointives et n'empêchent nullement les hybridations entre variétés ni entre les *haini*, les *soun* et les *sounsouna* lorsqu'ils existent (à Alzou).

Diversité morphologique

L'analyse de variance (2 facteurs croisés : variété et bloc), réalisée sur les données morphologiques de l'essai agronomique, a confirmé que les variables les plus discriminantes entre variétés sont celles qui décrivent la morphologie de la chandelle, la couleur et le poids des grains et la précocité. Les valeurs de F associées à l'effet « variété » sont hautement significatives pour ces variables ($p < 1\%$). La com-

paraison des moyennes a toutefois montré que les variétés se répartissent en un nombre très limité de groupes homogènes (de 2 à 4 groupes seulement), les variables du format de la chandelle séparant le plus les différentes variétés. Par exemple, entre HK et D issus de la semence sélectionnée par A (AHK et AD), seules les variables de format de la chandelle permettent d'observer des différences significatives. Nos résultats ne corroborent donc que partiellement le pouvoir discriminant des critères de distinction donnés par les agriculteurs. De même, les variables qualitatives de distinction des variétés (couleurs et forme des grains), montrent elles aussi des distributions significativement différentes entre variétés, malgré un polymorphisme intra-variétal important. En revanche, les variables mesurées au stade juvénile ont révélé systématiquement des effets blocs et/ou des interactions blocs/variétés très significatifs même si, pour certaines d'entre elles, l'effet variété était significatif. Ce résultat montre l'importance des conditions de croissance, souligné par les agriculteurs, sur l'expression de ces caractères. Il faut d'ailleurs souligner que ces variables ne sont pas utilisées par eux comme critères de distinction, ni entre variétés ni même entre *soun* et plantes cultivées dans les poquets. De plus, les corrélations intra-variétales entre les caractères mesurés au stade juvénile et les caractères mesurés à maturité restent très faibles, et souvent non-significatifs à l'exception de la corrélation entre le nombre de talles basales aux deux stades (valeur observée la plus forte = 0,66).

Les résultats ont aussi montré que les différences morphologiques moyennes entre plantes à phénotype domestique des différentes variétés de même groupe de précocité et échantillonnées chez un même agriculteur restent relativement faibles (exemple : CHK/CD/CS ; AHK/AD ; KSB/KSD). Hormis la précocité de floraison, la distinction entre *somno* tardifs et le groupe des HK ne se fait que pour le poids des grains (celui des *somno* étant significativement inférieur, même si les chandelles sont un peu plus longues et un peu plus fines que la moyenne des variétés).

La différence de précocité des *somno* de Kouré et le groupe des HK est très importante (entre 87 et 90 jours pour les premières et entre 67 et 71 jours pour les dernières). Mais l'étalement des floraisons est très large (résultat non illustré). Les *somno* de Kouré contiennent des plantes (hors *soun*) plus précoces que la moyenne des HK.

Enfin, la floraison des *soun* est à chaque fois très concordante avec la floraison des plantes de leurs variétés. Il n'y a pas de différences significatives dans les dates moyennes de floraison entre *soun* et plantes à phénotype cultivé de même groupe de précocité, les distributions se recouvrant aussi très largement (résultat non illustré).

Organisation spatio-temporelle de la variabilité génétique

Les agriculteurs qui effectuent une sélection de leur semence à la récolte, le font sur les chandelles rassemblées au pied des greniers⁵. Les *soun*, égrenant tout de suite, y participent donc fort peu mais les chandelles de « mil féminin », également en partie égrenantes, peuvent y participer. Cette sélection est loin d'être une règle et semble être liée à la diminution des récoltes ; plus de la moitié des agriculteurs suivis continue à constituer (ou compléter) ses bottes de semences juste avant la période des semis, en puisant dans le reste de la récolte engrangée⁶. Les critères de sélection portent essentiellement sur la taille et le remplissage des chandelles et des grains mais la réduction des récoltes amène les agriculteurs à être moins regardants sur la qualité de leur sélection.

Les sécheresses récurrentes contribuent, en synergie avec la désaéralisation de l'agriculture, à imposer un recours fréquent aux semences extérieures qui touche tous les agriculteurs à terme plus ou moins rapproché en fonction de leur niveau d'autosuffisance (en relation avec la taille et la qualité des fonds, l'accès à la main d'œuvre et aux outils)⁷. Ils ont d'abord recours à des dons, socialement obligatoires, de parents et voisins. Ces échanges peuvent déborder le cadre du village mais la préférence est donnée aux réseaux proches, fournissant des semences "adaptées aux condi-

⁵ Et non sur la plante entière au champ, donc ni sur sa vigueur ni sur des caractères de précocité.

⁶ Ce qui a également pour effet d'éradiquer les épillets égrenants.

⁷ Un seul agriculteur d'Alzou (descendant des lignages fondateurs, bénéficiant de grands champs de qualité, d'une main-d'œuvre abondante et

tions de notre sol et de notre climat". Dans un second temps, ils achètent leur semence, de préférence en chandelles afin d'en contrôler la qualité, mais également en vrac, de qualité bien plus variable. Les circuits marchands débordent en effet la petite région et si les agriculteurs savent reconnaître leur variété de *haini kiré* (entendue comme englobante) ils n'en maîtrisent nullement la provenance. Ce commerce est éclaté entre des femmes qui viennent vendre de petites quantités de mil local (provenant parfois de leur dotation c'est-à-dire de chandelles mal formées voire de gros *soun*) et de gros commerçants professionnels qui stockent (quelquefois sur plusieurs années) des grains pouvant provenir de plusieurs centaines de kilomètres. A titre d'exemple, l'agriculteur A avait, en 2000, des semences provenant de 7 sources différentes.

Le tableau III présente les résultats obtenus à partir des analyses des échantillons 1999 et 2000 d'Alzou (32 locus polymorphes). Il montre que les populations HK cultivées par les différents agriculteurs sont globalement très peu différenciées malgré ces modes de gestion de la semence diversifiés. La figure 2 montre que cette conclusion doit être modulée selon l'année considérée : la différenciation entre les échantillons HK récoltés en 2000 est nettement plus grande que celle observée entre les échantillons de 1999. Ceci est vrai également pour la variété D. De plus, on constate que les variétés HK et D cultivées par A en 1999 sont nettement différenciées des mêmes variétés cultivées par le même agriculteur l'année suivante. La figure 2 montre aussi que les apports extérieurs de semences chez A et C sont nettement différents des lots de semences récoltés l'année précédente et auxquels ils ont été ajoutés pour le semis 2000. Nous n'avons pas pu quantifier la part de ces apports extérieurs dans la semence 2000 mais il est probable, compte tenu de ces résultats, que ces apports représentaient une part significative de cette semence et

de solides revenus extérieurs) affirme être autosuffisant en semences depuis 10 ans ; mais en 2001, à la suite de 3 semis avortés, il a dû également se procurer un complément de semences. Les déterminismes sociaux sont complexes : les "petits" exploitants qui cumulent les handicaps et entrent dans une spirale de non autosuffisance en nourriture comme en semences peuvent être des Peul non propriétaires, des descendants d'esclaves mais aussi des lignages fondateurs mal dotés en terres et en main-d'œuvre.

Variété(s) considérée(s)	Sources de variation	% de la variance totale	F statistiques	P
HK	Entre les agriculteurs	- 4,27 %	Fct = - 0,043	$p = 0,7521$
	Entre les années/agriculteur	20,34 %	Fsc = 0,195	$p < 0,005$
	Parmi les années (niveau intra-population)	83,94 %	Fst = 0,161	$p < 0,005$
HK + D	Entre les variétés	- 3,18 %	Fct = - 0,032	$p = 0,6932$
	Entre les années/variété	7,53 %	Fsc = 0,073	$p < 0,005$
	Parmi les années (niveau intra-population)	95,65 %	Fst = 0,043	$p < 0,005$

Tableau III

Résultat de l'analyse de variance moléculaire (AMOVA), des populations en fonction des agriculteurs et des années (obtenue avec 132 individus), et en fonction des variétés et des années (obtenue avec 181 individus). P représente la valeur de probabilité associée au rejet de l'hypothèse nulle (contribution du facteur testé à la variance totale observée = 0). Cette valeur a été calculée sur la base de 1000 échantillons obtenus par permutations aléatoires des données initiales. [L'AMOVA est une méthode de décomposition de la variation moléculaire observée, analogue à une ANOVA (modèle hiérarchique) classique, mais basée sur les valeurs des distances génétiques inter-individuelles, donc prenant en compte l'information apportée par l'ensemble des marqueurs (ici, AFLP)].

expliquent donc l'effet année observé chez ces deux agriculteurs pour HK et D. D'une façon générale, le facteur temporel semble être le principal responsable de la structuration observée même si celle-ci reste faible et si cet effet varie considérablement selon les agriculteurs. Les analyses de variance moléculaire ont permis de montrer que pour la variété HK l'effet « année » explique 20 % de la variabilité génétique totale tandis qu'il n'explique que 7,5 % pour HK et D ensemble.

La différenciation génétique entre variétés est également très faible mais varie selon les agriculteurs qui les cultivent. Au plus, 5,6 % de la variabilité génétique totale est expliquée par les différences entre variétés sauf chez A entre HK et D quand on cumule les données sur les échantillons des récoltes 1999 et 2000 (20,5 % de la variation totale est alors imputable aux différences entre variétés). Cela est essentiellement dû à la contribution des échantillons de 2000 (fig. 2). Ces conclusions devront toutefois être étayées par l'analyse d'un plus grand nombre de marqueurs.

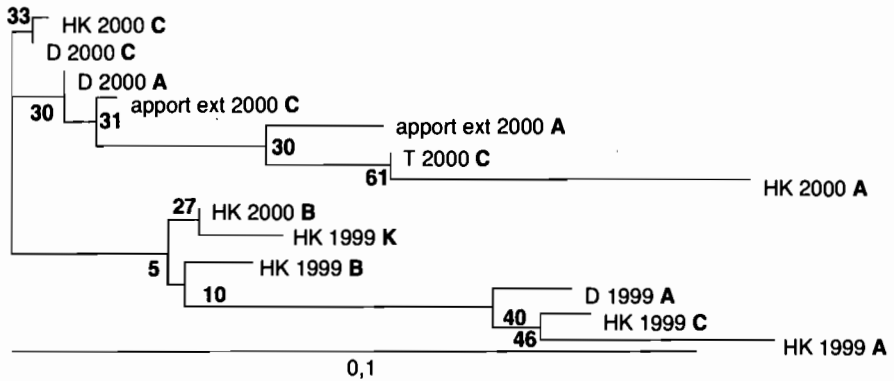


Figure 2

Arbre construit à partir de la matrice des distances DAS inter populations (JIN et CHAKRABORTY, 1994), par la méthode de « neighbour-joining ». Une vingtaine d'individus par population a été analysée. Les lettres en gras correspondent aux agriculteurs.

L'analyse des seules données 2000 (147 locus polymorphes) qui inclut des échantillons collectés dans d'autres villages, et d'autres échantillons de Kouré montre que seulement 17,6 % de la variabilité génétique totale sont dus à la variation entre régions.

Relations génétiques entre formes domestiquées et formes sauvages

Perception et catégorisation des *soun*

Dans tous les champs paysans, on retrouve des *soun* dans les poquets, donc a priori issus de la semence, et en dehors des poquets parmi les plantes qualifiées de *zarow* (litt. hors poquets), issues de repousses spontanées. La classification paysanne n'oppose pas de manière exclusive les formes domestiques, les *soun* et les sauvages : « Les *soun* proviennent des mils. Même si tu fais très attention à ne semer que des bons grains, tu trouveras des *soun* dans les poquets ». Nos expérimentations ont montré que le pourcentage de *soun* dans les semences des différentes variétés locales variait de 7,6 à 31,1 %, les taux les plus importants étant observés chez l'agriculteur C. Les

semences de *somno* tardifs (KSB et KSD) contiennent autant de *soun* que le groupe des HK. Toutes les formes intermédiaires (mils féminins, *soun*) sont différenciées selon le degré de caducité des épillets et le remplissage des chandelles. Une partie des agriculteurs estime que, dans de bonnes conditions, des grains de *soun* sont susceptibles de donner une descendance de type domestique. Des expérimentations menées sur des descendance iso-femelles de plantes de type *soun* et sauvage récoltées en bordure de champ ont d'ailleurs montré que les chandelles obtenues présentaient des phénotypes fort diversifiés. Ceci est concordant avec l'hypothèse classique d'interprétation des plantes à phénotype intermédiaire domestique/sauvage comme étant issues d'hybridations entre les deux formes. Les *soun* correspondent à des structures génétiques recombinantes et non fixées, ce qui entraîne une ségrégation importante des caractères de domestication dans la descendance. En revanche, les plantes hors-poquets (notées *soun*-HP) ont un statut particulier. Les agriculteurs estiment qu'elles proviennent en majorité de *soun* des poquets qui ont égrené spontanément et qu'au fil de réensemencements successifs, ces plantes vont évoluer vers le type sauvage. Par ailleurs, ils ne connaissent pas le mode de reproduction des mils. La perception est donc celle d'une dégénérescence depuis les mils jusqu'aux formes sauvages, due essentiellement aux conditions de croissance et non à des phénomènes de pollinisation et de ségrégation des caractères dans la descendance.

Pratiques culturales et élimination des *soun*

Les travaux de démariage et de sarclage prennent toute leur importance dans cette perception des relations entre les plantes : pour les agriculteurs, celles qui ont subi un stress hydrique et qui sont en concurrence dans des poquets trop denses sont censées fournir des chandelles qui évoluent vers le *soun* puis vers le *sounsouna*. Le premier sarclage-démariage a pour objectif d'éradiquer les plantes hors poquets et de diminuer le nombre de plantules dans les poquets mais, dans la pratique, cet objectif n'est qu'imparfaitement atteint. Le but est de le réaliser le plus rapidement possible pour éviter la concurrence entre les mils et les adventices (dont les resemis spontanés sont très invasifs). Or, au stade juvénile, il n'existe pas de critères francs de reconnaissance et certaines plantes hors-poquet à

grosse tige, considérées comme devant donner de bonnes chandelles, sont épargnées. Enfin si tout le monde s'accorde pour affirmer que le sarclage était mieux réalisé auparavant, lorsque l'honneur des agriculteurs était attaché au soin des champs et la main-d'œuvre plus nombreuse dans les grandes familles, les enquêtes montrent que ces affirmations méritent d'être nuancées. La péjoration climatique actuelle accroît l'importance des *soun*, mûrs au moment de la soudure alimentaire et qui constituent avec les chandelles mal formées, la dotation personnelle des femmes (qu'elles pourront d'ailleurs revendre sur les marchés ou auprès de commerçants). Ces éléments expliquent que des mils hors-poquets existent dans tous les champs, selon des proportions très inégales selon la situation des exploitants (résultats non illustrés).

Diversité morphologique et variabilité génétique des *soun* et mils sauvages *in situ*

La figure 3 montre la projection des plantes échantillonnées dans le champ de A et mesurées pour les caractères post-récolte, sur le plan défini par les deux premiers facteurs d'une analyse en composantes principales. L'appartenance des plantes aux différentes catégories a été déterminée par les agriculteurs. Le 1^{er} axe est interprétable comme un axe de domestication. Il oppose en effet des plantes à chandelles longues et larges, avec un rachis de gros diamètre et portant de gros grains, avec des épillets à long pédicelle et non caduques (donc de type domestique), à des plantes de type sauvage (caractères opposés). On constate que les différentes catégories de *soun* sont hétérogènes sur le plan morphologique mais qu'elles sont malgré tout relativement bien différenciées les unes des autres, tout au moins pour certaines d'entre elles (ce qui est confirmé par l'analyse de variance). Les plantes appartenant aux différentes catégories correspondent donc à différents niveaux d'introgression phénotypique par la forme sauvage. Le groupe des mils féminins (*haini wai*) notamment est composé de plantes significativement plus proches des formes domestiquées mais avec des chandelles plus courtes, moins compactes, plus égrenantes et avec des grains moins apparents. A l'opposé les *soun*-HP sont morphologiquement beaucoup plus proches des sauvages. Ils sont notamment plus égrenants. Nous avons pu observer qu'ils développent aussi plus de talles (données

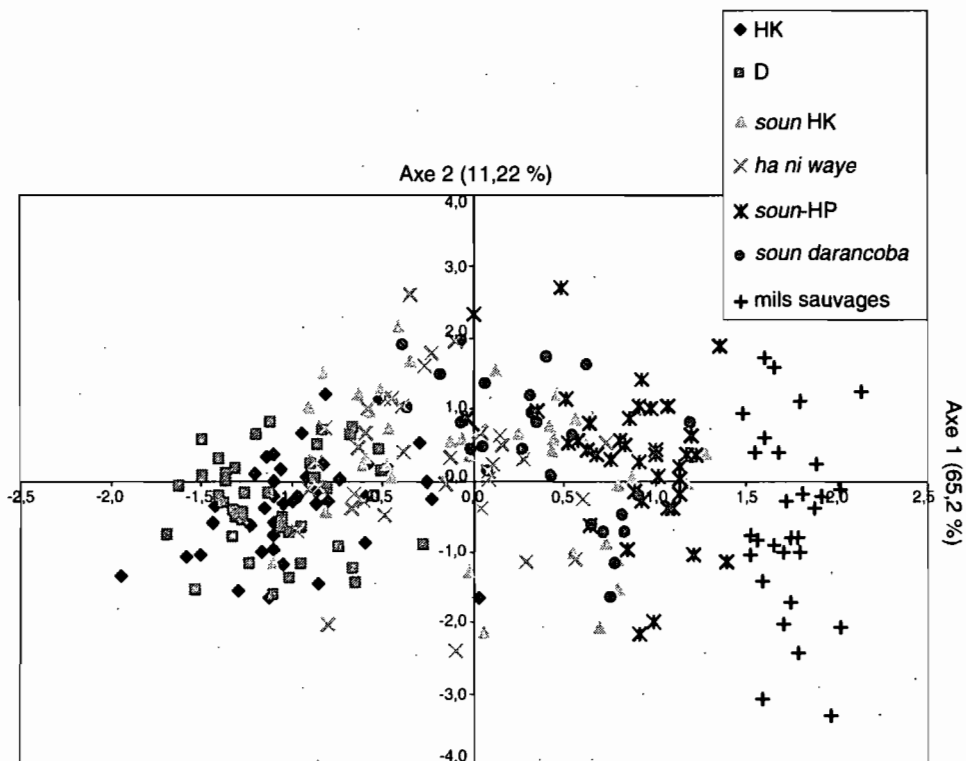


Figure 3

Plan 1,2 d'une analyse en composantes principales réalisées sur les valeurs pour les caractères morphologiques post-récolte de la chandelle et de l'épillet des plantes mesurées *in situ* dans le champ de A. Les variables contribuant le plus à l'axe 1 sont : le diamètre de la chandelle (-0,90), le diamètre du rachis (-0,92), la longueur de la chandelle (-0,88), et la note de caducité (+0,91). Celles contribuant le plus à l'axe 2 sont : la longueur des glumes (-0,87) et la longueur des soies de l'épillet (-0,63). Les chiffres entre parenthèses sont les coefficients de corrélation entre les variables et les composantes principales définissant les deux premiers axes. Les *soun haini kiré*, *soun darancoba* et *haini wai* sont des plantes identifiées dans les poquets.

non illustrées). On ne peut toutefois exclure que ces différences proviennent en partie directement des conditions de croissance qui diffèrent notablement entre plantes poussant dans les poquets et plantes hors poquets. L'intensité des compétitions est sans doute

plus forte dans les poquets au démarrage de la culture, ce qui peut avoir des conséquences sur certaines caractéristiques morphologiques, telles que le tallage.

Les analyses individuelles à partir des données AFLP ont montré que les plantes sauvages constituent un groupe homogène, légèrement différencié du reste malgré la situation de sympatrie avec les formes domestiquées et les *soun* (résultats non illustrés). Une partie des *soun*-HP est génétiquement proche des formes sauvages. Le reste des *soun*-HP, et l'ensemble des autres catégories phénotypiques (cultivées D et HK, *soun* dans les poquets) ne révèlent aucune organisation sous-jacente de la variabilité génétique. Il n'existe donc globalement aucune relation entre la classification des agriculteurs basée sur les caractères morphologiques des différents types de plantes et la structure de la variabilité génétique. Cette conclusion est également vraie pour le village de Kouré. L'analyse de variance moléculaire a montré que seulement 3,85 % de la variabilité génétique totale observée sur les échantillons de ce village est due aux différences entre groupes (cultivé/*soun*-poquets/*soun*-HP).

La figure 4 montre qu'une partie des *soun* d'Alzou (dans et hors-poquets) est génétiquement plus proche de ceux de Kouré que de la population sauvage avec laquelle ils voisinent. On constate aussi que les différences génétiques entre HK et le *somno* de Kouré (à floraison tardive) sont très réduites malgré la différence importante de précocité moyenne de ces deux groupes variétaux.

I Discussion

Flux de gènes et différenciation intra et inter-variétale

Les marqueurs AFLP ont montré que la variabilité génétique révélée au niveau intra-variétal est relativement peu structurée (peu de différenciation inter-agriculteurs, très peu entre villages). En revanche, les niveaux de structuration sont variables quand on les compare entre deux années successives, démontrant ainsi l'importance effec-

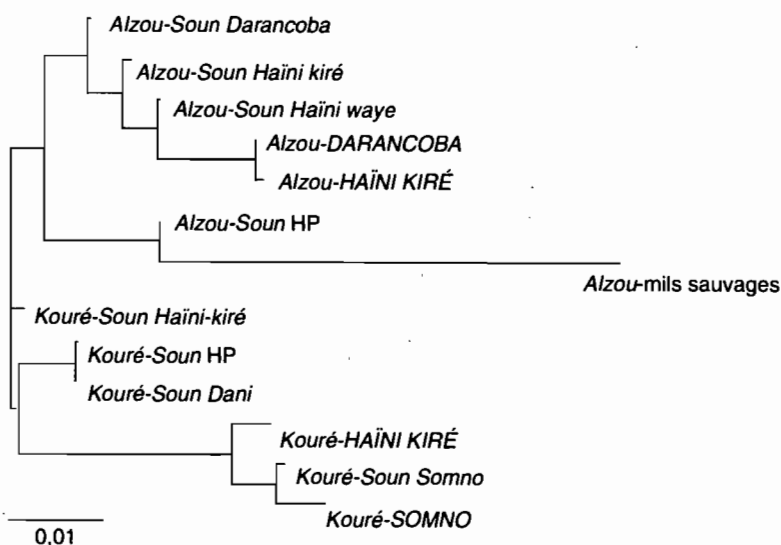


Figure 4

Arbre non enraciné construit à partir de la matrice des distances DAS entre catégories phénotypiques (JIN et CHAKRABORTY, 1994), par la méthode de " neighbour-joining ". Une vingtaine d'individus par population a été analysée. Les *soun dani* sont des *soun* hors-poquets avec une architecture proche du type sauvage (beaucoup de talles, chandelles petites, etc.).

tive des flux de gènes à l'échelle régionale. La comparaison de la variabilité génétique des apports extérieurs et des semences propres démontre l'importance de ces apports dans ce processus. De plus, à la récolte, plusieurs centaines de chandelles (et donc des milliers de grains) constituent le stock de semences. Les effets de dérive génétique sont donc très faibles à court terme, et ne peuvent expliquer un tel changement d'une année sur l'autre. Les variétés sont aussi très peu différenciées génétiquement les unes des autres, révélant une faible correspondance entre la classification établie par les agriculteurs sur la base de critères morphologiques et la diversité observée au niveau de marqueurs neutres. BUSO *et al.*, (2000) ont obtenu des résultats assez différents des nôtres dans deux localités du Nord-Est du Nigeria chez plusieurs agriculteurs. Ils montrent que la diversité génétique est moins forte entre variétés différentes prises chez un même agriculteur que pour une même variété prise chez deux agriculteurs différents. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que les agri-

culteurs dans cette région subissent moins les contraintes de sécheresse que dans les régions où nous avons travaillé (particulièrement à Alzou) et sont ainsi plus autosuffisants en semences. Ceci souligne donc la diversité des situations et l'importance d'étudier l'évolution des pools génétiques à une échelle très locale. Cette absence de différenciation se retrouve aussi lorsqu'on compare les variétés précoces et tardives. Leurs périodes de floraison se chevauchent assez largement, que ce soit en conditions expérimentales ou bien *in situ* où la pratique des resemis renforce le phénomène. Les pratiques culturales favorisent largement la proximité des différentes variétés, qu'elles soient précoces ou tardives, au moins au niveau de champs voisins et parfois même au sein des poquets (semis en mélange). Des hybridations inter-variétales importantes lors de la période de culture sont donc très probablement à l'origine de l'absence de différenciation génétique inter-variétale à l'échelle du village. Elles expliquent aussi le polymorphisme intra-cultivar pour les critères de distinction entre variétés qui sont utilisés par les agriculteurs. Les résultats des données morphologiques montrent que le tri qu'ils exercent au moment du choix des chandelles permet une sélection disruptive efficace. En effet, les caractères de distinction des variétés D et HK donnent des différences significatives entre les moyennes des plantes déterminées au champ, par les agriculteurs, comme étant représentatives de chacun de ces deux groupes. Malgré cela, la distribution des caractères dans les deux groupes se recouvrent largement. Ces différences se retrouvent aussi chez les descendants à phénotype domestiqué issus de la semence sélectionnée à la récolte pour ces deux variétés. Compte tenu des échanges génétiques entre variétés, il est probable que le nombre de gènes cibles de cette sélection soit réduit. Ainsi, la différenciation sur le plan morphologique pourrait être maintenue malgré les flux de gènes entre variétés et les recombinaisons qui en découlent. Ce maintien de la distinction entre variétés nécessite pourtant que la sélection puisse être réellement effective sur le long terme.

Les conditions écologiques défavorables (sécheresses récurrentes) imposent à l'ensemble des agriculteurs un recours accru aux semences extérieures en complément (ou parfois même en remplacement) de la semence issue de leur précédente récolte. Ce phénomène concerne toutes les variétés. Les sources de semences sont multiples et largement réparties au niveau géographique. Les

réseaux d'approvisionnement des différents agriculteurs finissent tous par s'entrecroiser et les flux de gènes intra-variétaux s'effectuent sur une large échelle géographique. L'élargissement de la zone d'étude, l'analyse des échantillons collectés sur les marchés où sont vendus des semences et des enquêtes sur leur origine, devraient permettre d'avoir une vision plus globale de ces flux de gènes à l'échelle régionale.

Enfin, le maintien de la différenciation de précocité moyenne entre les groupes de HK et de *somno* soulève une interrogation. La grande proximité génétique sur la base des marqueurs moléculaires entre ces deux groupes variétaux atteste de l'existence de flux de gènes qui sont rendus possibles par le recouvrement partiel des périodes de floraison. La sélection des semences par les agriculteurs ne s'opère qu'au grenier et donc sur des caractères post-récolte (belles chandelles avec des grains bien remplis), et non sur la précocité de floraison. Une sélection disruptive par auto-stop ciblée sur les caractères de choix de la semence pourrait maintenir une différenciation tardifs vs précoces. L'analyse des corrélations entre le délai semis-épiaison et les caractères de choix des semences, effectuée au sein des groupes variétaux tardif d'une part et précoce d'autre part, ne confirme pas cette hypothèse. En effet, dans le groupe des variétés tardives, ces corrélations sont soit non-significatives, soit peu importantes et dans ce cas ne vont pas dans le sens escompté. Chez KSD par exemple, les corrélations les plus fortes sont obtenues avec le poids des grains (0.54). Les corrélations observées au sein des variétés précoces vont d'ailleurs dans le même sens. Une sélection des chandelles possédant les grains les plus gros devrait donc se traduire par une augmentation de la précocité et irait donc dans le sens d'une convergence des périodes de floraison entre variétés précoces et tardives. Une ANOVA a également montré qu'il n'y avait pas de liaison statistique entre la couleur des grains et la précocité.

Les relations génétiques sauvages-souin-domestiqués

Les taux de *souin* dans les semences peuvent parfois être très importants, jusqu'à 30 % dans les échantillons que nous avons pu analyser. Ces chiffres corroborent ceux obtenus dans d'autres régions du

Niger (NDJEUNGA, 2002). Il existe un large recouvrement entre la floraison des *soun* et celle des plantes à phénotype domestiqué (précoces et tardives), autorisant les flux de gènes. La convergence phénotypique pour la période de floraison des *soun* et des plantes cultivées provenant de la même semence s'explique très probablement par l'existence de croisements par homogamie liée à la date de floraison entre plantes cultivées et *soun* ayant produit ces semences. Les données moléculaires confirment l'existence de flux de gènes entre *soun* et plantes à phénotype « domestiqué ».

L'étalement important de la floraison des *soun*-HP pourrait leur conférer le rôle de « relais » pour des flux de gènes indirects entre variétés précoces et tardives, mais aussi entre sauvages et mils cultivés. La présence de nombreux *soun* représente donc une menace quant à l'intégrité phénotypique des variétés cultivées. Les corrélations entre les caractéristiques au stade juvénile et à maturité des *soun* et des plantes de type domestiqué restent faibles, mis à part pour le tallage basal. La prédiction de l'architecture d'une plante (tallage aérien, format de la chandelle, caractéristiques des épillets) à l'âge adulte à partir de ses caractéristiques juvéniles est donc un exercice très aléatoire auquel les agriculteurs ne se prêtent d'ailleurs pas. Une éventuelle sélection discriminante précoce au stade du démariage, basée sur les caractéristiques des plantules et dont l'objectif serait de supprimer les *soun*, serait probablement très peu efficace. La faiblesse de ces corrélations pourrait s'expliquer par les ségrégations indépendantes des QTLs impliqués dans les caractères mesurés au stade juvénile et ceux concernant les caractéristiques de la plante adulte, ce qui a déjà été montré dans des croisements domestiques x sauvages chez le mil (PONCET *et al.*, 2000).

La gestion de la semence est sans doute un facteur fondamental pour expliquer la présence à un tel niveau de *soun* dans les champs des agriculteurs. La semence extérieure peut provenir de marchés éloignés et peut être de médiocre qualité, pouvant provenir pour partie de chandelles de *soun*. De plus, même dans la semence sélectionnée, il existe des grains qui donneront des *soun* car issus de croisements entre la plante dont la chandelle a été choisie et des *soun*, voire des mils sauvages. Il est très probable que la dissémination des *soun* a lieu de façon très large au niveau régional via les flux de semences. La grande quantité de *soun*-HP dénombrés avant sarclage dans les champs des agriculteurs montre clairement que la

banque de graines du sol est importante, ce que prennent en compte les savoirs locaux. Les plantes *soun* dans les poquets sont généralement plus proches des phénotypes domestiqués que les *soun* hors poquets car ils sont tous issus de « mères » à phénotype domestiqué, sélectionnée au moment du choix de la semence. Des croisements entre *soun* contribuent aussi et sans doute très largement, à la constitution de la banque de graines du sol. Les marqueurs AFLP ont aussi montré que les *soun*-HP sont génétiquement plus proches des sauvages avec lesquels ils sont en sympatrie que ne le sont les *soun* dans les poquets. Lorsque des mils sauvages sont présents au voisinage des champs, des croisements *soun* x sauvages doivent également participer à la constitution de la banque. Comment expliquer le maintien des *soun* en absence des formes sauvages ? L'effet de la sélection des agriculteurs au moment de la constitution de la semence n'est peut être pas suffisant pour enrichir, à chaque génération, les « populations » de *soun* en allèles « domestiques » et donc conduire vers une évolution progressive de ces formes vers des types plus domestiqués. En effet, les formes les plus égrenantes vont contribuer plus que les autres à la banque de graines du sol. On ne peut pas exclure non plus, à l'instar de ce que nous disent les agriculteurs que les différences morphologiques importantes entre *soun*-HP et *soun* dans les poquets soient en partie l'expression d'une certaine plasticité phénotypique en réponse aux différences de conditions de croissance des plantes.

Conclusion

En conclusion, nous montrons que les pratiques agricoles, bien que diversifiées, favorisent à plus ou moins court terme des brassages génétiques très larges, aussi bien au niveau de la parcelle via les hybridations, qu'au niveau du village et même de la région via les flux de semences. Ces derniers sont, d'après nous, la cause majeure de l'absence de différenciation intra-variétale inter-agriculteurs et même inter-villages. L'absence de différenciation génétique entre variétés démontre aussi l'importance quantitative des flux de gènes par le biais des hybridations. Par ailleurs nous pensons que la dis-

sémination des *soun* a lieu de façon très large au niveau régional via ces flux de semences et expliquerait leur abondance et leur large répartition dans les champs de la région alors que la répartition des populations sauvages est beaucoup plus restreinte. Les flux de semences croissent en quantité du sud (régions moins déficitaires et où il n'y a pas de formes sauvages) vers le nord. Ainsi, l'interrogation subsiste quant à l'origine des *soun* présents dans des semences venant de zones où il n'y a pas ou plus de formes sauvages. On ne peut toutefois exclure que des événements de fondation à partir de grains venus de zones où les formes sauvages sont présentes, suite à des approvisionnements attestés lors de sécheresses localisées, soient à l'origine de ces populations. Le développement de celles-ci aurait été (et serait encore) assuré par une forte capacité aux resemis spontanés et la diffusion via les flux de semences.

Bien que les agriculteurs gèrent leurs variétés de manière séparée, la conjugaison d'une gestion des semences moins autarcique qu'auparavant, des pratiques culturales et du système de reproduction de l'espèce, très allogame, conduit à un processus d'homogénéisation forte, au niveau régional, des pools génétiques cultivés. Sur le plan morphologique, les distinctions phénotypiques entre variétés sont pourtant réelles, mais ne concernent qu'un nombre très limité de caractères post-récolte. Il est vrai que la variation phénotypique importante présente dans les pools cultivés localement permet une sélection disruptive par le choix des phénotypes les plus différenciés, sélection n'ayant de répercussion que sur les caractères cibles de la sélection et ceux qui leur sont liés. La grande majorité des marqueurs moléculaires utilisés ici ne sont donc pas concernés par ces sélections. Toutefois, les semences apportées de l'extérieur ne sont pas toujours issues de chandelles sélectionnées. Bien que nous sachions que ces apports croissent en quantité et en régularité, il est difficile d'apprécier réellement, à travers l'évocation, de la part des agriculteurs, des performances passées de leurs pratiques, si nous sommes en face d'un processus récent et évolutif ou bien d'un état d'équilibre dynamique qui perdure depuis des décennies. Dans la première hypothèse, le processus d'homogénéisation par les flux de gènes pourrait avoir pour conséquence une déstructuration rapide des qualités d'adaptation locales des variétés. L'introgression par des gènes des formes sauvages dont la présence des *soun* est une manifestation pourrait à l'extrême conduire à une « dé-domestica-

tion » du mil dans ces régions soumises à des pénuries de production chroniques et donc participer à l'aggravation du phénomène. L'érosion pour les capacités adaptatives pourrait donc être réelle mais doit être évaluée concrètement. La réflexion des agriculteurs, pour qui « au fil des années, le *haini kiré* est le plus fort », peut laisser penser que des flux géniques importants sont effectifs depuis de nombreuses années et que peut-être, la deuxième hypothèse est plus vraisemblable.

Dans ce cas, cette réflexion amène à se poser la question : les flux de gènes inter-variétés peuvent-ils conduire à une convergence phénotypique vers le type *haini kiré* ? Sans doute oui, si cette variété est, comme c'est le cas dans la région où nous avons travaillé, largement majoritaire dans les champs. Elle contribue ainsi sans doute plus que les autres, aux nuages de pollen impliqués dans les hybridations inter-variétales.

L'ambition de telles analyses fondamentales est d'apporter à la communauté des gestionnaires et chercheurs concernés par les actions de conservation des ressources génétiques des éléments de réflexion sur les mécanismes qui sous-tendent les niveaux de diversité observés et leur organisation. Elles peuvent aussi, nous semble-t-il, permettre d'identifier les mécanismes essentiels à une préservation de la diversité aux différents niveaux de perception (agro-morphologique, génétique) et ainsi aider aux prises de décision quant aux actions concrètes à engager pour la mise en place d'un plan de conservation à la ferme.

Bibliographie

BRUSH S. B., 1992 —
In situ conservation of landraces in centers of crop diversity.
Crop Sci., 35 : 346-354.

BUSO C. S., DEVOS K. M., ROSS G., MORTIMORE M., ADAMS W. M., AMBROSE M. J., ALLDRICK S., GALE M. D., 2000 —
Genetic diversity within and among landraces of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) under farmer management

in West-Africa. *Genetic resources and Crop evolution*, 47 : 561-568.

CLÉMENT J. C., 1985 —
Les mils pénicillaires de l'Afrique de l'Ouest. Prospections et collectes. 1974-1984. IBPGR-ORSTOM, Ed. IBPGR, Rome.

ELIAS M., McKEY D., PANAUD O., ANSTETT M. C., ROBERT T., 2001a —
Traditional management of cassava

morphological and genetic diversity by the Makushi Amerindians (Guyana, South America) : Perspectives for on-farm conservation of crop genetic resources. *Euphytica*, 120 : 143-157.

ELIAS M., PENET L., VINDRY P., McKEY D., PANAUD O., ROBERT T., 2001b — Unmanaged sexual reproduction and the dynamics of genetic diversity of a vegetatively propagated crop plant, cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in a traditional farming system. *Mol. Ecol.*, 8 : 1895-1908.

JARVIS D., 1999 — Strengthening the scientific basis of *in situ* conservation of agricultural biodiversity on farm. *Botanica Lithuania*, Suppl. 2 : 79-90.

JARVIS D., HODGKIN T., 1999 — Wild relatives and crop cultivars : detecting natural introgression and farmer selection of new genetic combinations in agroecosystems. *Mol. Ecol.*, Vol. 8, S159-S173.

JIN L., CHAKRABORTY R., 1994 — Population dynamics of DNA fingerprint patterns within and between populations. *Genet. Res. Camb.*, 63 : 1-9.

LINDER C. R., TAHA I., SEILER G. J., SNOW A. A., RIESEBERG L. H., 1998 — Long term introgression of crop genes into wild sunflower populations. *Theor. Appl. Genet.*, 96 : 339-347.

LOUETTE D., CHARRIER A., BERTHAUD J., 1997 — *In situ* conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Econ. Bot.*, 51 : 20-38.

LUXEREAU A., 2002 — « Variation autour du mil au Niger ».

In Chastanet M., Fauvelle F.X. et D. Juhé-Beaulaton (ed.) : *Cuisine et société en Afrique*, Paris, CRA- Karthala : 205-220.

MULLER M.-H., PROSPERI J. M., SANTONI S., RONFORT J., 2001 — How mitochondrial DNA diversity can help to understand the dynamics of wild-cultivated complexes. The case of *Medicago sativa* in Spain. *Mol. Ecol.*, 12 : 2753-2764.

NDJEUNGA J., 2002 — Local village seed systems and Pearl Millet seed quality in Niger. *Exp. Agric.*, 38 : 149-162.

PONCET V., LAMY F., ENJALBERT J., JOLY H., SARR A., ROBERT T., 1998 — Genetic analysis of the domestication syndrome in Pearl Millet. *Heredity*, 81 : 648-659.

PONCET V., LAMY F., DEVOS K., GALE M., SARR A., ROBERT T., 2000 — Genetic control of domestication traits in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L., *Poaceae*). *Theor. Appl. Genet.*, 100 : 147-159.

RENNO J. F., WINKEL T., BONNEFOUS F., BEZANÇON G., 1997 — Experimental study of gene flow between wild and cultivated *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. *Can. J. Bot.*, 75 : 925-931.

SLATKIN M., 1995 — Epistatic selection opposed by immigration in multiple locus genetic systems. *J. Evol. Biol.*, 8 : 623-633.

WOOD D., LENNE J. M., 1997 — The conservation of agrobiodiversity on-farm : questioning the emerging paradigm. *Biodiv. Conserv.*, 6 : 109-129.

Robert T., Banoïn M., Hamidou A., Luxereau Anne, Beidari Y., Moussa D., Mariac C., Bezançon Gilles, Sadou M., Ali K., Cayeux S., Seydou M., Allinne C., Couturon Emmanuel, Seyni O., Amoukou A.I., Dedieu V., Tidjani M., Bani J., Gamatché I., Sarr A.

Influence des facteurs anthropiques et des flux de gènes sur la variabilité génétique des formes cultivées et spontanées du mil dans deux localités du Niger.

In : Bezançon Gilles(ed.), Pham Jean-Louis (ed.). *Ressources génétiques des mils en Afrique de l'Ouest : diversité, conservation et valorisation : actes de l'atelier "diversité, conservation et valorisation des ressources génétiques des mils"*.

Paris (FRA), Niamey : IRD, ICRISAT, 2004, p. 123-149.
(Colloques et Séminaires). ISSN 0767-2896 Diversité, Conservation et Valorisation des Ressources Génétiques des Mils : Atelier, 2002/05/28-29, Niamey